

**Андрей Дмитриевич Сахаров**

**Andrei Dmitrievich Sakharov**

**Конференция проводится Академическим лицеем «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова при поддержке:**

- **Санкт-Петербургского научного центра РАН**
- **Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета РАН имени Ж.И. Алфёрова**

**Организационная поддержка:**

- **Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН**
- **Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН**
- **Санкт-Петербургский государственный политехнический университет им. Петра Великого**
- **Биотехнологическая компания «BIOCAD»**
- **Компания JetBrains**

*© Компьютерный набор, вёрстка, оформление:*

*А.А. Лось-Суницкая*

*А.М. Кузнецов*

## ДОМ ПУСТ, И ПУСТОТА СГУЩАЕТСЯ

14 декабря — 5 лет, как нет уже Андрея Дмитриевича Сахарова. Сегодня о нём — каким он был вне науки и политики — вспоминают, перебирая фотографии и записки, два человека, которые познакомились с Сахаровым в одном и том же году, 1970-м, — Елена Георгиевна Боннэр, вдова Андрея Дмитриевича, и журналист Юрий Рост.

### Уменье следовать судьбе

Рост: Много писали, что он нравственный эталон. А он себя чем-то таковым ощущал, по крайней мере, для определённой части общества?

Боннэр: Нет-нет, отнюдь нет. Он знал, чувствовал, что не всё гладко в его жизни было, не было никакой безукоризненности — на его собственные критерии.

Р: В чём-то мог себя укорять?

Б: Ну, вот многие думают, что его общественная деятельность стала следствием какого-то покаяния из-за бомбы. Но Андрей Дмитриевич до самого конца своего говорил: так далеко я не зашёл. Он буквально до самых последних минут жизни считал, что наличие ядерного оружия является фактором сдерживания новой мировой войны. Более того, он должен был вступить в противоречие, если бы сейчас жил, с движением за полное ядерное разоружение. Он считал, что ядерное оружие надо уничтожать, но постепенно и не всё. Что надо сохранить оружие сдерживания в пределах 10–15% от того количества, которое существовало в 1989 году. Не знаю, как его взгляд на это изменился бы в связи с трансформацией Советского Союза, но в 89-м его точка зрения была именно такой, я изложила её абсолютно точно.

Р: Я тоже как-то его спрашивал об этом, и он сказал, чтобы у меня не создавалось впечатление, будто у него были угрызения совести за участие в создании этого оружия...

Б: Не было, абсолютно никогда.

Р: Но был он способен менять свои убеждения?

Б: Да. Как-то я процитировала ему слова Томаса Манна (он его до прихода в наш дом не читал), что в историческом плане только дурак не меняет свои убеждения. Они ему понравились. И вот если вернуться к теме, было ли в нём покаяние, то я бы сказала, что в определённой мере у Андрея Дмитриевича был счастливый

характер — счастливый в том плане, что он не был самоедом. Зная за собой какие-то ошибки в личной, семейной жизни, он, в общем-то считал: лучше ошибку не повторять, чем съедать за прошлое свою жизнь. А вот что отчётливо просматривалось в его жизни — это следование судьбе. Он и говорил, что высшая заслуга человека — в умении следовать своей судьбе.

Р: Он был фаталист?

Б: В какой-то мере, хотя слово, странное в применении к нему. Если вспомнить Лермонтова, то не в таком смысле. Вот вырезка из «Литературки», старая, жёлтая. Он вообще-то никаких вырезок не собирал, но иногда что-то важное оставлял. И вот сохранил эту с заметками Битова о последнем тексте Пушкина. Подчеркнутые строчки, мне кажется, как-то отражают эту его точку зрения на следование судьбе, мне кажется это безумно ценным: «Он таил в себе надежду проскочить между жизнью и смертью, пройти через это игольное ушко, веря в счастье».

Кстати, Пушкина Андрей Дмитриевич очень хорошо знал и очень любил.

Р: Он всегда был в ровном расположении духа или случались упадки?

Б: Не знаю, как было в его жизни без меня, только по дневникам могу судить, а в нашей совместной жизни я в нём резкой смены настроения не наблюдала. Была у него такая особенность — он очень волновался, когда его не понимали свои, но никогда не волновался, когда его не понимали или не хотели понимать и слышать чужие. Тех, кто его освистывал, он как бы жалел. Но для него гораздо трагичнее было, если его не воспринимали в межрегиональной группе. Вот тогда он совершенно отчётливо переживал. И ещё он терялся, когда ему откровенно лгали, он не знал, как реагировать на такую ложь, что ей противопоставить. Это было для него непереносимо. Именно так было в начале второго съезда нардепов, за два, что ли, дня до смерти Андрея, когда Горбачёв солгал ему насчёт писем. Это когда Андрей Дмитриевич в первый день съезда выступил и сказал, что у него имеется 50 тысяч подписей за отмену 6 статьи Конституции, собранных «Мемориалом», а Горбачёв сказал: а вы ко мне в кабинет заходите, у меня ещё больше, но не сказал — каких, а зал и телезрители подумали, что у Горбачёва все письма — против. На самом же деле, из-за чего Андрей так взволновался, у Горбачёва тоже были письма из «Мемориала» против 6 статьи, но Михаил Сергеевич передёрнул и, в общем, страну тогда обманул... Вот когда

ему так лгали, он только глаза тарашил по-детски и не знал, что сказать.

### На кухне

Р: Как вы ухаживали дома за ним?

Б: Как за всеми. Или никак.

Р: Следили, например, как одет?

Б: Да. Когда он пришёл в наш дом (70-й год, улица Чкалова. — Ред.), то даже физики, его коллеги, начали мне говорить, что Андрей Дмитриевич теперь лучше выбрит и лучше одет, что он никогда прежде не был так хорошо выбрит и одет...

Р: А как он проявлял свои чувства?

Б: Как? Сидел на кухне и работал, пока я что-то там шурую... Ему много пространства для работы было не нужно. Лишь бы я была рядом. Вполне достаточное проявление, нет?

Р: Вот снимок, помните? «Это когда он на кухне, а пришли сантехники унитаз, что ли, менять. И одет совершенно так, как одевался дома, — в джинсах потёртых, ковбойке, вашей красной кофте.

Б: Это — его кофта, он давно её присвоил.

Р: А сверху ещё, по-моему, синяя кофта.

Б: Да, обязательно две! И каждая на разные руки надета: одна на одну, другая — на другую.

Р: Это было пренебрежение к одежде?

Б: Нет, это был способ получать от одежды максимум удобств. Он вообще любил свои старые вещи, и надеть на него что-нибудь новое было подвигу подобно! А знаменитые братья Медведевы (Рой и Жорес. — Ред.) катили из-за этого бочку то ли на Андрея, то ли на меня. Я уж не помню, кто на них (оба одного стоят) написал, будто я нарочно одеваю Андрея в какое-то старьё, и его в этом фотографируют, чтобы показать, какой он бедный...

Р: Вы ссорились?

Б: Да.

Р: Кто первый шёл на мировую?

Б: Оба первые.

Р: Он вас ревновал?

Б: Мы оба в наших предыдущих жизнях очень страдали от необоснованной ревности своих спутников. И в нашей совместной жизни той ревности, о которой обычно говорят, не было. Ну, если я посматривала когда на сторону, в том смысле, чтобы пошляться одной за покупками, Андрей это не любил. Он готов был провожать меня куда угодно, даже в магазин за бюстгалтером, хотя совершенно был мне для этого не нужен... А скандалы, ссоры у нас бывали. Первая — в самом начале нашей совместной жизни. Когда Андрей пришёл в наш дом, там не оказалось для него настольной лампы, и мы как-то остановились возле «Тысячи мелочей» (хозяйственный магазин на Ленинском проспекте в Москве. — *Ред.*) купить лампу. Я выбрала, скажем, за 12 рублей, он хотел за 6. Я никак не могла понять, зачем ему этот урод, неудобная! Он говорил: потому что она дешёвая. В общем, в магазине мы полуразругались, а вышли — я говорю: будешь ещё считать деньги, когда я что-нибудь покупаю, то вот тебе Бог, а вот порог. Больше он никогда не совался считать, сколько чего стоит, если покупала я.

Р: Но скупым он не был. Он все свои сбережения — огромные — отдал на строительство онкологического центра на Каширке.

Б: Да, это он мог, а в повседневной жизни он был очень считающим деньги человеком. Например, когда оставался один, вёл реестр своих трат: 44 копейки хлеб, столько-то морковь... У нас в семье до него никто никогда так не делал, хотя знали, что денег до полочки могло не хватить. Андрей Дмитриевич мог быть совершенно нечувствительным к некоторым вещам, которые все понимают. Я помню, ехала как-то к нему на такси ещё на его старую квартиру и в машине уже обнаружила — забыла кошёлек. Таксисту говорю: давайте назад, а потом туда же — деньги забыла. А он: зачем же вы к такому человеку в гости едете, который вам три рубля не даст...

Р: Он как-то объяснил с улыбкой: я не жадный — я прижимистый!.. Как он к бытовой технике относился? Понимал, как и что нужно делать?

Б: Нет, не понимал. Говорят, когда он был «закрытый» и занимался своими «изделиями», у него хватало инженерной смекалки, но в домашней технике он абсолютно ничего не мог. И в машине тоже.

Р: Помните, когда сантехники пришли и не смогли установить унитаза, он сидит как обычно на кухне, а они там ковыряются, а потом говорят ему: нужен унитаз с косым впуском, а этот с прямым, а Андрей Дмитриевич говорит: я не знаю, я не специалист, мне

сказали, что это такой, какой нужен. А сантехники стоят руки в боки. Ну вот, академик, а не можешь отличить прямой выпуск от косога...

Б: Всегда Андрею втюхают какую-нибудь дрянь. Вот ванну поцарапанную дали...

Р: А помните, как я пасху принёс, и как Андрей Дмитриевич говорит: ой, как хорошо, давно я пасхи не ел! Мы с вами разговариваем, и я вижу, что он взял кусочек пасхи, положил на сковороду и поставил на огонь. Я говорю: она же растает! И вы: она же растает! А он: ну какая разница, что растает, она же вкус не теряет.

Б: Он считал, причём без всякого теоретического обоснования, что, если поест холодной, у него заболит горло. У него было много странностей, многого он боялся...

Р: Я ему однажды сказал: не потому ли вы нагреваете еду до 36,6 градуса, чтобы организм не тратил дополнительную энергию на разогрев? Он улыбнулся и говорит: если вам нравится эта теория, можете её использовать.

Б: У него были — и сейчас висят там же — две маленькие тефлоновые сковородки, которые он берёт, всегда сам мыл мягкой тряпкой и считал, что тефлон — великое изобретение человечества.

Р: А сам он еду готовил?

Б: Он мог готовить. Он вообще мог себя обслуживать полностью — был приучен к этому, не мной, а предыдущей жизнью. И готовить себе любил. Но если была я, то сам он только разогревал и греть не доверял никому, даже мне.

Р: А за покупками ходил?

Б: Да, очень любил ходить на базар и любил один магазин в Москве, овощной на Ленинском проспекте. Всегда, когда ехал из института, (академический Физический институт имени Лебедева. — Ред.) заходил туда, выбирал там соки. А в другие магазины не ходил и не любил ходить.

Р: Кто из вас двоих был лучший водитель? Я к чему спрашиваю? Мне и с ним, и с вами страшно было ездить.

Б: И со мной?

Р: Да.

Б: Тогда будем считать, что Андрей водил лучше. Сам, правда, он считал, что лучше вожу я. Он очень уставал за рулем, а я — нет. Может, тут и разница.

Р: Пока я с вами не познакомился, я слышал, что лидер в семье вы. Потом я увидел, что в некоторых вопросах — да, а в некоторых — нет. А о том, что касалось работы, — он учитывал ваше мнение?

Б: Есть области, куда я никогда не совалась.

Р: Физика!

Б: Ну физика, естественно, но я о другом — общественной деятельности. Это проблемы разоружения. Они столько специфичны и профессиональны, как и физика. И здесь я выполняла только роль машинистки. Максимум — запятая. Все остальные документы, исключая книгу воспоминаний, мы, так уж сложилось, делали вместе. Андрей Дмитриевич писал черновик, потом отдавал мне на окончательную обработку, или диктовал, и мы всё утрясали.

Р: И телефонные звонки вы регулировали, потому что ему звонили и просили помочь, он моментально мог сорваться куда угодно...

Б: Ну, а как иначе-то?

### **Одиночество переносил хорошо**

Р: Были у него друзья?

Б: Практически не было во всю его жизнь. Нормальные, лёгкие, нерабочие, а что называется дружеские отношения с людьми начали у него появляться только в нашем доме и в основном с моими друзьями.

Р: Но были же люди ему приятные и неприятные?

Б: Были, хотя внешне он со всеми держался ровно. Были люди, с которыми ему было интересно... Человек, с которым ему всегда было и интересно, и который, наверное, мог бы быть ему другом, если бы судьба не забросила Андрея в закрытый город (Арзамас-16 — *Ред.*) — это Миша Левин, физик. Он умер. Миша написал, по-моему, лучшие воспоминания об Андрее Дмитриевиче и назвал их, как Терц, «Прогулки с Пушкиным», потому что пишет в основном о том, как они — он и Андрей — воспринимали Пушкина в студенческие годы.

А вообще Андрей распознавал людей плохо. Тут, видимо, играла роль его «закрытость» и свойственная ему некоммуникабельность. У него не было точного ощущения человека, особенно если он не был знаком с ним близко. Описывая людей, он старался не показывать тех их черт, которые были ему неприятны, раздражали. Он и обижать не любил, и оценки людей, событий, идей — свои ли, чужие ли —

истиной в последней инстанции не считал, всегда допускал другие варианты.

Своё одиночество Андрей переносил хорошо. Он людей переносил плохо.

### «Не люблю я музеи...»

Р: Пушкина, вы говорили, он хорошо знал, а что ещё в поэзии любил?

Б: С поэзией вообще у него было сложно. В русской поэзии он остановился на Блоке. Он не знал даже Давида Самойлова! Потом он, конечно, вошёл и в современную поэзию. У меня есть записи, когда Андрей Дмитриевич учит наизусть Пастернака «Гамлета» и «Август», как проверяет себя потом, ставит на полях галочки, где ошибся, не то слово употребил...

Р: Как он к искусству относился?

Б: Странно, мы в Горьком прожили без месяца семь лет (1979-1986-й — *Ред.*) и Андрей ни разу за это время не был в горьковской галерее (а она очень хорошая). И когда я ему говорила: «Ну давай сходим», — он отвечал: «Не люблю я музеи». А когда мы были во Флоренции, то хоть и дожди дикие шли, и времени было мало, но оба главных (я думаю, что главные) музея Италии — галерею Уфици и Питти — он посмотрел. Он художественные альбомы любил смотреть, которых в нашем доме было довольно много. Но, в общем, я не знаю, как он относился к искусству. С Андреем Дмитриевичем многое странно. Например, до встречи со мной (1970 год. — *Ред.*) он всего один раз в жизни — и всего один день — был в Ленинграде. И в первый раз в Эрмитаже побывал только в 87-м году с внуками. В то же время ему страшное эстетическое наслаждение доставляли всякие летательные аппараты, он летать очень любил. Вообще ему нравилась самая передовая техника, ему казалось, что в ней заложено будущее и вообще это красиво. Всё-таки он очень был технократ.

Р: Но и сказки писал...

Б: Да, писал внукам. Они все иллюстрированы у него. Он тщательно раскрашивал рисунки фломастерами. Сказки эти мне не очень нравились, потому что сказочный элемент в них начисто отсутствовал — его заменяла научно-популярная футурология.. Там был то Юпитер, то Марс, всё вокруг звёзд обычно вращалось. Детей в глубине души эти сказки, я думаю, не трогали.

Р: Может, надо поискать в сказках научные идеи?

Б: Вот не знаю, не добралась я ещё до этих сказок, собрать бы, конечно, надо... Тут вот у меня ещё и записочки со стишками. Советы мне:

Чтоб продлился жизни срок,  
Поменяй вино на сок,  
Чтобы жизни срок возрос,  
Обойдись без папирос.  
Ах, куренье сигарет  
Вам приносит только вред.

Р: А я помню его частушку. Это когда Гидаспов в Ленинграде сменил Соловьёва:

Сменил Гидаспов Соловьёва,  
а получилось ..ево!

Б: Да, он таких слов не боялся. А вот что-то тут физическое, надо расшифровать:

У меня есть тоже инстантончик.  
Только я его не завожу.  
Потому что он меня прикончит.  
Я с ума от физики схожу.

Р: Он часто такое писал?

Б: У него была такая манера — каждый день, уже за завтраком, начинать стихами на тему: «Я за то люблю Елену...» Вторая строчка всегда менялась.

Например: «Я за то люблю Елену, что снимает с супа пену».

Или: «Я за то люблю Елену, что упряма, как полено».

Р: Елена Георгиевна, ну а его нежность?

Б: А можно не обо всём говорить?

Р: Дом пуст?

Б: У?

Рост: Дом пуст? Ощущение пустоты?

Боннэр: Абсолютно. Причём, какая-то сгущающаяся пустота.

**«Известия», № 239, 14 декабря 1994 года.**

Мы готовились отметить юбилейную XXX Международную научную конференцию школьников «Сахаровские чтения» как-то особенно — так, чтобы она надолго запомнилась всем участникам. Но природа напомнила нам, что по сравнению с её возможностями наши — слабы и даже ничтожны. Мировой режим карантина изменил нашу частную жизнь, наш быт так, как мы могли только читать в книжках или смотреть в фильмах...

XXX Сахаровские чтения прошли в заочном режиме. К сожалению, у участников не было возможности представить свои работы друг другу в традиционном формате, обсудить их с единомышленниками, получить обратную связь и наполниться заразительной энергией творческой мысли. Надеемся, что наш сборник частично восполнит потерянное в он-лайн трансляции ощущение целостности и позволит составить общее представление о прошедшей конференции.

В этом году в сборник вошли не только аннотации работ участников, но и тезисы работ лауреатов.

*Оргкомитет*

Публикуем вступительное слово председателя оргкомитета Международной конференции школьников «XXX Сахаровские чтения», директора лицея «Физико-техническая школа» Академического университета имени Ж.И. Алфёрова Михаила Георгиевича Иванова

(<http://www.school.ioffe.ru/readings/2020/winners.html>,

<https://www.youtube.com/watch?v=FSKPF3FUcII>)

Многоуважаемые участники Чтений, дорогие гости!

Впрочем, понятие «гости» на этой конференции несколько относительное. Я хотел поприветствовать вас, но я в затруднении, что произнести... Можно сказать: «Доброе утро!», потому что у нас в Санкт-Петербурге 10 часов утра, а для кого-то в Новосибирске это будет добрый день, или добрый вечер в Комсомольске-на-Амуре. Впрочем, вы можете включить эту запись в любое время. Тем не менее...

Доброе утро, дорогие друзья! XXX Сахаровские чтения, Международная научная конференция школьников, открываются!

Тридцатая конференция автоматически имеет давнюю и, наверное, славную историю, раз она сохранилась в столь сложный период. Напомню, что выросла она из научной конференции «Физико-технической школы» в Санкт-Петербурге, потом стала городской, всесоюзной, всероссийской, международной... И естественное ожидание, что в условиях мировой пандемии конференция или не состоится, или уж по крайней мере как-то уменьшится по числу участников, не оправдалось. Конференция выросла! У нас в этом году приблизительно двести пятьдесят участников. Двести пятьдесят! А на прошлой, XXIX конференции, было порядка ста восьмидесяти. Понятно, что есть объективные обстоятельства: не нужно покупать билеты, не нужно деньги доставать на билеты и вообще не надо с кем-то договариваться о каких-то бумагах, печатях, оформлении и т. д. Тем не менее, это замечательно! Как во время войны говорили, что музы не молчали, так и у нас сегодня не молчит наука, не молчат интегралы, не молчат базы данных и прочие осциллографы с биологическими клетками.

География чтений по-прежнему поразительна. Во-первых, конференция осталась международной. Во-вторых, если говорить про Россию, география участников по-прежнему максимально широка: от Комсомольска-на-Амуре на востоке — до Калининграда и Багратионовска на крайнем западе, от Сыктывкара на севере —

до Майкопа, Адыгеи, на юге. Взгляните только на карту чтений (<http://www.school.ioffe.ru/readings/2020/map.jpg>)!

И ещё шире наша география за счёт международных участников. Беларусь — традиционно наш самый активный партнёр. В конференции принимают участие ребята из Минска, Витебска (родины Жореса Ивановича Алфёрова), Могилёва и других городов Белоруссии. Не уступают нашим белорусским коллегам школьники из Таиланда: в этом году на конференции из Таиланда столько же участников, сколько из Беларуси. Причем, Таиланд, насколько я понимаю, южнее Майкопа, и мне приятно сознавать, насколько мы в нашей научной экспансии продвинулись на юг.

Назову несколько городов. Ближе всех к Санкт-Петербургу не только в буквальном смысле, но и по частоте контактов — Москва и Московская область. Приблизительно столько же участников, сколько из Москвы, из Нижнего Новгорода. Чуть-чуть поменьше из Новосибирска. Вообще Сибирь в этом году у нас активно представлена: это Красноярск, Томск, Екатеринбург... Школьники из Луганска традиционно участвуют в конференции.

Вы представляете, какую работу пришлось проделать оргкомитету чтений, экспертным советам, жюри? Число заявленных работ было приблизительно на треть больше, чем число принятых. Учитывая заочный формат конференции, мы предложили участникам добавить к тезисам видео-ролик со своим выступлением. Многие так и сделали. Не все, но я представляю, как усложнилась работа членов жюри, как возросла ответственность. В этом году им пришлось не просто принимать решение о допущенных и недопущенных работах, а почти параллельно, тут же, определять, чьи работы более интересны, более содержательны, достойны диплома той или иной степени.

Хочу предостеречь всех участников. Наша конференция не единственная, хотя, я знаю, — самая интересная... К сожалению, конференции школьников стали эволюционировать в сторону олимпиад, к олимпиадным конкурсам. Соответственно появился некий спортивный соревновательный элемент: получил ли ты диплом участника или диплом лауреата той или иной степени? И именно это (получение диплома) воспринимается как удача или неудача. Это ошибка! Хочу напомнить, что работа Альберта Эйнштейна по специальной теории относительности и его работа по общей теории относительности Нобелевских премий не получили. Эйнштейн получил Нобелевскую премию за работу по теории фотоэффекта.

Безусловно, это была работа Нобелевского уровня, но, как говорится, не эпохальная.

Цель участия в конференции, конечно же, у каждого своя, я не буду вам её диктовать. Но, по сути дела, конференция — это возможность представить работу и вместе с руководителями, с коллегами подвести некий итог, услышать экспертную оценку, сравнить собственную работу с работами участников, быть может, из других регионов, говорящих иногда на разных языках. Ведь наука — международная штука. Она в этом смысле не имеет национальности.

Обычно на открытии я завершаю своё выступление пожеланием, зависящим от погоды, которая в этот день у нас в Питере. Если идёт дождик, я говорю, что это замечательно и очень удачно: ведь есть возможность заняться вечными вещами — физикой, математикой, биологией, информатикой... А если случается хорошая погода, я говорю: «Это символ! Сегодня будет самый удачный день в вашей жизни!» Но, поскольку моё выступление записывается накануне, я не могу предугадать, петербургскую погоду, этого никто не умеет! Я просто надеюсь, что день XXX Сахаровских чтений будет для вас удачным днём, что всё сложится нормально, что будет интересно и, может быть, вам даже придут в голову интересные мысли. Это так редко бывает! Чаще всего — раз или два в жизни. Хорошо бы, чтобы это с вами случилось сегодня! Я вам желаю, чтобы это был в любом случае удачный день. Пусть ваше занятие наукой продолжится. И пусть это продолжение будет достойным. Достойным того, как в трудных ситуациях поступал Андрей Дмитриевич Сахаров, именем которого названа эта конференция.

Удачи вам, ребята!

*17 мая 2020 г., Санкт-Петербург*

# XXX САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

## Секция ФИЗИКИ

### Жюри секции

Глазов Михаил Михайлович, член-корр. РАН,  
д.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН  
Пошакинский Александр Валерьевич, к.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН  
Штернин Пётр Сергеевич, к.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН  
Компан Михаил Евгеньевич, д.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН  
Минарский Андрей Михайлович, СПБАУ РАН

### Итоги секции

<http://www.school.ioffe.ru/readings/2020/results.html#phys>

<https://www.youtube.com/watch?v=WxdZBGy9zPI>

### ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАДАЮЩИХ КАПЕЛЬ

Муравьёва Т.К., Муравьёв Н.И., Балакин М.А.  
*МАОУ «Лицей № 38», Нижний Новгород, Россия*  
*mik\_b2220@mail.ru*

В обыденной жизни хаос является символом всего неизвестного и неконтролируемого. Под хаосом понимается полное отсутствие связи между событиями — «абсолютный беспорядок». Хаотическими явлениями в природе являются формирование облаков, турбулентность в морских течениях, колебания численности популяций растений и животных, формы разрядов молний, аperiodичность пиков энцефалограммы мозга или сокращений сердечных мышц, тепловая конвекция в жидкостях и газах, флаттер в сверхзвуковых самолётах, колебательные химические реакции, динамика жидкости, колебания маятников и роторов, колебания на рынке ценных бумаг...

Хотя хаотическое поведение часто кажется случайным и непредсказуемым, оказалось, что оно следует строгим математическим

правилам, выводимым из уравнений, которые можно сформулировать при построении математических моделей исследуемых явлений.

В 1970-х годах группа учёных Калифорнийского университета занималась моделированием динамических систем. Вскоре учёные стали замечать вокруг себя множество простых систем, ведущих себя хаотическим образом. Одна из них встречалась в каждом доме, это капающий кран при достаточно большой скорости образования капель. Эта система привлекла внимание тем, что была чрезвычайно простой для экспериментального исследования. Эксперимент привёл к впечатляющему результату: в непериодическом режиме подтекающего крана было найдено много вариантов хаотического поведения. Позднее, в 1984 году, один из членов группы Роберт Шоу опубликовал монографию под названием «Капающий кран как модель хаотической системы» [2]. С тех пор прошло много лет, но на эту работу до сих пор часто ссылаются авторы трудов по теории хаоса. Однако, несмотря на то, что такие эксперименты легко осуществимы, а при современном уровне техники даже в домашних условиях, работа Р. Шоу остается единственной. Поэтому настоящая работа имеет также цель повторить эксперимент и привести новые данные в изучение динамики падающих капель.

Метод. Для подачи воды в капилляр выбрана автономная ёмкость, т.к. давление в водопроводе может меняться в процессе эксперимента. Ёмкость должна иметь как можно больший объём, чтобы за время опыта давление, а значит, и скорость каплеобразования изменялись незначительно. Одновременно ёмкость должна иметь большую площадь, чтобы при том же объёме давление было ниже и его было легче регулировать краном. Был выбран пластиковый таз, в нижнюю часть которого был вмонтирован кран. Конечная часть крана была срезана, и на неё был насажен подыгольный конус шприца, на который можно надевать тупые иглы разного диаметра или другие капиллярные трубки.

Единственным параметром, который мы можем менять в процессе поиска хаоса, является скорость каплеобразования. Конструкция крана от фильтра для очистки воды не позволяет регулировать скорость с нужной точностью — в диапазоне от 1 до 10 капель в секунду, как делалось в работе [2]. Поэтому было проведено всего несколько опытов в режиме мало меняющегося давления (менее 1% за время опыта). Если же не стремиться обеспечить постоянство скорости, а уменьшить высоту уровня воды, то в течение длительного времени наблюдения скорость может пройти весь интересующий нас диапазон. А это значит, что если в этом диапазоне есть значения параметра, при котором происходят бифуркации, то мы их обнаружим. Поскольку целью работы является обнаружения хаоса, то основное внимание было уделено опытам в режиме медленно меняющейся скорости. Опытным путём был подобран такой объём воды, при котором за время наблюдения в несколько часов скорость менялась в диапазоне от 26 до 1 капли в секунду.

Результаты. Данная работа показала, что явления хаоса можно наблюдать не только в научных лабораториях, но и в домашних условиях,

используя подручные средства и бытовую электронику. Свободно распространяемые математические пакеты для персональных компьютеров позволяют почти на профессиональном уровне обрабатывать экспериментальные данные и оформлять результаты работы.

Даже при наличии вибраций и шумов, затрудняющих идентификацию хаоса, почти в каждом опыте с падающими каплями наблюдаются эффекты, необъяснимые случайностью. Как и предполагалось, метод «диаграмм разброса» является весьма эффективным для обнаружения скрытых закономерностей в динамике. Режим плавного изменения скорости капель позволил в одном опыте найти множество моментов возникновения бифуркаций.

Интересны результаты, полученные из опыта с «сосулькой». Возможно, построить такую физическую модель «сосульки», в которой можно будет изменять не только один параметр (скорость подачи воды), но и некоторые другие. Например, поперечную скорость стекающей воды.

Обсуждение. Некоторые эффекты, наблюдаемые в данной работе, не следует интерпретировать до тех пор, пока не будет повышена точность и информативность эксперимента. Для этого нужно использовать антивибрационную платформу, кран с тонкой регулировкой подачи воды, бак большей емкости, более широкий набор капилляров; разработать независимый метод измерения скорости расхода воды; разработать датчик измерения размера капли; разработать программное обеспечение построения скаттерограмм в реальном времени.

Практическая ценность данной работы заключается в том, что использованный в ней метод можно применить в лабораторных работах студентов, обучающихся по специальности нелинейная динамика. Также, практически без изменений, имеющаяся установка и программное обеспечение позволяют проводить исследования зависимости диаметра шейки отрыва капли в зависимости от характеристик капилляров и скорости каплеобразования.

#### Литература:

1. Глейк, Дж. Хаос: Создание новой науки: монография / Дж. Глейк — М.: Амфора, 2001.  
URL: [http://bookscafe.net/book/gleyk\\_dzheyms-haos\\_sozdanie\\_novoy\\_nauki-199823.html](http://bookscafe.net/book/gleyk_dzheyms-haos_sozdanie_novoy_nauki-199823.html).
2. Shaw, Robert. Dripping Faucet As a Model Chaotic System: монография / Robert Shaw — Santa Cruz, 1984.  
URL: [https://ia800706.us.archive.org/1/items/ShawRobertDrippingFaucetAsAModelChaoticSystem1984\\_201811/ShawRobert-DrippingFaucetAsAModelChaoticSystem1984.pdf](https://ia800706.us.archive.org/1/items/ShawRobertDrippingFaucetAsAModelChaoticSystem1984_201811/ShawRobert-DrippingFaucetAsAModelChaoticSystem1984.pdf).

3. L.Schamroth, E.Dove. The Wenckebach Phenomenon in Sino-atrial Block: статья — Brit. Heart J. — 1966. — № 28. — С. 350.  
URL: <https://heart.bmj.com/content/heartjnl/28/3/350.full.pdf>
4. Гласс, Л. От часов к хаосу: Ритмы жизни: монография / Леон Гласс, Майкл Мэки; пер. с англ. — М.: Мир, 1991 — 248 с.
5. Файнзильберг, Л.С. Основы фазографии: монографии/ Л.С. Файнзильберг — Киев, 2017. — 264 с.  
URL: <https://istina.msu.ru/publications/book/133260411/>

# ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

## **ВОСЕМЬ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ АНИЗОТРОПИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОФИСНОЙ БУМАГИ**

Мадонова З.А., Ревенко А.К.

*МОУ Гимназия г. Фрязино Московской области, г. Фрязино, Россия*

*sergkar1@list.ru*

Анизотропией называется зависимость физических параметров изучаемого материала от направления в пространстве. Как правило, если в материале наблюдается анизотропия одной группы физических свойств, например, механических, то следует ожидать и анизотропии других свойств (электрических, термодинамических, оптических). Наиболее доступным для исследования в условиях школьной лаборатории анизотропным материалом является офисная бумага. Причиной её анизотропии являются технологические особенности процесса производства. Цели данной исследовательской работы: создание методики проведения школьных экспериментов, иллюстрирующих анизотропию бумаги; демонстрация возможности измерения модуля Юнга в условиях школьного кабинета физики; разработка методов исследования свойств бумаги с использованием офисного сканера.

1. Если на поверхность бумаги нанести каплю жидкости, то скорость её проникновения вдоль волокон (машинное направление) превышает скорость проникновения поперёк волокон. Пятно, оставленное на бумаге добавленными в жидкость красителями, имеет форму, похожую на эллипс. Для оценки формы эллипсов используется величина, называемая эксцентриситет. Эксперименты, проведённые в данной работе, показали, что эксцентриситет растекания спиртовых растворов йода и зелёнки на бумаге торговой марки «SvetoCopy» составляет величину порядка  $(0,50 \pm 0,04)$ . Вода для подобных экспериментов не подходит. Капля воды на поверхности бумаги довольно долго сохраняет сферическую форму и не успевает растекаться вплоть до полного испарения.

2. Высыхание капель спиртосодержащих жидкостей приводит к деформации бумаги, образованию на ней продолговатых углублений или выступов, направленных вдоль одной прямой. Для изучения особенностей возникающего рельефа предлагается использовать канцелярский сканер с последующей обработкой полученного изображения цифровыми методами [1]. Преимущество такого способа визуализации деформаций обусловлено тем, что подсветка в сканере осуществляется под большим углом, благодаря чему удаётся выявить не только топологию неровностей, но и наблюдать изменение отражающих свойств поверхности.

3. Наиболее ярко анизотропия офисной бумаги проявляется при изучении физических величин, характеризующих её упругие свойства. В данной работе выполнено два эксперимента. В первом исследовалась зависимость деформации бумажных колец от величины сжимающей их силы. Если ввести коэффициент жёсткости кольца  $k$ , аналогичный коэффициенту

жёсткости пружины, то для кольца из полосы, вырезанной вдоль машинного направления бумаги, он оказывается равным  $k_1 = 1,81$  Н/м. Для кольца из полосы, вырезанной в поперечном направлении,  $k_2 = 0,62$  Н/м. Таким образом, коэффициенты жёсткости для двух колец отличаются в 2,9 раза. Эксперимент проводился по методике, описанной в работе [2]. Там же приведена формула для расчёта модуля Юнга. По результатам наших экспериментов для бумаги «SvetoCopy» модуль Юнга в машинном направлении (вдоль волокон)  $E_{\text{продольный}} = 8500$  МПа, а в поперечном направлении  $E_{\text{поперечный}} = 2900$  МПа. Полученные результаты по порядку величины хорошо совпадают с литературными данными [3].

4. В эксперименте «Прогиб полосы» измерялось провисание края полосы относительно горизонтальной плоскости стола в зависимости от длины  $L$  свисающей части. По результатам графической обработки полученных зависимостей найдено, что для бумаги «SvetoCopy» модули Юнга для двух перпендикулярных направлений равны  $E_{\text{продольный}} = 6700$  МПа и  $E_{\text{поперечный}} = 3300$  МПа. Этот результат несколько отличается от значений модуля Юнга, полученных в опытах по деформации бумажных колец, но совпадает с теми результатами по порядку величины. Для выяснения причины полученных расхождений требуется проведение дополнительных исследований.

5. В данной работе наблюдалось существенное различие частот собственных колебаний свисающих со стола полосок бумаги одинаковой длины и ширины, вырезанных в различных направлениях. Для плоски, вырезанной в машинном направлении, резонансная частота равнялась  $f_{\text{прод}} = 8,5$  Гц, а для полоски, вырезанной в поперечном направлении,  $f_{\text{попер}} = 5,5$  Гц.

6. Если две одинаковые полоски офисной бумаги, вырезанные в различных направлениях, опустить в жидкость на одинаковую глубину, то их смачивание произойдет на разную высоту  $h$ . Если  $h$  отсчитывать от уровня жидкости в сосуде, то в наших экспериментах для машинного направления  $h_{\text{машинное}} = 28$  мм, а для поперечного направления  $h_{\text{поперечное}} = 24$  мм. Таким образом, разница в уровнях намочения составляет примерно 15%.

7. Одним из оперативных методов определения машинного и поперечного направлений бумаги является её сгиб, усиленный протаскиванием через плотно сжатые острые поверхности. При сгибе вдоль поперечного направления возникает волнистая деформация с определённой периодичностью. Эта деформация наблюдалась как с помощью оптического микроскопа, так и с помощью сканера, подсветка в котором, как отмечалось выше, контрастно выявляет неровности поверхности.

8. В заключительном эксперименте наглядно продемонстрирована причина анизотропии физических свойств офисной бумаги. Она обусловлена преимущественной ориентацией волокон в машинном направлении из-за вытяжки бумажного полотна на бумагоделательной машине. Структуру волокон удаётся наблюдать непосредственно с помощью оптического микроскопа на краю бумаги, образованном при её разрыве по сгибу. В одном

случае продольные волокна слегка вытягиваются из объёма и весьма хаотично располагаются под некоторым углом к линии разрыва. В другом случае основные волокна ориентированы перпендикулярно разрыву и располагаются практически параллельно друг другу, как будто их специально распрямили какой-то гребёнкой.

Проведено восемь экспериментов, подтверждающих наличие анизотропии физических свойств офисной бумаги. Большинство из этих экспериментов могут использоваться в качестве демонстраций на уроках физики при объяснении явления анизотропии, а также других физических явлений (упругости, колебаний, капиллярных явлений).

#### Литература:

1. Ю.Д. Лучёва/ Международная научная конференция школьников «Сахаровские чтения», 2012, 16.
2. А.В. Гуденко. 48-я Всероссийская олимпиада школьников по физике, региональный этап, экспериментальный тур, 2013–2014, 8.
3. Я.В. Казаков , О.Я. Казакова , Т.Н. Манахова , А.В. Малков. Заводская лаборатория.
4. Диагностика материалов. 2015, 81(8), 53–58.

## ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

### ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ПРИ ПОМОЩИ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Минеев С.М., Тукова Н.Б.

МАОУ Лицей № 38, Нижний Новгород, Россия

tykovaN@mail.ru

В современном мире часто возникают пожары в различных условиях: в производственных помещениях, в жилых домах, на природе. Эффективность часто используемых для тушения пожара средств зависит от условий, в которых произошло возгорание. Например, при горении жидких и газообразных веществ во многих случаях невозможно применение воды, некоторых составов пен и т.д. После возгорания также могут остаться следы пожара.

В связи с этим ведутся поиски новых методов пожаротушения, разрабатываются новые устройства, одним из которых является устройство для тушения пламени при помощи звука.

В данном исследовании представляется вариант устройства, которое способно тушить локализованные небольшие пожары.

Основным методом исследования в данной работе являлся практический эксперимент. Работоспособность рассматривалась эмпирически, а теоретические величины оценивались в приближении при помощи характеристик звуковой волны [1], таких как уравнение затухающих гармонических колебаний:  $x = (A \cdot \cos(\omega t + kr))e^{-2\alpha r}$ .

В опытах участвовало сконструированное устройство в виде динамика, на котором был закреплён рефлектор в виде цилиндра. Для большей точности устройство было закреплено на штативе на одинаковом расстоянии от пламени. На усилитель устройства подавался сигнал различной частоты в диапазоне частот от 10 до 100 Гц, так как при использовании иных частот исчезает любое влияние на пламя. Для приближенных замеров времени тушения использовался электронный секундомер.

По результатам опытов были построены графические зависимости времени тушения от используемой частоты. В результате было выявлено, что наиболее эффективным рабочим диапазоном частот для данной конструкции устройства является 85–90 Гц, так как при использовании частот данного диапазона происходит резкое падение времени тушения, примерно с 10,9 сек для 10 Гц до 0,2 сек для 85 Гц, что повышает эффективность тушения.

Устройство показало работоспособность, также было предложено улучшение конструкции, которое повысило эффективность устройства. Суть улучшения заключается в том, что вместо плоского фронтального рефлектора на цилиндре предлагается рефлектор в виде параболоида, который выполняет роль фокусировки звуковых волн, падающих на него. Время тушения при использовании видоизменённого рефлектора сократилось

до (приблизительно) 0,17 сек для 85 Гц. При оценке величин оказалось, что улучшение увеличивает среднее давление среды более чем в два раза:

$$p = 7.073 \cdot 10^3 \text{Па}, p \approx 1.701 \cdot 10^4 \text{Па}.$$

Метод тушения пламени при помощи звука может быть действительно эффективен в определённых ситуациях, так как устройство по тушению пламени достаточно компактно, требует лишь питание от сети, что можно заменить аккумулятором, может тушить и жидкости, если произошло их возгорание, а также оставляет меньше следов от тушения, чем, например, стандартный огнетушитель.

Литература:

1. Яворский, Б.М., Детлаф, А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. — М.: Наука, 1977. — 942 с.

## ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

### **СТАБИЛИЗАЦИЯ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ ГРАДИЕНТНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ПЛЁНКАХ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВЫХ ГРАНАТОВ**

Клинская Б.А.

*Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия  
ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург  
bogdana.klinskaia@gmail.com*

В настоящее время большой интерес представляет разработка новых способов и устройств передачи и обработки информации, являющихся альтернативой традиционным устройствам электроники. Это связано с необходимостью увеличения скорости передачи информации с понижением энергозатрат. С этой точки зрения одной из наиболее перспективных концепций является магноника [1]. Задачей магоники является изучение особенностей магнного транспорта в форме спиновых волн — волн намагниченности. Одним из подходов к управлению параметрами спиновых волн является использование дефектов в магнитной структуре, например, доменных границ.

Задачей проекта является создание держателя образцов плёнок железо-иттриевых гранатов для стабилизации в них уединённой доменной границы. Держатель будет использован в лаборатории физики ферроиков ФТИ им. А.Ф. Иоффе в экспериментальной установке по наблюдению распространения оптически возбуждаемых спиновых волн через доменную границу.

Железо-иттриевый гранат  $Y_3Fe_5O_{12}$  (ЖИГ) — ферромагнитное соединение, применяемое в микроволновых и магнитооптических устройствах, диэлектрик [2].

Магнитооптический эффект Фарадея заключается в том, что при распространении линейно-поляризованного света через вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света [2,3].

Методы. В ходе работы спроектирован и создан держатель с требуемыми параметрами. Для держателя подобраны постоянные магниты, создающие неоднородное поле. Проведена оптимизация пространственного распределения магнитного поля. Положение доменной границы в образцах плёнок ЖИГ визуализировалось за счёт эффекта Фарадея [3] на поляризационном микроскопе Olympus. Деталь для закрепления магнитов спроектирована в среде FreeCAD и распечатана на 3D-принтере.

Результаты. В ходе выполнения работы в качестве магнитных плёнок использованы несколько образцов разных составов: плёнки чистого ЖИГ и висмут-замещённого ЖИГ различной толщины. Для каждого образца выбиралась конфигурация постоянных магнитов, создающая наиболее

подходящее пространственное распределение магнитного поля. Критерием оптимальности выбранной конфигурации являлось наблюдение в плёнке устойчивого двудоменного состояния. В результате требуемый держатель создан и выбраны две магнитные плёнки, подходящие для дальнейших исследований.

Заключение. Созданный держатель установлен в экспериментальной установке для изучения прохождения спиновых волн через доменную границу. Эксперименты будут проводиться в лаборатории физики ферроиков ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В перспективе подход к проектированию держателя магнитных плёнок, разработанный в данной работе, может быть применён для стабилизации двух и более доменных границ. Это актуально для создания сложных логических устройств магноники.

#### Источники:

1. С.А. Никитов и др. Магноники — новое направление спинтроники и спин-волновой электроники. 2015, 185, 1099–1128.
2. Белотелов В.И., Звездин А.К. Фотонные кристаллы и другие метаматериалы. 2006
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/эффект\\_Фарадея](https://ru.wikipedia.org/wiki/эффект_Фарадея)

**ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ**  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАРТИНЫ ТРЕЩИН  
В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЁНКАХ НА ОСНОВЕ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ**

Грузинов Н.Д.

*Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия  
gruzinov15@yandex.ru*

В лабораториях ФТИ им. Иоффе проводятся исследования методов выращивания плёнки из нитрида алюминия (AlN) — широкозонного полупроводника с гексагональным устройством кристаллической решётки, пьезоэлектрика [1]. Этот материал используется в светодиодах и сенсорах поверхностных акустических волн. Плёнки AlN выращиваются на подложке из кремния Si(111). Кремний обладает значительно отличающимися от AlN постоянной решёткой и коэффициентом термического расширения, что приводит к деформациям в получаемом полупроводниковом слое. Деформации ухудшают общее качество слоя и уменьшают подвижность носителей в нём. Для сравнения различных технологий выращивания кристаллов необходимо оценивать степень этих деформаций. Обычно для характеристики деформаций используются спектры комбинационного рассеяния света (КРС) и данные рентгеноструктурного анализа, но область применения этих методов ограничена.

Одним из проявлений деформации являются трещины, которые видны на фотографиях плёнок, получаемых с помощью оптического микроскопа. Зарождение трещин имеет случайный характер и не подчиняется простым аналитическим закономерностям. В связи с этим оценка степени растресканнысти полупроводниковых плёнок затруднена, и до настоящего времени не было предложено объективного метода проведения такой оценки.

В данной работе предлагается ряд методов характеризации картины трещин по фотографиям. В качестве параметров характеризации используется среднее расстояние между трещинами и направления, в которых преимущественно проходят трещины. В основе этих методов лежит двумерное дискретное преобразование Фурье [2]. Преобразование Фурье принимает на вход изображение с трещинами и возвращает другое, специфическое изображение того же размера, по которому можно сделать некоторые выводы о периодичности, ориентации и частоте трещин.

По результатам преобразования Фурье можно точно определить предпочтительные направления, в которых происходит растрескивание. Эта процедура была автоматизирована с помощью языка программирования R и применена к имеющимся образцам [3,4]. В ходе исследования оказалось, что в некоторых образцах трещины располагаются преимущественно под углом 60 градусов друг к другу, что соответствует внутренней структуре кристалла, а в некоторых — под углами, близкими к 45 и 90 градусам.

Для сравнения частоты появления трещин (т. е. среднего расстояния между трещинами) в различных образцах был разработан критерий, основанный на медианной оценке определённого распределения яркости в изображениях, получаемых с помощью преобразования Фурье. Результат применения этого критерия к фотографиям образцов совпал с субъективными оценками степени растресканности.

В качестве резервного метода оценки был разработан и автоматизирован способ подсчёта средней площади бездефектных блоков, не опирающийся на преобразование Фурье. Характерное значение площади блока для имеющихся образцов составило примерно 500 кв. мкм.

Главным недостатком и трудностью в использовании предлагаемых методов является чувствительность к качеству освещения на фотографиях. В случае неравномерного освещения результат преобразования Фурье отражает специфику освещения, а эффекты, создаваемые трещинами в плёнке, теряются, поэтому нашли применение несколько как уже существовавших, так и созданных самостоятельно методов коррекции изображения, повышающих точность результатов.

Итак, были разработаны, частично автоматизированы и применены методы анализа картины трещин в полупроводниковых плёнках по фотографиям, которые позволяют оценивать и сравнивать различные технологии получения плёнок на основании ряда показателей. Основой разработанных методов послужило преобразование Фурье, которое применялось к фотографиям плёнок.

#### Литература:

1. В.Н. Бессолов, Н.Д. Грузинов, М.Е. Компан, Е.В. Коненкова, В.Н. Пантелеев, С.Н. Родин, М.П. Щеглов. Письма в ЖТФ, 2020, 46, 29–31.
2. Brigham, E. Oran. The fast Fourier transform and its applications (Prentice-Hall signal processing series), 1988, chapter 11.
3. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, 2018.  
URL <https://www.R-project.org/>.
4. Simon Barthelme, 2019. Imager: Image Processing Library Based on 'CImg'. R package version 0.41.2.  
<https://CRAN.R-project.org/package=imager>.

**ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ**  
**СОЗДАНИЕ ГИБРИДНЫХ ПЕРОВСКИТ-ПОЛИМЕРНЫХ  
СВЕТОДИОДОВ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ И  
ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Иванова М.С.<sup>1</sup>, Лебедько А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Университет ИТМО, Физико-технический факультет, Санкт-Петербург,  
Россия  
9094804@mail.ru*

Галоидные свинцовые перовскиты — это новый полупроводниковый материал для создания высокоэффективных солнечных элементов, светодиодов и лазеров. Перовскиты имеют кристаллическую структуру, состоящую из трёх типов атомов ( $ABX_3$ ), где катионы А расположены в углах куба, металлический катион В в его центре, а галоидные анионы Х образуют вокруг катиона В практически правильный октаэдр, и эта структура определяет их уникальные оптические свойства. В зависимости от химического состава перовскитов можно менять ширину их запрещённой зоны, следовательно, длину волны исходящего излучения. Таким образом можно получать светодиоды разных цветов во всём видимом диапазоне, на основе таких материалов. [1–3]

Подвижность носителей заряда и скорость их рекомбинации зависят от концентрации внутренних дефектов кристалла, поэтому изучение дефектов важно для создания полупроводниковых устройств. Одно из достоинств перовскитов — это их толерантность к дефектам, что обеспечивает высокий квантовый выход. Преимущества перовскит-полимерных светодиодов также заключаются в более узком спектре излучения по сравнению со светодиодами из других материалов, простой и экономичной технологии их изготовления и высокой энергоэффективности. Главный недостаток таких светодиодов заключается в их недолговечности, так как перовскит реагирует с водой, находящейся в воздухе, и разрушается [4].

Нами были созданы и исследованы зелёные светодиоды на основе перовскита  $CsPbBr_3$  в полиэтиленоксиде различной архитектуры — на стеклянной и гибкой подложках. Материал для гибкой подложки — полиэтилентерефталат (ПЭФТ). Обе подложки были покрыты с одной стороны проводящим слоем оксида индий-олова (ИТО).

Процесс создания перовскит-полимерных светодиодов включает в себя приготовление растворов прекурсоров перовскита в полимерном материале, подготовку подложек (физическая и химическая очистка, фотоактивация поверхности), нанесение тонкой перовскит-полимерной плёнки методом центрифугирования растворов с последующим отжигом и нанесение электродов (для гибкого мы использовали электрод из индий-галлиевой эвтектики, а для стеклянного — напыляли алюминиевые контакты).

Для создания гибкого светодиода перед нанесением перовскитной плёнки наносится дырочно-инжекционный слой Pedot:PSS.

Все работы с перовскитом были произведены в специальной камере, с азотной средой с повышенным давлением, чтобы избежать контакта с воздухом.

Результаты. В результате были собраны светодиоды двух различных архитектур на гибкой и стеклянной подложке с использованием разных электродов.

В ходе проведённых исследований были исследованы вольт-амперные характеристики и спектры электролюминесценции созданных светодиодов. У обоих образцов длина волны — 525 нм. Полуширина у гибкого светодиода оказалась уже — 15 нм, чем у стеклянного — 25 нм. Рабочий режим светодиода на стеклянной подложке — 0,5–3 В, а у гибкого — 2–4,5 В. У стеклянного светодиода напряжение зажигания — 2 В, у гибкого — 4 В. Следовательно, длина их рабочей зоны одна и та же, но светодиод на гибкой подложке работает при большем напряжении и даёт больший ток.

Выводы. Мы сами собрали рабочие лабораторные образцы светодиодов и измерили их характеристики. Оба типа светодиодов загорелись ярко-зелёным, нам удалось добиться такого узкого спектра, что цветопередача получилась лучше, чем у других видов светодиодов. К тому же низкие рабочие напряжения по сравнению со светодиодами, сделанными на основе других материалов, позволяют экономить энергию. Важно отметить, что светодиод на стеклянной подложке потребляет меньше энергии, чем гибкий, зато гибкая основа удобна для нестандартных приложений.

#### Литература:

1. Н.М. Протасов. Структурное моделирование сложных оксидов со структурой перовскита в частично ковалентном приближении: курсовая работа. — М: МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, 2011. — С. 3–10.
2. Д.А. Малышкин. Реальная структура и свойства упорядоченных и разупорядоченных фаз в системе  $\text{La}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$  —  $\text{LaBaCo}_2\text{O}_{6-\delta}$ : автореферат диссертации. — Екатеринбург: ФГАОУВО «УФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2018 — С. 14.
3. Х.Н Альбицкая, А.Д Фурасова. Исследование люминесценции свинцовых перовскитов. Лицей «Физико-техническая школа», Университет ИТМО, 1
4. С.С. Аношкин, А.П. Пушкарев. Гибридные перовскит-полимерные светодиоды, излучающие в видимом диапазоне длин волн. — СПб: Наука настоящего и будущего. — Т. 1. — С. 1–2.

**ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ**  
**ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ МИКРОДОЗ ЖИДКОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА**

Шагалова А.А.  
*ШОИ ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия*  
*shagalovaol@yandex.ru*

Измерение вязкости небольших объёмов жидкости (микролитров) актуально для практических исследований в области фармацевтики, косметологии, биологии и других направлений. На данный момент измерительные средства, позволяющие измерять вязкость микродоз, отсутствуют. Результаты наших исследований могут послужить основой для разработки простого, точного и компактного прибора для измерения вязкости микродоз жидкости. Цель — исследовать возможность измерения вязкости микродоз жидкости по изменению электрического импеданса кварцевого резонатора.

Вязкость, внутреннее трение, — свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Известные методы определения вязкости — при помощи ротационного вискозиметра и вибрационных вискозиметров — требуют довольно большого объёма пробы (десятки миллилитров).

В наших экспериментах использовался резонатор в виде прямоугольной пластины из кварца. На металлизированную поверхность кварца через подвесы подаётся синусоидальное напряжение для возбуждения механических колебаний. В рабочем режиме пластина совершает колебания сжатия-растяжения по длине. При частоте резонанса на длине пластины укладывается половина длины продольной звуковой волны, и распределение амплитуды колебательной скорости по длине пластины имеет синусоидальную форму с нулевым значением в середине пластины. Капля исследуемой жидкости (порядка 10 мкл) помещается на рабочий конец пластины, свободный от металлизации. Поверхность кварца под каплей совершает колебания сдвига.

Измеряемыми электрическими параметрами резонатора были действительная и мнимая часть проводимости (адмиттанса).

Известно [1], что при сдвиговых колебаниях плоской поверхности, соприкасающейся с жидкостью, механический импеданс  $Z$  жидкости описывается выражением:

$$Z = S \cdot (1 + j) \cdot \sqrt{\frac{\omega \rho h}{2}}$$

где:  $h$  — вязкость жидкости,  $\rho$  — плотность жидкости,  $S$  — площадь соприкосновения жидкости с поверхностью,  $\omega$  — круговая частота. Величина  $Z$  вычисляется по измеряемым электрическим параметрам резонатора.

Первый способ определения вязкости микродоз жидкости состоял в том, чтобы описать имеющийся конкретный резонатор с помощью эквивалентной схемы, позволяющей определять зависимость измеряемой электрической входной проводимости от импеданса  $Z$  его механической нагрузки в диапазоне частот. Известно [2], что эквивалентная схема нашего резонатора сводится к схеме сложного колебательного контура.

Эквивалентная схема описывает модель резонатора в виде радиотехнической цепочки, все элементы которой можно экспериментально определить с помощью радиотехнических выражений [3]. В частности, для расчётов элементов используются экспериментальные результаты измерений электрической проводимости резонатора при нагрузках каплями с разной вязкостью.

В ходе выполнения работы была опробована другая методика расчёта искомой вязкости  $h_x$  при помощи частичного использования эквивалентной схемы. При этом нужно знать три экспериментально определяемых величины: диаметр годографа ненагруженного резонатора  $Diam\_Air$ , диаметр годографа при нагрузке с известной вязкостью (в данном случае вода  $Diam\_Water$ ) и диаметр годографа при нагрузке с неизвестной вязкостью  $Diam\_x$ . Неизвестная вязкость  $h_x$  вычисляется следующим образом:

$$\sqrt{\frac{h_x}{h_{water}}} := \frac{\frac{1}{Diam_x} - \frac{1}{Diam_{Air}}}{\frac{1}{Diam_{water}} - \frac{1}{Diam_{Air}}}$$

где  $h_{water}$  — вязкость воды.

Опробована методика расчёта вязкости, не требующая никакой эквивалентной схемы. Резонатор представляется в виде линейного электромеханического четырёхполюсника, механической стороной которого является поверхность резонатора под каплей.

Расчёт неизвестной вязкости  $h_x$  основан на свойствах двойного ангармонического отношения (ДАО) комплексной дробно-линейной функции [4], связывающей импеданс нагрузки  $z$  и входной электрический импеданс (адмиттанс)  $Y(z)$ .

$$\sqrt{\frac{h_x}{h_{water}}} := \operatorname{Re} \left( \frac{Y(z_x) - Y(z_1)}{Y(z_x) - Y(z_2)} \cdot \frac{Y(z_3) - Y(z_2)}{Y(z_3) - Y(z_1)} \right)$$

где  $Y(z_1)$ ,  $Y(z_2)$ ,  $Y(z_3)$  — измеряемые входные адмиттансы при трёх нагрузках известной величины  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$ .

Результаты. Были опробованы все три метода обработки результатов измерений. Вычислены неизвестные вязкости (спз) двух жидкостей № 1 и № 2. Наибольший разброс результатов вычислений получается при использовании диаметров годографов. Наименьший разброс получается при вычислениях с помощью эквивалентной схемы. Теоретические погрешности вычисления вязкости по эквивалентной схеме и с помощью

ДАО получились менее 2%. Однако теоретические погрешности оценивались при условии постоянства площади капле, тогда как на практике это, по-видимому, не выполняется, что видно по разбросу результатов. На данном этапе работы мы пока не можем количественно учесть отклонения площади.

**Заключение.** Экспериментально опробована возможность использования кварцевого резонатора для измерения вязкости микродоз жидкости (капля объёмом около 20 микролитров). Освоена методика работы с импедансометром LCR-78110G, с помощью которого измеряются параметры резонатора для последующих вычислений. Экспериментально выявлены недостатки конструкции применяемого резонатора, препятствующие решению поставленной задачи (нестабильность собственных параметров резонатора и отсутствие контроля площади капли). Один из недостатков частично устранён подручными средствами. Получены (измерены) параметры резонатора, пригодные для обработки. Экспериментально опробованы (с помощью Mathcad) три различных метода обработки измеряемых параметров. Показано, что все методы дали близкие результаты даже в имевшихся условиях «плохой стабильности резонатора». Предложены конкретные меры для полного устранения выявленных недостатков конструкции резонатора.

**Выводы.** После устранения недостатков конструкции методика измерения вязкости микродоз жидкости с помощью кварцевого резонатора будет вполне работоспособна.

#### Литература:

1. У. Мэзон. Физическая акустика, т.1. Методы и приборы ультразвуковых исследований, ч. А., 1960.
2. У. Мэзон. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультраакустике./перевод с англ. под ред. А.В. Шубникова и С.Н. Ржевкина. М., 1952.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы, 1986.
4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного, 1987.

## ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ИЗ ПАУТИНЫ МИКРОВОЛОКОН С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Щербинин Ф.С.<sup>1</sup>, Класен Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ГБОУ МО СП «Физико-математический лицей», Сергиев-Посад, Россия*

<sup>2</sup>*ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия*

Актуальность данной работы, с одной стороны, определяется тем, что паутина обладает рекордной среди всех известных материалов удельной прочностью при малом весе. С другой стороны, механизм формирования столь уникальных свойств до конца не выяснен. Продолжающиеся несколько веков попытки разработать промышленную технологию производства микроволокон паутины пока успехов не дали. Паутинное волокно сочетает в себе два рекордных свойства: прочность и эластичность. По удельной прочности паутина в несколько раз превосходит сталь. Как и человеческие волосы, она состоит в основном из белков. Эти белки (спидроины у паутины и фиброины у шёлка) содержат много аминокислот аланина (25%) и глицина (около 40%). Участки белковых молекул, богатые аланином, образуют плотно упакованные кристаллические области, обеспечивающие высокую прочность, а те участки, где больше глицина, представляют собой более аморфный материал, способный хорошо растягиваться и тем самым придавать нити эластичность. На основании того, что для упрочнения резины при её вулканизации используется сера, можно предположить, что активная роль в создании прочности паутины принадлежит аминокислотам метионина и цистина, в которых содержится сера.

В исследовании пучки паутинных волокон размещались на двух параллельных друг другу электродных полосках из алюминиевой фольги, которые были закреплены на предметном стекле бинокулярного оптического микроскопа. К электродам прикладывались постоянные или переменные электрические поля, а вызванные ими изменения в форме и структуре паутины регистрировались видеокамерой, установленной на месте одного из окуляров. Межеlectродное пространство либо оставлялось сухим, либо заполнялось дистиллированной водой или раствором медного купороса. В этих экспериментах была обнаружена высокая электрическая активность паутины. Электромеханически она проявлялась так. Во-первых, при приложении разности электрических потенциалов к электродам с закреплёнными на них концами паутинного пучка, волокна пучка, в начале располагавшиеся на некотором расстоянии друг от друга, при приложении электрического напряжения быстро сближались, образуя плотный жгут. После выключения электрического поля волокна вновь постепенно отходили друг от друга. Во втором эксперименте разность потенциалов прикладывалась не к электродам, на которых закреплён пучок паутины, а к дополнительной паре тонких электродов, ось которых была расположена перпендикулярно пучку и проходила параллельно основным электродам посередине между ними. В этом случае паутинный пучок начинал колебаться как целое между этими дополнительными электродами с периодом

в несколько секунд: сначала он прижимался к одному электроду, через несколько секунд отрывался от него и прижимался к противоположному электроду. Такие осцилляции между электродами могли продолжаться длительное время.

Электромеханические и электрохимические особенности паутины можно объяснить процессами электрической поляризации и переполяризации белков, образующих её волокна. До включения электрического поля компоненты паутины не имели электрической поляризации и поэтому паутина в воде не растворялась. Приложение к паутине внешнего поля вызвало электрическую поляризацию входящих в неё белков и аминокислот, которые по этой причине начали активно взаимодействовать с молекулами воды и переходить в водный раствор. При высыхании воды оставшиеся между электродами белки образовали анизотропные микрокристаллы. Притяжение отдельных волокон сухого пучка паутины друг к другу при подключении к ним продольного электрического поля также можно объяснить индуцированием в них дипольных моментов. Если структура волокон такова, что оси возникающих диполей имеют определённый наклон по отношению к оси волокна, между соседними волокнами возникнет диполь-дипольное притяжение. Обрастание волокон паутины, помещённых в раствор медного купороса, микрокристаллами при включении внешнего электрического поля можно объяснить тем же индуцированием электрической поляризации, которое в чистой воде приводит к растворению паутины. Но в данном случае с индуцированными в волокнах диполями взаимодействуют не молекулы воды, а растворённые в ней ионы медного купороса. Детальный состав образующихся при этом микрокристаллов планируется определить в ближайшее время. Приобретение волокнами паутины голубой окраски при размещении капли медного купороса на одном из электродов свидетельствует о миграции ионов раствора под действием электрического поля либо по поверхности волокон, либо же непосредственно внутри них. Образование же красно-жёлтых микронитей вдоль оси микроволокна свидетельствует, на наш взгляд, о стимулированной электрическим полем миграции ионов меди, образующих непрерывные цепочки. С учётом того, что волокна паутины характеризуются разнообразием оптических свойств в видимой области спектра (например, в некоторых волокнах наблюдается продольная модуляция показателя преломления микронных масштабов, обеспечивающая распределённую обратную связь), электростимулированное внедрение в них оптически активных ионов существенно расширяет возможности микрофотоники на основе паутины. В настоящее время мы изучаем возможности внедрения в паутину и других химических элементов для расширения методов управления её механическими, электрическими и оптическими свойствами.

Полученные в данной работе результаты открывают возможности управления структурой и свойствами паутины вплоть до формирования из составляющих её волокон белков искусственных волокон, по свойствам не уступающих натуральным, и создания из них нескольких видов функциональных материалов с необходимыми механическими, химическими, оптическими и электрическими характеристиками. Кроме того,

обнаруженное возбуждение автоколебаний волокон паутины в постоянном электрическом токе перспективно для создания нового типа генераторов.

Литература:

1. Фишман Р. Живые фабрики, 2017, 11, 44–46.
2. Багров Д. Веревка из паутины, 2010, 4, 28–30.
3. В. Вестхайде, Р. Ригер. Зоология беспозвоночных Т.1: от простейших до моллюсков и артропод, 2008.
4. Рупперт Э.Э., Фокс Р.С., Барнс Р.Д. Зоология беспозвоночных. Т. 3: Членистоногие. М. «Академия», 2008.
5. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики, т. 2, Электричество и магнетизм, 2001.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### MEASUREMENT OF SALINITY IN MEAT BY PROCESSING WITH ARDUINO

Buaprasertying N., Daochalermwong. J, Klomchitcharoen. P, Disrattakit P.  
*Mahidol Wittayanusorn School, Nakhon Pathom, Thailand*  
*nattawut11039@gmail.com*

At the present, Thai people receive sodium from food more than twice the amount prescribed by the World Health Organization, causing many diseases such as clogged arteries, kidney disease, and heart disease among people. In order to relieve this problem, this project aims to create the low-cost salinity meter for the cooked meat.

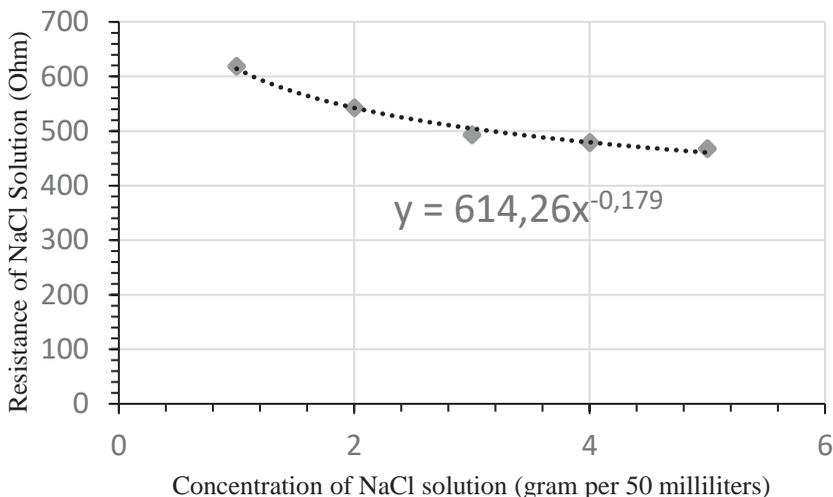
Normally, World Health Organization (WHO) recommends that adults should consume less than 5 grams of salt per day. Consequently, our salinity meter scale is divided into 3 levels. The first level is represented the green light, which means that the cooked chicken has 0.03 grams of salt per 30 grams of the cooked chicken. In the second and the third levels indicated as follows; the yellow light means that the cooked chicken has 0.3 grams of salt per 30 grams of the cooked chicken and the red light means that the cooked chicken has 2 grams of salt per 30 grams of the cooked chicken.

Our salinity meter work by measuring resistance of the cooked chicken breast and convert the resistance into concentration of salt [1]. Firstly, the relationship between resistant and concentration of salt water (NaCl) was investigated by preparing 50 ml of 2, 4, 6, 8, and 10% (grams per 100 milliliters) NaCl solutions, and measure their resistances by multimeter. After that, the results were plot in a graph to determine the equation of resistant and concentration of salt water (NaCl). As the calculation has been done, it is found that the equation is  $y = 614.26x^{-0.179}$  (The trend of graph is referred in [2]) as shown in FIGURE 1, when y is the water resistance and x is the amount of salt (grams) in 50 milliliters of water.

For the second part, the relation between resistance and salt concentration of the cooked chicken breast was studied. To find the salt in the cooked chicken, the pieces of chicken breast were marinated in 300 milliliters of 2, 6, and 10% grams per 100 milliliters) NaCl solutions, these were called pre-salt solutions, for 30 minutes. After that, the chicken breast was removed from the pre-salt solution and cooked in 450 Watts microwave for 3 minutes. Then, each piece was measured by multimeter to find their resistance. The resistance of each salt solution, then, was measured. The difference of amount of salt in each pre- and post-salt solution was defined as shown in FIGURE 2 by calibrating with the relationship between salt water resistance and the salt concentration of water which is  $y = 614.26x^{-0.179}$ , when y is the water resistance and x is the amount of salt (grams) in 50 milliliters of water. The difference of amount of salt in solution is the amount of salt in the chicken. Then, we will know the relationship between the resistance of each chicken piece and the amount of salt in it as shown in FIGURE 3. Finally, the relationship was

used to code in Arduino. The Arduino was used to process the amount of salt in our salinity meter. We found that if the amount of salt of 30 grams cooked chicken are 2 grams (dangerous level) 0.3 grams (quite dangerous level) and 0.03 grams (not dangerous level), the resistance of cooked chicken are  $800 \pm 200 \wedge 1000 \pm 200 \wedge$  and  $1,200 \pm 200 \wedge$  respectively. In addition, this obtained relation between amount of salt and resistance of cooked chicken was used to design a prototype of salinity meter for semi-solid food to warn excessive salt consumption.

In measurement, when the our salinity meter probe is stab in the cooked chicken breast the electric potential is processed with Arduino then display the output as different color of LED according to the levels of salt concentration. Our meter can be used to measure salinity in the cooked chicken breast and display three colors with the light emitting diodes to indicate the amount of salt in the cooked chicken by green light (not dangerous) yellow light (quite dangerous) and red light color (dangerous).



**FIGURE 1:** Graph shows the relationship between resistant and concentration of salt water (NaCl)

| Solution concentration (grams per 300 ml) | Resistance of Pre-Solution | Resistance of Post-Solution | Resistance of chicken |
|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 30  | 467.72                     | 517.8                       | 800 ± 200             |
| 18  | 493.43                     | 502.2                       | 1000 ± 200            |
| 6   | 618.67                     | 621.24                      | 1200 ± 200            |

**FIGURE 2:** Table shows the resistance of each pre- and post- solution, and chicken marinated in the solution.

| Resistance of chicken (Ohm) | Amount of salt in chicken (gram) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 800 ± 200                   | 2                                |
| 1,000 ± 200                 | 0.3                              |
| 1,200 ± 200                 | 0.03                             |

**FIGURE 3 :** Table shows relationship between amount of salt in chicken and its resistance.

[1] Matthew Huber M.S., (n.d.-a). How to measure salinity. Retrieved from <https://algaeresearchsupply.com/pages/how-to-measure-salinity>

[2] Costantino Masciopinto et al. An Integrated Approach Based on Numerical Modelling and Geophysical Survey to Map Groundwater Salinity in Fractured Coastal Aquifers, 2017, 13, 8.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ СОЛИ В МЯСЕ С ОБРАБОТКОЙ**  
**ДАННЫХ НА АРДУИНО**

Буапрасертйинг Н., Даочалермвонг Дж., Кломчитчароен П., Дисраттакит П.  
*Школа Махидол Виттаянусорн, Накхон Патхом, Таиланд*  
*nattawut11039@gmail.com*

В настоящее время количество натрия, получаемого жителями Таиланда из пищи, более чем в два раза превышает норму, предписаную Всемирной организацией здравоохранения, что может вызывать многочисленные заболевания, такие как закупорка артерий, заболевания почек и болезни сердца. Данный проект направлен на создание недорогого прибора, измеряющего уровень соли в приготовленном мясе, который помог бы решить эту проблему.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует взрослым потреблять не более 5 граммов соли в день. Поэтому наша шкала прибора для измерения уровня соли разделена на 3 уровня. Первый уровень, представленный зелёным светом, означает, что приготовленная курица имеет 0,03 г соли на 30 г приготовленной курицы. Второй и третий уровень означают следующее: жёлтый свет сигнализирует, что приготовленная курица имеет 0,3 г соли на 30 г курицы, а красный свет сигнализирует, что приготовленная курица имеет 2 г соли на 30 г приготовленной курицы. Наш прибор для измерения уровня соли работает, измеряя сопротивление приготовленной куриной грудки и преобразовывая сопротивление в концентрацию соли [1]. Сначала связь между сопротивлением и концентрацией солёной воды (NaCl) была исследована путём приготовления 50 мл растворов NaCl с показателями 2, 4, 6, 8 и 10% (грамм на 100 миллилитров) и измерения их сопротивлений с помощью мультиметра. После этого на основе результатов был построен график для определения уравнения сопротивления и концентрации солёной воды (NaCl). Расчёт показал, что уравнение имеет вид  $y = 614.26x - 0.179$  (поведение графика приведено в [2]), как показано на Рис.1, где  $y$  — сопротивление воды, а  $x$  — количество соли в граммах в 50 миллилитрах воды. Во второй части исследования была изучена связь между сопротивлением и концентрацией соли в приготовленной куриной грудке. Чтобы выявить соль в приготовленной курице, кусочки куриной грудки мариновались в 300 миллилитрах растворов NaCl (2, 6 и 10% граммов на 100 миллилитров), т. е. так называемых предварительных солевых растворах, в течение 30 минут. После этого куриную грудку вынимали из предварительного солевого раствора и готовили в микроволновой печи мощностью 450 Вт в течение 3 минут. Затем с помощью мультиметра было измерено сопротивление каждого кусочка.

Далее измерялось сопротивление каждого солевого раствора. Разница в количестве соли в предварительном и конечном солевых растворах рассчитана и представлена на Рис.2 путём калировки с соотношением сопротивления солёной воды и концентрации соли в воде, которое составляет

$y = 614.26x - 0.179$ , где  $y$  представляет собой водостойкость, а  $x$  — количество соли в граммах в 50 миллилитрах воды. Разница количества соли в растворах и есть количество соли в курице. Таким образом мы узнаем отношение между сопротивлением каждого кусочка курицы и количеством соли в нём, как показано на Рис. 3. Наконец это отношение использовалось для написания кода на Arduino. Arduino использовался в приборе измерения уровня соли для количественной обработки. Мы обнаружили, что если количество соли в 30 г приготовленной курицы составляет 2 г (опасный уровень), 0,3 г (довольно опасный уровень) и 0,03 г (не опасный уровень), то сопротивление приготовленной курицы составляет  $800 \pm 200$  Ом,  $1000 \pm 200$  Ом и  $1,200 \pm 200$  Ом соответственно. Кроме того, полученное соотношение между количеством соли и сопротивлением приготовленной курицы было использовано для разработки прототипа прибора измерения уровня соли в полутвёрдой пище.

При измерении, когда наш датчик уровня соли воткнут в приготовленную куриную грудку, электрический потенциал обрабатывается Arduino, а сигнал на выходе отображается в виде загорающегося светодиода определённого цвета в соответствии с уровнями концентрации соли. Наш измеритель может использоваться для измерения уровня соли в приготовленной куриной грудке и отображать три цвета с помощью светодиодов для индикации количества соли в приготовленной курице с помощью зелёного (не опасно), жёлтого (довольно опасно) и красного (опасно) цветов.

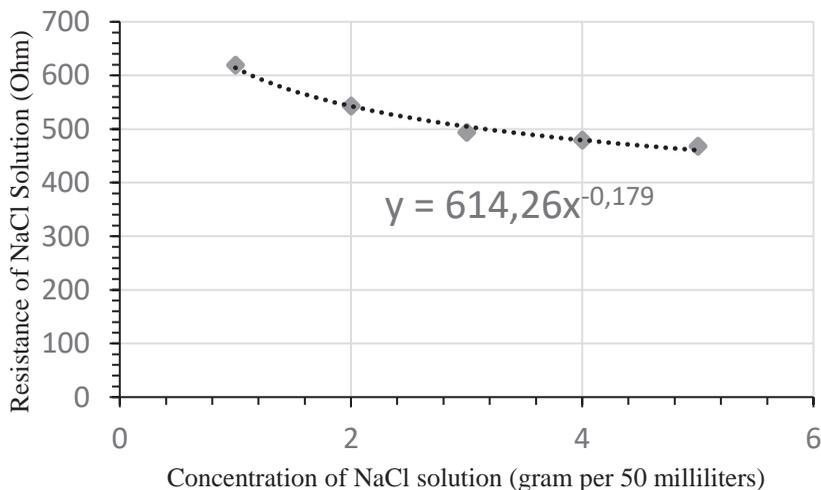


Рис. 1: график демонстрирует зависимость между сопротивлением раствора NaCl в Омах и концентрацией солёной воды (NaCl) в грамм/50 мл

| Концентрация раствора (г на 300 мл) | Сопrotивление предв.раствора | Сопrotивление конечного раствора | Сопrotивление кусочков курицы |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 30                                  | 467.72                       | 517.8                            | 800 ± 200                     |
| 18                                  | 493.43                       | 502.2                            | 1000 ± 200                    |
| 6                                   | 618.67                       | 621.24                           | 1200 ± 200                    |

Рис. 2: Таблица показывает сопротивление каждого предварительного и конечного солёного раствора, а также курицы, маринованной в растворе.

| Сопrotивление кусочков курицы (Ом) | Количество соли в курице (грамм) |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 800 ± 200                          | 2                                |
| 1,000 ± 200                        | 0.3                              |
| 1,200 ± 200                        | 0.03                             |

Рис. 3: Таблица показывает связь между количеством соли в курице и её сопротивлением.

#### Литература:

- [1] Matthew Huber M.S., (n.d.-a). How to measure salinity. Retrieved from <https://algaeresearchsupply.com/pages/how-to-measure-salinity>.
- [2] Costantino Masciopinto et al. An Integrated Approach Based on Numerical Modelling and Geophysical Survey to Map Groundwater Salinity in Fractured Coastal Aquifers, 2017, 13, 8.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЙ ХОЛОДИЛЬНИК

Чернов А.Ю.

*МАОУ лицей № 38, Нижний Новгород, Россия*  
*cherars.chernov@yandex.ru*

Акустические волны (звук) давно уже перестали использоваться только для передачи информации с помощью речи. Звук активно используется в медицине, мореплавании и на обычном производстве. Используя звуковые волны, работают датчики диагностики уровня жидкости, сыпучих материалов и так далее. Но звук может и больше...

Целью данной работы является знакомство с термоакустическим эффектом, создание термоакустического холодильника и выяснение, от каких факторов зависит эффективность его работы.

Задачи проекта:

- изучить литературу, касающуюся данной темы;
- собрать модель термоакустического холодильника;
- провести эксперимент по выявлению эффекта термоакустического холодильника (разности температур).

Суть термоакустического эффекта состоит в отборе механической энергии у звуковой волны при её контакте со стенками волновода и превращении этой энергии в тепловую. Для этого звуковая волна должна, распространяясь по замкнутому волноводу, пройти систему узких каналов (металлическую мочалку), на краях которой создаётся разность температур.

Установка состоит из полипропиленовых труб (для водоснабжения), замкнутых в прямоугольник. Компрессор (использовался компрессор для аэрации аквариумов), подсоединённый к установке, создаёт акустическую волну. Мембрана, расположенная над тройником, упорядочивает движение воздуха по трубам. Пористое тело (в эксперименте металлическая мочалка) является теплообменником. В устройствах с бегущей волной длина волны примерно равна длине корпуса. Частота колебаний в эксперименте — 90 Гц, при этом длина корпуса при работе на воздухе составит 3,2 метра. Диаметр корпуса определяется исходя из необходимой мощности устройства. Мощность растёт с увеличением диаметра устройства пропорционально площади поперечного сечения корпуса, так как пропорционально площади поперечного сечения растёт мощность теплообменного аппарата.

Если рассмотреть распространение акустической волны в резонаторе достаточно крупного диаметра (примерно от сантиметра и более), то выясняется, что газ в волне взаимодействует со стенкой резонатора далеко не во всём своём объёме, а только в небольшом приграничном слое, расположенном у стенки резонатора. Для того чтобы передавать тепловую энергию и отнимать её у газа, величина каналов (пор, отверстий, щелей) в теплообменном аппарате должна быть где-то в районе величины

термического проникновения, но ни в коем случае не намного больше этой величины

Главной задачей эксперимента было добиться эффекта термоакустического холодильника, то есть разности температур. С периодичностью в 3 минуты производились замеры температур трубы и тройника с помощью тепловизора. Максимальная разность температур составила  $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\max} = 29,5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min} = 25,5^{\circ}\text{C}$ ).

Также был проведён повторный эксперимент, в котором замерялась температура воздуха внутри установки с помощью датчика температур Arduino (Рис. 9). После 10 минут работы установки разность температур составила  $5^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\max} = 31^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min} = 26^{\circ}\text{C}$ ).

Длину звуковой волны рассчитали, измерив частоту звука, издаваемого работающим компрессором с помощью частотомера (Андроид приложение для сотового телефона). Длина волны при этом оказалась  $3,2\text{ м}$ .

Заключение. Перспективы дальнейшего исследования мы видим в более детальном изучении данного эффекта и в совершенствовании установки. Но на данном этапе можно уже подвести итоги проделанной работы:

1. Эффект термоакустического холодильника зависит от взаимодействия газа со стенками резонатора.
2. Длина установки должна быть равна длине акустической волны. В нашем первом устройстве это требование выполнено не было. Теперь планируется переделать установку, доведя длину звукового канала до этой величины.
3. Для того чтобы газ взаимодействовал со стенками сосудов во всём объёме, размеры пор в теплообменнике должны быть меньше или равны глубине термического проникновения.

Источники:

1. <https://habr.com/ru/post/441738/> (статья «Основы термоакустики»);
2. О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, Э.Е. Эвенчик и др. Физика. 10 класс : учеб. для общеобразоват. учреждений и шк. с углуб. изучением физики: профил. уровень, 2010, 431.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ  
ПОРОД РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Габитов Д.Н., Галияхметов А.Р

*ГБОУ «Казанская школа-интернат № 4 для детей с ограниченными возможностями здоровья», Казань, Республика Татарстан, Россия  
damirlol10@gmail.com*

Глобальный энергетический кризис с каждым годом всё острее ставит перед наукой и производством задачу экономии энергоресурсов. Один из путей её решения — создание конструкционных материалов с заданными физическими свойствами: теплопроводность, прозрачность, прочность. В современном строительстве крайне востребованы материалы, обладающие низкой теплопроводностью, высокой прочностью и хорошей способностью пропускать видимый свет. Одним из экологически чистых материалов с низкой теплопроводностью является древесина, она тысячелетиями используется человеком в строительстве и изготовлении предметов быта.

Нами был апробирован метод измерения теплопроводности. С помощью установки, собранной из манометра и колбы, с теплоизолированными стенками, можно производить измерения теплопроводности плохих проводников тепла. Объектами нашего исследования стали плоские образцы древесины различных пород, срезанные под разными углами к направлению волокон. Перед тем как исследовать теплопроводность плохих проводников тепла, были экспериментально определены значения плотности этих образцов. По результатам экспериментальных данных мы выяснили, что монотонная зависимость теплопроводности от плотности дерева наблюдается при наложении градиента температур вдоль волокон. При наложении градиента температур поперёк волокон, подобной зависимости не прослеживается. Теплопроводность зависит от породы дерева. Наибольшей теплопроводностью обладают смолистые породы.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**ИЗУЧЕНИЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО РАЗРЯДА ПО ПОВЕРХНОСТИ**  
**ЖИДКОСТИ**

Якубовский Я. А.

*Гимназия № 1, Жодино, Республика Беларусь*

*euua@mail.ru*

Картины распределения искровых каналов, стелющихся на поверхности твёрдого диэлектрика при скользящем искровом разряде, впервые наблюдались Георгом Кристофом Лихтенбергом [1]. Оказалось, что скользить разряд может не только по твёрдым, но и по жидким диэлектрикам. Большой интерес вызывают разряды, в которых в качестве электродов используется жидкость (водные растворы, электролиты, техническая и водопроводная вода). С помощью этих разрядов можно воздействовать на состояние электродной жидкости, вызывая в ней различные физико-химические процессы [2].

Материалы и методы. В ходе работы была создана установка для получения поверхностного разряда в жидкости [3]. Установлены факторы, которые оказывают наибольшее влияние на получение поверхностного разряда. Определены возможности использования разряда для очистки воды от нефтепродуктов. Анализ содержания нефтепродуктов в воде проводился в лаборатории Жодинского водоканала (методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02»). Измерялась концентрация нефтепродуктов после обработки импульсным электрическим разрядом и фильтрованием.

Результаты. Мы выяснили, что обязательным условием появления скользящего разряда над поверхностью жидкости является наличие первоначального линейного пробоя воздуха между катодом и поверхностью жидкости. Если анод был погружен в жидкость, линейного пробоя не происходило и никакого распространения разряда над жидкостью не наблюдалось. Фигуры Лихтенберга вблизи анода и катода резко различаются по внешнему виду, поэтому по ним можно установить полярность искрового разряда. Мы использовали различные формы анода для получения разряда: шарообразный, заострённый, цилиндрический и пластинчатый. Для определения скорости частиц в скользящем разряде мы использовали магнитное поле неодимового магнита. При отрицательной полярности линии начинали закручиваться. Каналы после возникновения и в ходе ветвления расходились. Это говорит о том, что все каналы имеют заряд одного знака. Чаще всего возникало 4 симметричных канала, образующих рисунок с углами в  $90^{\circ}$ . Если же вначале синхронно возникнут два канала, разнесённые на угол, меньше  $180^{\circ}$ , то в дополнение к ним, вероятнее, возникнет третий канал. В результате 3 канала образуют углы в  $120^{\circ}$ .

При проведении опытов с катодом в виде острия были изучены и построены следующие зависимости: зависимость напряжения пробоя от высоты анода над жидкостью; зависимость длины стримеров от высоты электрода и частоты образования стримеров от силы тока.

Для определения возможности использования разряда для очистки воды от нефтепродуктов были проведены следующие эксперименты. На поверхность воды наносилось 1 мл смазочного масла. В результате прохождения разряда через некоторое время на поверхности воды создавалась мутная густая плёнка с более высоким коэффициентом поверхностного натяжения. Это позволяло удалять продукты распада нефтепродуктов из воды путём последующей фильтрации. Время, требуемое для переработки загрязнений, зависело от степени очистки. Изменялась концентрация нефтепродуктов после обработки импульсным электрическим разрядом и фильтрованием. Снижение концентрации нефтепродуктов в процессе обработки электрическим разрядом объясняется формированием активных окислителей в виде пероксид-ионов, атомарного кислорода и гидроксил-радикалов [4]. В результате происходит глубокое окисление и частичная минерализация органических примесей. Основная масса загрязнений в нашем случае перерабатывалась приблизительно за 15 минут. Обработка длительностью 30 минут, как показал последующий анализ, позволяла удалить до 90% загрязнений.

Литература:

1. В.П. Белошеев, Журнал технической физики, 1998, 68, 63–66.
2. И.П. Иванова, С.В. Трофимова, Н. Карпель-Вельлейтнер, Н.А. Аристова, Е.В. Архипова, О.Е. Бурхина, В.А. Сысоева, И.М. Пискарёв. Современные технологии в медицине, 2012, 4, 20–30.
3. А.С. Красько, Е.Г. Пономаренко. Техника высоких напряжений (изоляция и перенапряжения): курс лекций: в 2 ч. 2011. 119.
4. Ю.К. Стишков, А.В. Самусенко, А.С. Субботский, А.Н. Ковалев. Журнал технической физики, 2010, 80, 21–28.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАДИЕНТНЫХ  
СРЕД И ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ**

Нефёдов И.И.

*ГУО «Гимназия № 1 г. Витебска имени Ж.И. Алфёрова», Витебск,  
Республика Беларусь  
gim№ 1\_vit@tut.by*

Введение. Оптико-механическая аналогия — это сходство между траекторией движения частицы в потенциальном силовом поле и траекторией лучей в оптически неоднородной среде, когда траектории материальной точки и траектория светового луча совпадают при определённом соответствии потенциальной энергии и переменного в пространстве показателя преломления среды [2]. Факт существования оптико-механических аналогий был теоретически открыт У.Р. Гамильтоном в 1834 году и позже оказал ключевое влияние на установление связи между волновой оптикой и волновой (квантовой) механикой. Ввиду фундаментального значения оптико-механических аналогий в физике их экспериментальное исследование приобретает особую актуальность, поскольку все научные изыскания в данном направлении носят в основном теоретический характер [1].

Цель работы: исследовать оптические свойства градиентных сред и их механических аналогов.

Материалы и методы: лазер, грузики различных масс, наждачная бумага, фанерная панель, шарики разных размеров и коэффициентов трения, нити, спицы, металлические проволоки, органическое стекло, канцелярские кнопки, стеклянная кювета, лабораторные стёкла, вода, подсолнечное масло, насыщенный раствор поваренной соли; для обработки полученных данных использовались программы пакета Microsoft Office, Pascal.ABC. В ходе исследования были применены как теоретические, так и практические методы исследования: наблюдение, анализ данных, гипотеза, эксперимент.

Результаты и их обсуждение.

1. Экспериментально показана возможность решения задач на минимум суммы длин нитей (по аналогии с оптической длиной) механическим способом.
2. Создана механическая модель хода лучей в оптически неоднородной слоистой среде.
3. Показано, что изменения оптической плотности можно добиться двумя способами: за счёт изменения концентрации веществ, растворяемых в оптической среде, через которую проходит луч света, и за счёт создания градиента температуры в оптической среде. В экспериментах по исследованию траектории луча в оптически неоднородных средах нами использовались оба способа изменения

оптической плотности среды. При создании среды с градиентом плотности были получены и исследованы искусственные миражи.

4. Экспериментально установлено, что в тонких слоях жидкости, нанесённых на твёрдую подложку, можно наблюдать различные виды искривления светового луча.
5. Показано, что траекторию луча в оптически неоднородной среде можно сравнить с циклоидой.
6. Установлено, что принцип минимума времени движения будет справедлив и для материальной точки, если для неё выполняется аналогичное соотношение между величиной скорости в данной точке траектории её движения и синусом угла между направлением скорости и направлением, перпендикулярным к плоскости слоя. При механическом движении тела по поверхности, изменяющей скорость его движения, траектория движения тела будет изменяться аналогично ходу луча света в оптически неоднородной среде.
7. Показано, что с помощью цепной линии можно моделировать законы отражения и преломления для сред как с положительным, так и с отрицательным коэффициентами преломления. Аналогичные результаты были получены и в кинематических экспериментах.

Заключение. В ходе работы были достигнуты все поставленные в начале исследования цели, предложены собственные оптико-механические аналогии и проведено их экспериментальное исследование. Впервые предложена и изучена механическая аналогия отрицательного показателя преломления, теоретически предсказанного В.Г. Веселаго в [6].

Поскольку оптико-механические аналогии основаны на соответствии принципа Ферма и принципа минимума энергии, можно предположить, что, как и закон сохранения энергии, принцип Ферма проявляется во всех природных (физических, химических, биологических) явлениях и общественных процессах.

#### Литература:

1. Г.Я. Мякишев. Квант, 1970, 11, 17–23.
2. Е.Д. Трифонов. Соросовский Образовательный Журнал, 1997, 10, 133–137.
3. А.А. Буров, Л.Е. Свистов. Первого сентября. Физика, 2006, 6, 34–36.
4. В.В. Майер. Свет в оптически неоднородной среде: учебные исследования, 2007, 232.
5. Д.Р. Меркин. Введение в механику гибкой нити, 1980, 240.
6. В.Г. Веселаго. О формулировке принципа Ферма для света, распространяющегося в веществах с отрицательным преломлением, 2002, 172, 1215–1218

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕ ВПОЛНЕ УПРУГОГО УДАРА ШАРА О ПОВЕРХНОСТЬ

Зархидзе С. Д., Розова С. Е.

ГБОУ Лицей № 533, Санкт-Петербург, Россия  
ishejntan@yandex.ru

Модели абсолютно упругого и абсолютно неупругого соударений являются крайними случаями частично упругого соударения, при котором часть энергии переходит в тепловую форму. Для описания общего случая не вполне упругого удара Ньютоном был введён коэффициент восстановления скорости шара. Нормальный коэффициент восстановления скорости определяют как отношение нормальной составляющей скорости касающейся поверхности шара после отскока от неподвижной стенки к составляющей скорости шара до удара, взятому с обратным знаком [1]. Если после соударения скорость шара полностью восстанавливается, то  $k = 1$ , потери энергии отсутствуют и удар абсолютно упругий. Если после соударения шар остается сплюснутым и прилипает к стене, то удар абсолютно неупругий и  $k = 0$ .

Для определения коэффициента восстановления фиксировалась высота отскока шаров от горизонтальной поверхности при помощи закреплённой на штативе видеокамеры, установленной на достаточно большом расстоянии для уменьшения оптических эффектов при снятии замеров. Шары отпускались из состояния покоя с высот в интервале от 10 до 90 см с шагом 10 см. Каждое измерение проводилось по 10 раз для четырёх тел (пластиковая бусина диаметром  $d = 5$  мм и массой  $m = 0,25$  г, полый пластмассовый шар  $d = 2$  см,  $m = 1,76$  г, попрыгунчик  $d = 2$  см,  $m = 12,7$  г, пробковый шар  $d = 2$  см,  $m = 3,27$  г) и двух поверхностей (дерево и кафельная плитка). По этим данным находим средний коэффициент восстановления для каждого тела и скорости падения по формулам:  $k = v/v_0 = \sqrt{h/h_0}$  и  $v = \sqrt{2gh_0}$ , где  $v$  — скорость отскока;  $v_0$  — скорость падения;  $h$  — средняя высота отскока;  $h_0$  — высота падения;  $g$  — ускорение свободного падения.

На Рис. 1, 2 приведены графики зависимости коэффициентов  $k$  от  $v_0$ . Из графиков зависимости видно, что коэффициент восстановления убывает с увеличением начальной скорости  $v_0$ . При этом такой эффект наблюдается на всех проверенных шарах и на обеих поверхностях.

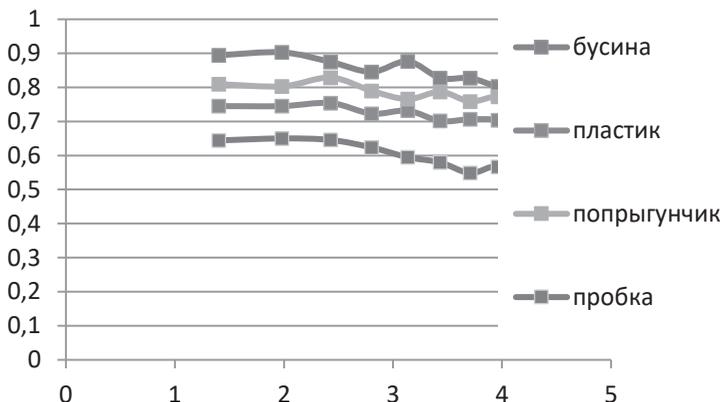


Рис. 1. Отскок от дерева.

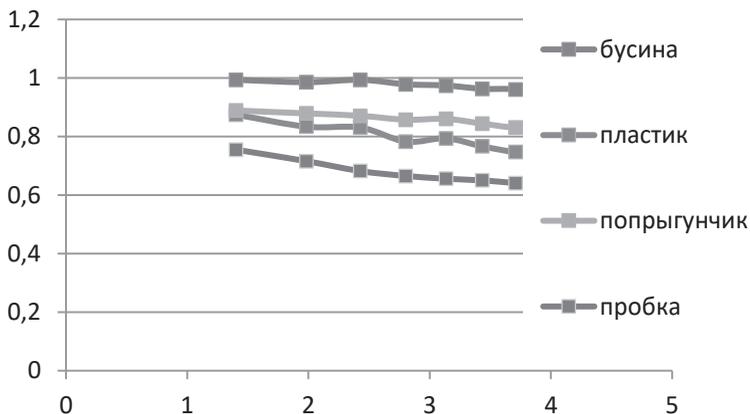


Рис. 2. Отскок от кафеля.

Этот эффект мог быть вызван влиянием силы сопротивления воздуха на скорость падения шариков. Для его учёта было оценено число Рейнольдса  $Re$  для падающих шаров, соответствующее минимальной скорости падения, которое оказалось равным 649 для бусины и 1878 для остальных шаров. Поскольку  $Re \gg 150$ , сила сопротивления воздуха может быть рассчитана согласно формуле:  $F_c = bv^2$ , где  $b = C_x \rho S / 2$ ,  $\rho$  — плотность воздуха,  $S = \pi r^2$  — площадь сечения шара, коэффициент  $C_x = 0.47$  для шара [2].

Решение дифференциального уравнения движения даёт 
$$v = \sqrt{\frac{mg}{b} \left( \frac{2bh}{e^m} - 1 \right)}$$
 для отскока, 
$$v_0 = \sqrt{\frac{mg}{b} \left( 1 - e^{-\frac{2bh_0}{m}} \right)}$$
 — для падения, где  $m$  — масса тела.

С учётом сопротивления воздуха построим новые графики зависимости коэффициента восстановления  $k$  от начальной скорости  $v_0$  (Рис. 3). На них наблюдается тот же эффект: уменьшение коэффициента восстановления с увеличением скорости непосредственно перед ударом.

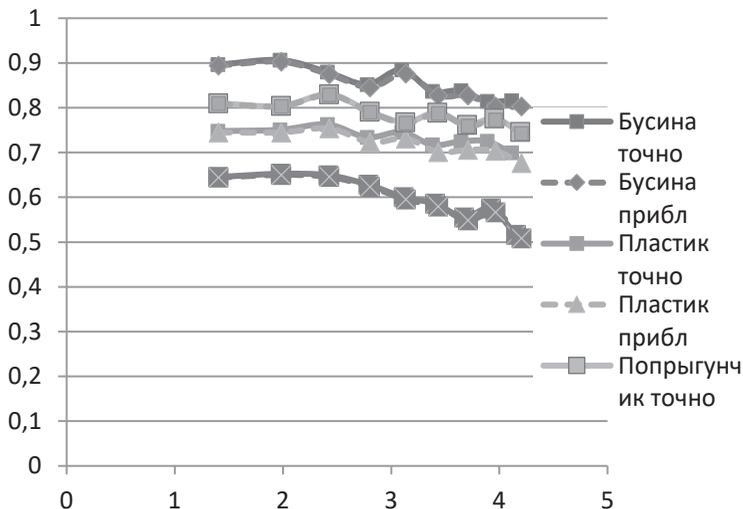


Рис. 3. Отскок от дерева с учётом сопротивления воздуха.

Этот эффект может быть вызван деформацией поверхности, остаточными колебаниями и другими факторами, которые описаны в [3].

Источники:

1. И. Л. Шейнман. Механика и термодинамика: методические указания к лабораторным работам 1-го семестра по дисциплине «Общая физика», 2019.
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент\\_сопротивления\\_формы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_сопротивления_формы)
3. В.А. Лашков. Коэффициент восстановления при прямом ударе, сер. 1. 2010, 4.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ АКУСТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СИЛОЙ СВЯЗИ

Миролюбов М.А.

*Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*Физико-технический факультет, Университет ИТМО, Санкт-Петербург  
m\_mirol@inbox.ru*

В акустике, как и в других областях физики, важнейшую роль играет явление резонанса. Оно позволяет многократно усиливать излучение звука и лежит в основе принципов работы большинства музыкальных инструментов, аудиосистем, систем ультразвуковой эхолокации и анализаторов частотного состава сложного звука [1]. Особый интерес в акустике, наряду с оптикой, электроникой и механикой, представляют связанные резонаторы. В таких системах можно управлять свойствами резонансов и собственных мод. В частности, может реализовываться так называемый режим сильной связи собственных мод, в котором система имеет резонансный отклик на частотах, отличных от собственных частот отдельных резонаторов. Этот эффект может использоваться для создания перестраиваемых резонансных акустических систем, а также для управления их добротностью. Таким образом, исследование связанных акустических резонаторов является актуальным направлением современной физики [2]. В представленной работе проведено исследование акустических свойств взаимодействующих резонаторов Фабри-Перо при изменении силы связи между ними. В экспериментальной установке использовались две соединенные друг с другом пластиковые трубы (см. Рис. 1). Физические параметры обоих резонаторов могли регулироваться независимо друг от друга, что позволяло менять частоты собственных мод резонаторов.

Акустическая спектроскопия. Измерительная установка для проведения спектроскопии системы состояла из динамика и микрофона, подключённых к ПК. За один цикл измерений на динамик подавался импульсный сигнал с линейно нарастающей частотой. Одновременно с этим производилась запись сигнала микрофона с последующим его анализом с помощью метода быстрого преобразования Фурье. Для реализации метода был разработан специализированный программный код на языке Python 3.6.

Исследование акустического цилиндрического резонатора Фабри-Перо. Собственные частоты мод акустического резонатора цилиндрической формы зависят от его длины  $l$  и радиуса  $a$  и в общем случае нумеруются тремя индексами ( $n, m, s$ ) [3]:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 + \left(\frac{y_s^m}{a}\right)^2},$$

где  $c$  — скорость звука,  $\gamma_s^m$  — корень с индексом  $s$  функции Бесселя порядка  $m$ , ( $m, n$  — целые неотрицательные числа). На низких частотах возбуждаются только основные моды с индексом  $m=0$ , у которых пучности всегда лежат на оси цилиндра, что было подтверждено экспериментально.

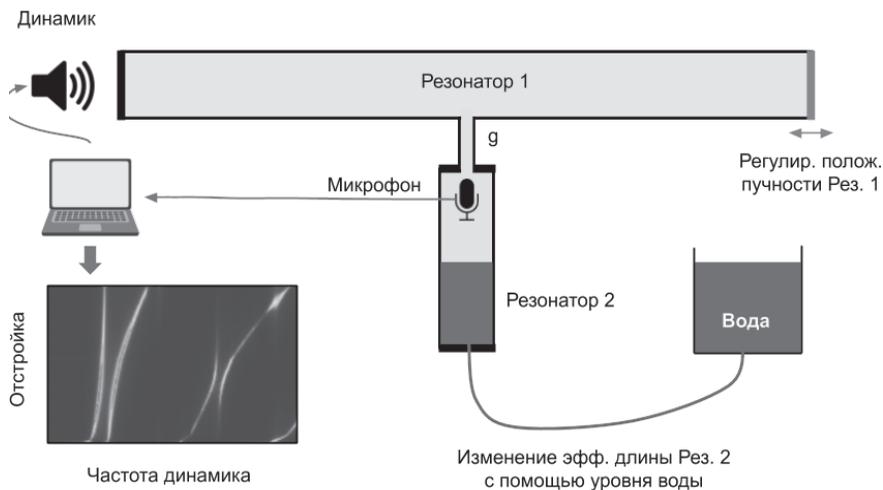


Рис. 1. Схема экспериментальной установки, состоящей из двух резонаторов. Собственные частоты нижнего резонатора могут варьироваться в широких пределах (около 1.5 кГц) в зависимости от уровня жидкости в нём. Вставка в левом нижнем углу показывает расщепление на спектре собственных мод, характерное для режима сильной связи.

Исследование связи акустических резонаторов. Для акустической системы из двух связанных резонаторов была получена аналитическая зависимость амплитуды поля  $P_1$  от частоты звука:

$$p_2 = \frac{g^2 F_0}{-\omega^2 - i\omega \gamma_2 + \omega_2^2 - \frac{g^4}{-\omega^2 - i\omega \gamma_1 + \omega_1^2}}$$

где  $\omega$  — частота вынуждающих колебаний,  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — коэффициенты затухания первого и второго резонаторов соответственно,  $g$  — константа связи между резонаторами,  $F_0$  — нормированная возбуждающая сила.

Экспериментальные результаты. В ходе проведённых исследований были изучены акустические свойства каждого резонатора в отдельности и обнаружены резонансы, отвечающие собственным модам в диапазоне 400–

2000 Гц в полном соответствии с теорией. Кроме того, в результате измерений связанных резонаторов (Рис. 1) наблюдались явления слабой, промежуточной и сильной связи. В последнем случае на спектральной картине резонансы мод расщеплялись, а величина расщепления была пропорциональна силе связи. Было установлено, что сила связи напрямую зависит от наличия пучности или узла моды первого резонатора в месте соединения со вторым, что приводит к переключению между режимами сильной и слабой связи соответственно. Максимальная частота Раби, полученная в эксперименте, составила 151 Гц. Полученные спектральные зависимости были с хорошей точностью описаны теоретической моделью.

#### Литература:

1. М.А. Исакович. Общая акустика, 1973, 502.
2. F. Zangeneh-Nejad and R. Fleury, Active times for acoustic metamaterials, *Rev. Phys.* 4, 2019, 100031.
3. T.T. Koutserimpas and R. Fleury, Coupled-mode theory for stationary and nonstationary resonant sound propagation, *Wave Motion* 89, 2019, 221–231.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЯЗКОСТИ И ПОЛЯРНОСТИ РАСТВОРА НА ВРЕМЕНА АНИЗОТРОПНОЙ БЕЗЫЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИИ МОЛЕКУЛ NADH**

Смирный А.В.

*Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия  
Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

Научным коллективом лаборатории, в которой я проходил практику, был разработан новый метод по схеме «накачка-зондирование» для исследования процессов анизотропной релаксации и переноса энергии в возбуждённых состояниях многоатомных молекул при их возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами. Метод был применён для исследования процессов вращательной диффузии и анизотропной колебательной релаксации восстановленной формы молекул NADH (никотинамид-аденин-динуклеотид) [1] в растворах в субпикосекундном временном диапазоне. Моим коллегам впервые удалось зарегистрировать поглощение из возбужденного состояния биологических молекул при накачке лазерными импульсами с энергией менее 1 нДж [2]

Цель работы. Понять, как влияет вязкость раствора на эти сигналы.

Метод. В исследованиях использовалась двухцветная схема накачка-зондирование, в которой лазерный импульс накачки возбуждал электронные переходы в молекулах NADH на длине волны 360 нм, лежащей в полосе поглощения хромофорной группы никотинамида, а зондирующий лазерный пучок имел длину волны 720 нм. Плоскость поляризации пучка накачки модулировалась с вертикальной, вдоль оси Y, на горизонтальную, вдоль оси Z, при помощи фотоупругого модулятора с частотой 100 кГц. Поляризация зондирующего пучка поддерживалась под углом 45° к плоскости поляризации пучка накачки. При этом зондирующий импульс был задержан относительно импульса накачки на регулируемый интервал времени  $\Delta t$ . На выходе наблюдался разностный сигнал ортогональных компонент поляризации зондирующего пучка в зависимости от времени задержки между импульсом накачки и зондирующим импульсом. Для исследования влияния вязкости на эти сигналы использовались водные растворы пропиленгликоля различной концентрации.

Результаты. Полученные экспериментальные сигналы содержали вклады следующих процессов: нелинейное многофотонное возбуждение, анизотропная колебательная релаксация и вращательная диффузия. При анализе экспериментальных сигналов для водного раствора NADH были определены время вращательной диффузии, которое хорошо согласуется со значением, полученным в наших предыдущих экспериментах, в которых наблюдалась поляризованная флуоресценция NADH [1], и характерные времена анизотропной колебательной релаксации, которые для молекулы NADH до сих пор не были представлены в литературе. Характерное время

вращательной диффузии монотонно увеличивалось от 180 пс до 1 нс при увеличении концентрации пропиленгликоля в растворе. При этом наблюдалось увеличение времён колебательной релаксации от 10 пс до 30 пс при увеличении концентрации пропиленгликоля.

Обсуждение. Увеличение времени вращательной диффузии напрямую связано с увеличением вязкости раствора при добавлении пропиленгликоля. При этом увеличении времён колебательной анизотропной релаксации имеет сложную природу и может быть связано как с увеличением вязкости, так и с изменением полярности раствора.

#### Литература:

1. Sasin, M.E., Gorbunova, I.A., Bezverkhii, N.O., Beltukov, Y.M., Vasyutinskii, O.S., Rubayo-Soneira, J. *Technical Physics Letters*, 2019, V. 45, 7, 672–674.
2. I.A. Gorbunova, M.E. Sasin and O.S. Vasyutinskii. *Technical Physics Letters*, 2020, Vol. 46, 2, 158–160.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ШАМПУНЕЙ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В СУПЕРМАРКЕТАХ**

Сластенко Е.К.<sup>1</sup>, Павлова В.Д.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>*МБОУ гимназия им. академика Н.Г. Басова, Воронеж, Россия*  
<sup>2</sup>*БПОУ ВО «Воронежский базовый медицинский колледж», Воронеж*  
*stefanenko70@yandex.ru*

Исследование проведено в лаборатории медицинского колледжа под руководством педагогов Гончаровой Е.А. и Стефаненко Т.В.

Основное назначение шампуня — это очищение волосистой части головы от остатков укладочных средств, грязи и жира. Также некоторые шампуни дополнительно могут выполнять и другие функции: лечение перхоти, укрепление и питание волос и др. Основными компонентами современного шампуня являются поверхностно-активные вещества (синтетические или натуральные), которые выполняют функцию очищающих и пенообразующих агентов.

В настоящее время на отечественном парфюмерно-косметическом рынке представлен широкий ассортимент шампуней как отечественных, так и зарубежных производителей, поэтому вопрос исследования их качества является актуальным.

Цель исследования: оценить физико-химические показатели шампуней, реализуемых в супермаркетах г. Воронежа

Задачи:

1. Провести исследование показателей качества в соответствии с ГОСТ 31696-2012 «Продукция косметическая, гигиеническая, моющая. Общие технические условия»: внешний вид, цвет, запах, водородный показатель (рН);
2. Оценить показатели качества в соответствии с требованиями, принятыми для косметической продукции за рубежом: пенообразующую способность и стабильность пены, содержание сухих веществ, степени диспергирования загрязняющих веществ, а также поверхностное натяжение и смачивающую способность;
3. Проанализировать полученные данные и сделать выводы.

Перед началом работы была выдвинута гипотеза, что производители стремятся к тому, чтобы их шампунь имел высокий уровень качества, так как от этого зависит количество потребителей.

Для оценки внешнего вида, цвета, запаха, водородного показателя (рН) были использованы методики, регламентированные ГОСТ 31696-2012 «Продукция косметическая, гигиеническая, моющая. Общие технические условия». Для анализа пенообразующей способности и стабильности пены, процентного содержания сухих веществ, степени рассеивания грязи, а также

поверхностного натяжения и смачивающей способности были использованы методики, принятые в зарубежной практике.

2.1. Внешний вид, цвет и запах (органолептический контроль). В шампунях были оценены однородность массы, наличие посторонних примесей, а также соответствие цвета и запаха продукции конкретного названия [1].

2.2. Определение pH. Уровни pH различных шампуней оценивали с использованием pH-метра Hanna в водном растворе с массовой долей продукции 10% при температуре 250°C [1].

2.3. Пенообразующая способность и стабильность пены. Методика, описанная в ГОСТ 31696-2012, отличается трудоёмкостью и сложным аппаратным оформлением. В зарубежной практике для определения пенообразующей способности наиболее часто в исследовательской деятельности используется метод встряхивания цилиндра [2, 3, 4]. При комнатной температуре 50 мл 1% раствора шампуня помещали в градуированный цилиндр объёмом 250 мл, накрывали рукой и встряхивали десять раз. Высота пены была измерена сразу. Общий объём содержания пены был зафиксирован через 1 мин, 2 мин, 3 мин, 4 мин, 5 мин. На основании проведённого исследования была оценена стабильность пены.

2.4. Удаление загрязнений. Две капли шампуня и одну каплю чернил добавляли в большую пробирку, содержащую 10 мл дистиллированной воды. Пробирку встряхивали десять раз. Количество чернил в пене оценивали субъективно как отсутствие, либо содержание низкое, среднее и высокое [3].

2.5. Время смачивания. Измеряли с помощью теста Дрейва. Заранее изготавливали из бархата диски диаметром 2 см, средним весом 0,30 г. В цилиндр, содержащий 500 мл 1% раствора исследуемого шампуня, помещали на поверхность приготовленные диски, включали секундомер. Время погружения диска на дно рассматривали как время смачивания [2].

2.6. Поверхностное натяжение. Измерения поверхностного натяжения проводились с 10% раствором шампуня, разведённого в дистиллированной воде при комнатной температуре с использованием обычной пипетки. Предварительно пипетка была тщательно очищена с помощью хромовой смеси [3].

2.7. Содержание сухого остатка. В фарфоровую выпарительную чашку отвешивали около 4,0 г шампуня и далее помещали в сушильный шкаф. Испытание проводили при температуре 100–105°C до достижения испытуемым образцом постоянной массы [2].

Заключение. В проведённом исследовании было оценено качество пяти брендов шампуней по показателям: внешний вид, цвет, запах, водородный показатель (pH), пенообразующая способность и стабильность пены, процентное содержание сухого остатка, степень диспергирования грязи, а также поверхностное натяжение и смачивающая способность. В результате проведённой работы составлены таблицы по каждому проведённому исследованию. Было отмечено, что многие характеристики исследуемых шампуней были в стандартном диапазоне, но некоторые, у отдельных марок шампуней, были, хотя и незначительно, но вне диапазона.

В целом гипотеза исследования подтверждена — производители стремятся к тому, чтобы их шампунь имел высокий уровень качества.

Литература:

1. ГОСТ 31696-2012. Продукция косметическая, гигиеническая, моющая. Общие технические условия
2. A. Salvador, A. Chisvert. Analysis of Cosmetic Products, 2007, 506.
3. Anusha Potluri. Formulation and evaluation of herbal antidandruff shampoo / Anusha Potluri, Harish.G, B.Pragati Kumar, Dr.Durraivel. // Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology, 2013. — Vol. 1, 6, 835–839.
4. K. Klein. Evaluation of shampoo foam / K. Klein // Cosmet Toilet Mag. — 2004. — № 9, P. 32–35.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СИСТЕМУ «ЖЕЛЕЗО-МЕДЬ-ВОДА»

Бурова Д.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сергиево-Посадский физико-математический лицей, г. Сергиев Посад

<sup>2</sup>Института физики твёрдого тела РАН, г. Черноголовка  
darya5401@gmail.com

Обнаружены новые проявления влияния магнитного поля на систему «железо-медь-вода», которые расширяют представления об особенностях взаимодействий между парамагнитными и диамагнитными веществами. На основе этих эффектов мы разрабатываем несколько технологических методик и устройств. В экспериментах использовались поликристаллические образцы стали 3 (доля железа 97%) и технической меди (доля меди не менее 99%), сернокислая медь (медный купорос) и дистиллированная вода. Магнитные воздействия создавались постоянными магнитами (поля до 0,4 Тл) и собственными магнитными моментами атомов железа как в объёмной стали, так и в агломератах химических соединений железа. Динамика превращений в системе железо-медь-вода наблюдалась через оптический микроскоп и регистрировалась видеокамерой. Модельным процессом для изучения влияния магнитных воздействий служила хорошо известная реакция восстановления меди железом в водном растворе медного купороса.

Обнаружено, что восстановление меди железом замедляется вдвое уже при напряжённости внешнего магнитного поля порядка 0,3 Тл. При дальнейшем увеличении поля замедление монотонно возрастает до поля 0,6 Тл, когда реакция замедляется втрое. Замедление восстановления меди объясняется тем, что в реакции окисления железа в основном участвуют атомы междоменных границ, которые гораздо слабее связаны. При увеличении поля домены укрупняются, сокращая общую длину границ и замедляя тем самым восстановление меди. При достижении поля насыщения, когда образец становится монодоменным, реакция выходит на стационарную скорость. В процессе восстановления меди железом раствор проходит через несколько превращений. В начале содержащиеся в нём ионы двухвалентной меди слабо парамагнитны, но при контакте с поверхностью железа они быстро восстанавливаются, становясь диамагнитными. В процессе восстановления в раствор переходят сильно парамагнитные ионы железа. Их магнитное поле выталкивает наружу диамагнитные ионы меди, которые высаживаются тонкой плёнкой на поверхности контактирующего с раствором образца железа. При отсутствии внешнего магнитного поля раствор сульфата меди постепенно по мере замещения превращается в раствор сульфата железа, хорошо растворяющегося в воде. Но при наложении на раствор магнитного поля величиной более 0,3 Тл обнаружилось выделение из раствора белых микрочастиц, которые сначала плавают на поверхности капли, а затем собираются в каёмку по её контуру. Анализ показал, что это микрочастицы безводного сульфата железа, водная

растворимость которого при наложении магнитного поля оказалась резко уменьшенной. Это объясняется тем, что в сильном магнитном поле парамагнитные ионы железа стремятся максимально сблизиться, выдавливая молекулы воды, оказавшиеся между ними.

Если в раствор сернокислой меди, где идёт восстановление её железом, опустить стальную иглу, восстанавливаемая медь начинает преимущественно высаживаться на самой игле и на прилегающей к ней поверхности. Перемещения иглы вдоль этой поверхности позволяют получить на ней микро- и даже нано-рисунки заданной геометрии из медного осадка. Тем самым создается простая альтернатива электронно-лучевой литографии для формирования сложных профилей из проводящих или полупроводниковых микродорожек. Ещё один вариант магнито-химической литографии связан со сканированием вдоль поверхности ферромагнитного материала, погружённого в травящий раствор, магнитной иглы. В зоне сближения иглы с поверхностью структура магнитных доменов будет измельчаться из-за сильно неоднородного магнитного поля. Поэтому под магнитной иглой будут вытраиваться канавки, геометрия которых может регулироваться формой её острия, степенью сближения с поверхностью, скоростью и направлением сканирования. Если же в раствор медного купороса наряду с железом ввести и медную проволоку, восстанавливаемая медь высаживается на ней.

На базе этих результатов проработаны методики наращивания меди на изношенные участки медных изделий непосредственно по месту их службы. Например, для реставрации контактных проводов электротранспорта их изношенные участки обрабатываются охватывающими нижнюю часть провода шариковыми обкатчиками с подачей к точкам их соприкосновения с проводом раствора сернокислой меди. Стальные шарики выполняют при этом две функции: активируют высаживание свежей меди на провод и упрочняют её связь с исходным проводом посредством вкатывания.

Существенное влияние магнитных взаимодействий на систему железо-медь-вода обнаружилось и без магнита. На поверхность стальной пластины были нанесены две капли раствора медного купороса. После приблизительно двух минут процесса восстановления меди железом капли начали сближаться друг с другом до тех пор, пока между ними не образовалась перемычка раствора. Возник поток ионов железа из меньшей капли в большую, а навстречу ему пошла миграция ионов меди. В конечном итоге на месте меньшей капли образовался круговой осадок меди, а большая капля покрылась коркой сульфата железа. Такие процессы объясняются тем, что при переходе ионов железа из стальной подложки в раствор его парамагнитная восприимчивость значительно возрастает. В результате усиливается притяжение между каплями, приводящее к образованию перемычки. По ней ионы железа, втягиваясь в направлении увеличения поля, из меньшей капли переходят в большую. Им навстречу за счёт отталкивания от пришедших ионов железа в меньшую каплю мигрируют диамагнитные атомы меди. В итоге большая капля пересыщается железом, а меньшая —

медью, что и приводит к выделению из пересыщенных капель сульфатов железа и меди.

Ещё один вид саморасслоения диамагнитной меди и парамагнитного железа был обнаружен при нанесении капель медного купороса на слой микрочастичек железа на полимерной подложке. За несколько десятков секунд боковые поверхности капель покрылись тонкой коркой порошинок железа, которые поднимались от основания капли вверх. Сила, поднимающая эти микрочастицы вопреки силе тяжести, обусловлена химическим притяжением между ионами меди в приповерхностном слое капли и поверхностью железа. Но при осаждении диамагнитной меди на поверхность порошинки химическое притяжение сменяется на отталкивание от парамагнитного раствора. В итоге микрочастицы занимают стабильное положение именно на поверхности капли, где отталкивание от раствора диамагнитной меди уравновешено магнитным притяжением железа, на котором она лежит.

Два обнаруженных процесса саморасслоения меди и железа позволяют формировать микроструктуры с чередованием диамагнитных и ферромагнитных слоев, востребованные спинтроникой, техникой терагерцевых микрорезонаторов, управляемых магнитным полем, и т. д.

#### Литература

1. Г.С. Ландсберг. Элементарный учебник физики. Том 2. Электричество.
2. И.В. Семёнова. Коррозия и защита от коррозии. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2010.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ**  
**ПОСТОЯННЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТОВ С МЕДНОЙ**  
**ПЛАСТИНОЙ**

Борисов Н.М.  
*ШЮИ ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия*  
*academclubnn@gmail.com*

В современном мире важной составной частью жизни людей является транспорт. Транспортная подвижность жителей и дальность их поездок растёт с каждым годом. У существующего наземного транспорта есть ряд недостатков — это низкая скорость, высокий уровень шума и тряски, высокое энергопотребление. Наиболее реалистичным решением перечисленных проблем является совершенствование поездов на магнитной подушке. Поэтому в нашей работе мы изучили альтернативный способ магнитной левитации — левитации от вращающихся постоянных магнитов и медной пластины. Конструкция, изучаемая нами, призвана уменьшить вышеназванные недостатки.

После выявления взаимодействия медной пластины и вращающихся магнитов в прошлом году, было решено собрать полную установку для левитации.

В начале была выявлена оптимальная толщина и размеры медной пластины. Толщина пластины составила 2 мм, размеры 300×300×2 мм.

Следующим шагом стала сборка самой установки. Сначала мы пытались собрать не только ротор, но и сам каркас установки самостоятельно, но данная идея оказалась нерациональной из-за излишней массы. Для сооружения каркаса было решено использовать квадрокоптер, из которого мы сразу же удалили плату для возможности подключения установки к блоку питания (на 30V). На следующем этапе (изготовление роторов) мы столкнулись с проблемой выбора оптимального материала для их изготовления. Изначально были выбраны деревянный брусок, ДСП и ламинат. Однако в ходе эксперимента выявлены крупные недостатки данных материалов: большая масса и габариты, вследствие чего конструкция не могла вращаться.

В результате многоступенчатого поиска найден лёгкий, прочный и компактный материал — поликарбонат, представленный компакт-диском диаметром 80 мм. На круглом диске мы зафиксировали восемь магнитов (Рис 1.). После чего диски были зафиксированы на местах пропеллеров в четырёх лучах рамы квадрокоптера. Для фиксации установки над медной пластиной в корпус квадрокоптера вставлено четыре шпильки.

Следующим этапом работы был сам эксперимент. Мы не смогли получить прямую левитацию, возможно, из-за сильной вибрации, но мы решили оценить эффект. Для этого мы взяли электрические весы и штатив. Мы заметили, что при приближении квадрокоптера к пластине частота

вращения двигателей уменьшается, при этом на весах был постоянный показатель 20 г., то есть отталкивающая сила составляла 0,2 Н.

Этого было недостаточно, и мы решили оценить зависимость силы отталкивания одного ротора в зависимости от периода вращения диска. Для этого мы собрали новую установку, состоящую из штатива, медной пластины (100×100×10мм), весов, одного ротора и катушки от спиннинга. В начале мы решили проверить чистоту эксперимента, для этого мы вращали катушку от спиннинга, на которой закреплён ротор, над весами без пластины, чтобы проверить, есть ли взаимодействие. Взаимодействия не оказалось, то есть проводимый нами эксперимент был разумен. Далее мы положили пластину на весы и снимали на камеру, как во время вращения изменяются показания на весах. К сожалению, из-за вращения рукой скорость была непостоянной, что сказывалось на показаниях. На видео мы нашли семь интервалов, для которых показания весов сохраняются. С помощью раскадровки и специальных меток на роторе мы получили время, затраченное на поворот ротора на 360 градусов. Таким образом, мы нашли период вращения для показаний на весах (в граммах): 6, 8, 9, 10, 15, 17, 19. Результаты эксперимента представлены на Рис. 2.

Таким образом, мы собрали установку магнитной левитации при взаимодействии постоянных вращающихся магнитов с медной пластиной. К сожалению, левитацию квадрокоптера нам пронаблюдать не удалось, т. к. эффект оказался довольно слабым, но мы смогли зафиксировать отталкивание между квадрокоптером и медной пластиной. Полученные экспериментальные точки сложно охарактеризовать какой-либо зависимостью из-за неравномерности вращения ручки катушки и колебаний самой катушки над пластиной, однако, как и следует ожидать, при большей частоте вращения сила отталкивания возрастает.

Источники:

1. Electromagnetic Levitation Quadcopter [Электронный ресурс].  
URL: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=2&v=pCON4zfMzjU](https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=pCON4zfMzjU)
2. Г.Я. Мякишев. Физика. 10 класс. — 19-е изд. — М.: Просвещение, 2010. — 336 с.
3. В. Скрипин. Поезда на магнитной подушке — транспорт, способный изменить мир// Научно-практический журнал ИТКав. 2014 [Электронный ресурс].  
URL: <https://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir/>
4. К.А. Хайдаров. Теоретические основы электротехники и электроники // Явление электромагнитной индукции и магнитные цепи. — 2009, № 3 [Электронный ресурс].  
URL: <http://bourabai.ru/toe/>

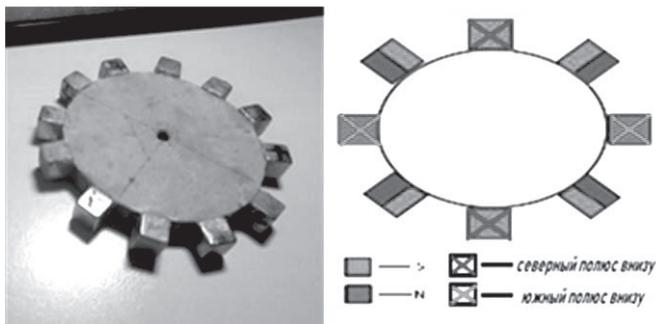


Рис. 1. Ротор, используемый для крепления к электромотору.

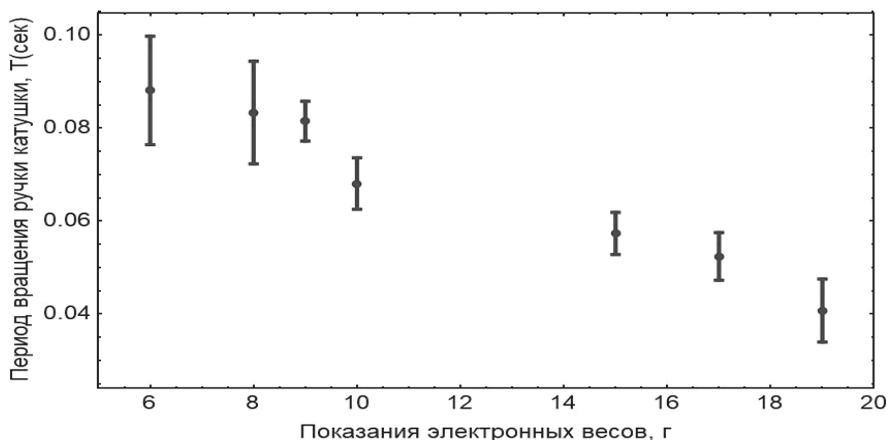


Рис. 2. График зависимости показаний электронных весов от скорости вращения.

5. GRADUATEWAY// Essays & Papers// Brief History of Magnetic Levitation Essay. 2010, [Электронный ресурс].  
URL: <https://graduateway.com/brief-history-of-magnetic-levitation/>
6. М.А. Фаддеев. Элементарная обработка результатов эксперимента: учебное пособие. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2002. Т.2. № 7. С. 6–37.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПАДЕНИЯ КАПЛИ ДОЖДЯ  
НА ВОДУ**

Копьева А.О.  
*ШОИ ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия*  
*academclubnn@gmail.com*

Использование контактных методов измерения волнения во время дождя сталкивается с трудностями, поскольку дождь влияет на точность погружных измерителей. Радиолокационное зондирование поверхности моря во время дождя зачастую невозможно из-за рассеяния и поглощения электромагнитного излучения на каплях. Исследование ветрового волнения с помощью подводных акустических систем проводится редко ввиду сложности таких измерений.

Данное исследование посвящено установлению зависимости энергии диссипации процесса падения капли в воду в зависимости от высоты падения капли и является продолжением цикла работ [4, 5]. В ходе предыдущих работ были измерены скорости падающих капель для разных высот падения и размеров капель, а также энергии возбуждаемых ими волн. В данной работе были уточнены полученные ранее экспериментальные данные, а также проведены измерения размеров каверны, образующейся при падении капли в воду.

Для капель с диаметром от 1 до 6 мм справедливо утверждение, что в целом их поведение при падении совпадает с поведением твёрдых шариков с тем же радиусом и плотностью [1]. При столкновении, соответственно, твёрдого тела с жидкостью оно образует в жидкой среде полость с вертикальной осью симметрии, которая под влиянием гидростатического давления начинает схлопываться, что приводит к отсечке стенками жидкости воздушной полости. Энергия, потерянная в ходе данного процесса, компенсируется за счёт уменьшения потенциальной энергии ближайших молекул воды, что придаёт волнам форму кольца. Также при схлопывании каверны образуются вторичные капли, брызги и другие явления, на которые расходуется её энергия.

Энергию  $E$  серии кольцевых волн, порождённых падением капли, можно вычислить по формуле

$$E = \rho g (H_s)^2 \pi r^2 / 32, (1) [2, с.225]$$

зная их значительную высоту (среднюю высоту трёх высочайших волн)  $H_s$  и начальный радиус  $r$  (то есть радиус капли), плотность воды  $\rho$  и ускорение свободного падения  $g$ . Во время эксперимента капли генерировались клапаном, а волнение измерялось двухструнным волнографом.

Энергия каверны определяется как

$$E_{\text{кав}} = \pi \sigma R_{\text{каверны}}^2 + \pi \rho R_{\text{каверны}}^4 / 4, (2) [6].$$

В используемой нами установке (Рис.1), сделанной в 2016 году в ШЮИ Д.А. Ковалдовым [3], капли генерируются с помощью клапана Airtac 2V025. Клапаном можно управлять с компьютера с помощью программы Droplet, время открытия клапана определяет размер получающейся капли. Диаметр капель определялся посредством запуска 100 капель и измерения их суммарного объема. Для данного эксперимента он составил 5,2 мм.

Из капельницы, установленной на некоторой высоте ( $H$ ) над водой, запускались серии из 15–20 капель разного диаметра. В нижней части штатива внутри поставленного в его основание контейнера с водой помещался волнограф. В то время, когда капля падала в воду и от неё начинали расходиться волны, он фиксировал подъём уровня воды, уменьшающий сопротивление прибора, а значит и напряжение, что фиксировалось нами на компьютере (Рис. 2).

На уровне воды также находилась камера, которая фиксировала процесс проникновения капли в воду. По этой записи оптическим способом были определены диаметры каверн. Зная коэффициент пересчёта между напряжением на волнографе и уровнем воды, можно рассчитать по этому изменению значительную высоту волн от данной капли через дисперсию (3,4) и их энергию ( $I$ ) (табл.1):

$$Var(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2, (3)$$

$$H_s = 4\sqrt{Var}, (4),$$

где  $Var$  — дисперсия,  $x_i$  — значение высоты в точке на графике осциллограммы,  $n$  — количество точек в записи,  $H_s$  — значительная высота волн, то есть среднее значение высоты третьей части наивысших волн.

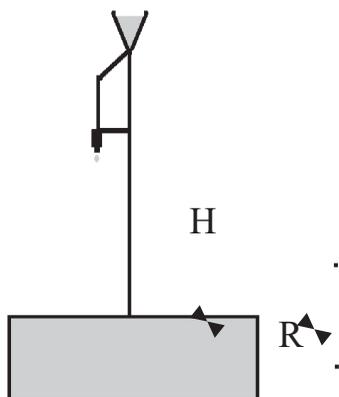


Рис. 1. Схема экспериментальной установки,  $H$  — высота падения капли,  $R$  — расстояние от места падения капли до волнографа.



Рис. 2. Фотография каверны.

Таблица 1. Характеристики падающих капель, волн и каверн в зависимости от высоты падения капли.

|                          |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Н падения, см            | 68,6  | 72,6  | 81,6  | 90,6  | 96,5  | 100   |
| V, м/с                   | 3,5   | 3,6   | 3,6   | 3,9   | 4,1   | 4,1   |
| H <sub>s</sub> волны, мм | 1,3   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 2,0   | 1,9   |
| R каверны, мм            | 4,2   | 4,8   | 5,17  | 5,55  | 6,37  | 6,30  |
| E капли, мкДж            | 510,2 | 539,6 | 605,7 | 671,8 | 716,6 | 740,9 |
| E волны, мкДж            | 38,3  | 49,2  | 57,7  | 66,5  | 87,7  | 85,6  |
| E каверны, мкДж          | 295,6 | 322,3 | 397,0 | 447,8 | 484,3 | 523,1 |

Погрешности эксперимента задаются неточностью определения измеряемых напрямую величин, требующих первичной обработки вручную, и составляют порядка 20% для всех рассчитываемых энергий. Соответственно, из полученных данных мы можем выразить и энергию диссипации.

Таблица 2. Энергия диссипации в зависимости от высоты падения капли.

|               |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Н падения, см | 68,6  | 72,6  | 81,6  | 90,6  | 96,5  | 100   |
| E дисс, мкДж  | 176,3 | 168,1 | 151,0 | 157,6 | 144,7 | 132,2 |

Более наглядно это можно показать на графике (Рис. 3).

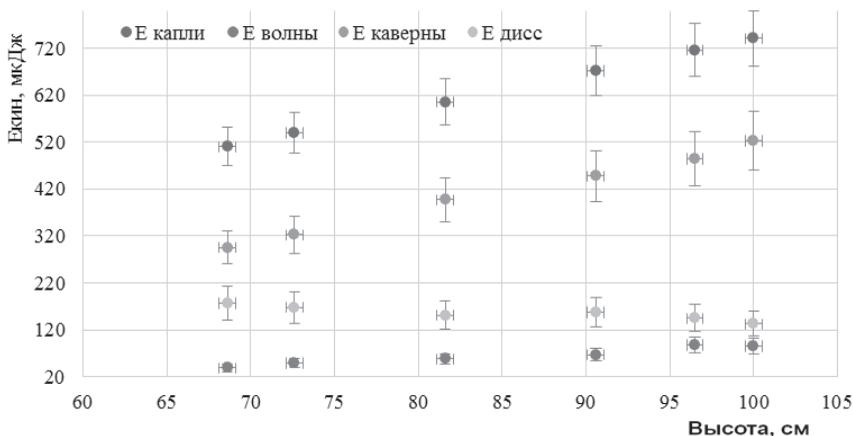


Рис. 3. Энергии капли, волны, каверны и диссипации в зависимости от высоты падения.

Энергия диссипации составляет примерно 30% от энергии капли, из чего можно предположить, что есть ещё некое неучтённое взаимодействие капли с поверхностью воды (например, образование брызг). Энергия волны составляет около 20 % энергии возбуждающей её капли.

Поскольку погрешность определения полученных значений велика, следующей задачей будет увеличить точность измерений, что позволит уточнить значение коэффициента перехода энергии между каплей и волной от неё. Также требует дополнительного исследования вопрос о различии между возбуждением кольцевых волн падающим твёрдым телом и каплей того же диаметра.

#### Литература:

1. Я.Е. Гегузин. Капля. — М: Наука, 1973. — 11 с.
2. Н.И. Егоров. Физическая океанография. — Л: Гидрометеиздат, 1974. — С. 215–225.
3. Д.А. Ковалдов. Моделирование установки для создания дождя и расчёт её характеристик // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. — Н.Новгород, 2016. — С.82–86
4. А.О. Копьева. Установление зависимости кинетической энергии капли дождя от её диаметра и высоты падения // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. — Н.Новгород, 2018. — С. 93–97.
5. А.О. Копьева. Исследование возбуждения волн на поверхности воды каплями дождя // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. — Н.Новгород, 2019. — С 56–60.

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### **DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL DEVICE TO STUDY THE MOTION OF MAGNET FALLING THROUGH CONDUCTING TUBES USING ARDUINO AND REAL-TIME DISPLAY**

Wongsamut T., Surakiatkamjorn P., Thanawan S., Phuphachong T.

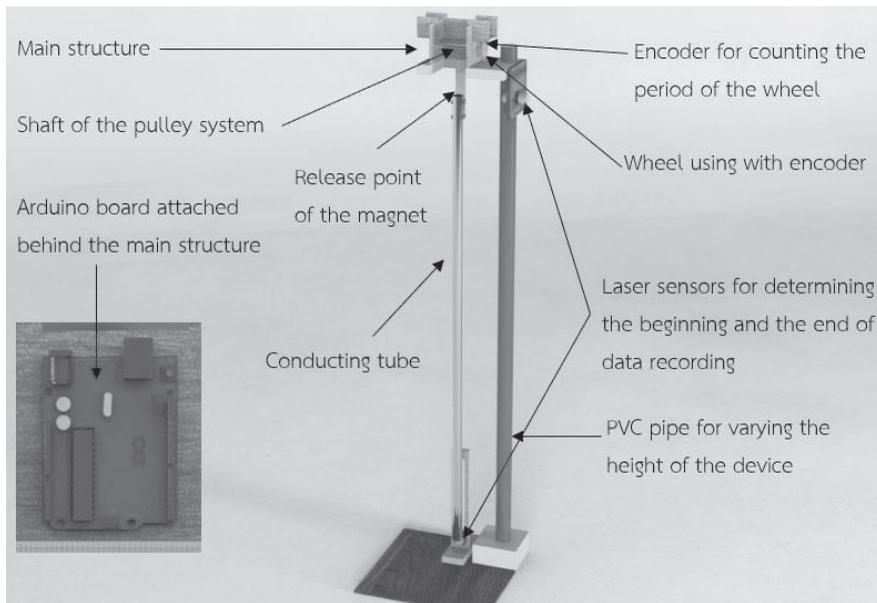
*Department of Physics, Mahidol Wittayanusorn school,  
Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170, Thailand  
s6107849@mwit.ac.th*

This study is originally inspired by our curiosity to solve difficult topics in physics, especially in electromagnetism. When we were in a physics class at our school, the fall of a magnet through vertical metallic pipes of the same length was demonstrated. At that time, we really wondered how the same magnet moved with different speeds and fell on the ground at different times when moving through different types of pipes. After studying in detail, we found that the motion of the falling magnet can be described by Faraday's law and Lenz's law. The change in magnetic flux results in the magnetic flux in the opposite direction of the magnet motion. The said magnetic flux causes resistance to the magnet motion and induces an electromotive force which leads to an induced electric current on the surface of the conducting tube. This effect is widely known as electromagnetic braking that decelerates the falling magnet. The magnet velocity increases and reaches a constant terminal velocity. This phenomenon is similar to the study of the motion of a small metallic sphere falling in a viscous fluid that can be easily set up the experiment. The main idea of these two topics is the study of resistance forces but the forces are of different natures. Unfortunately, there is no cheap experimental device in schools to illustrate the electromagnetic braking and show how the magnet moves inside the conducting pipes [1]. Therefore, in this work, we aim at developing an experimental device to study the motion of magnet falling through conducting tubes using Arduino and real-time display.

Our work mainly focuses on designing and creating an experimental device for studying the motion of magnet falling through conducting tubes using Arduino and real-time display. The model of the developed device is presented in Figure 1. A PVC pipe of 1 inch in diameter was used to vary the height of the device. All the components of the device were designed using Fusion 360 software in order to obtain a precise prototype of the device. The wooden components were cut using laser cutting machine at the workshop of the Department of Physics, Mahidol Wittayanusorn school. Then, we attached the wooden components together. Finally, we installed sensors and an Arduino board on the device.

To study the electromagnetic braking of the magnet falling in metallic pipes, we drop three types of cylindrical magnets (of 20 mm in diameter and 20 mm in length) in aluminum tube and copper tube (of 7/8 inch in diameter and 1 m in length). Three different types of magnets are neodymium, samarium-cobalt, and ferrite magnets. Among these magnets, neodymium magnets are the most powerful magnets with the ability to attract other magnetic materials, while ferrite

magnets are the least powerful magnets. In this study, we use a neodymium magnet of 20 mm in length, two samarium-cobalt magnets attached together (each of 10 mm in length), and four ferrite magnets attached together (each of 5 mm in length) in order to prepare cylindrical magnets of 20 mm in length. We control the length of the magnets since it affects the velocity of the magnet when moving inside the pipes [2].



**Figure 1.** Model of our experimental device for studying the motion of magnet falling through conducting tubes using Arduino and real-time display.

To use the device, we connect it to the computer via the Arduino board attached behind the main structure (Figure 2(a)). In the experiment, each type of magnets is dropped in both aluminum and copper tubes. The selected conducting tube is installed at the center of the main structure of the device. The magnet is attached to the end of the string that is hung down the steel shaft (Figure 2(b)). The magnet is then released into the tube. Two laser sensors are fixed horizontally at the top and the bottom of the tube (Figures 2(c) and 2(d)) for determining the beginning and the end of data recording. During the fall of the magnet, the encoder (Figure 2(e)) is used to count the number of holes of the wheel as a function of time. This will be converted to the velocity of the falling magnet.

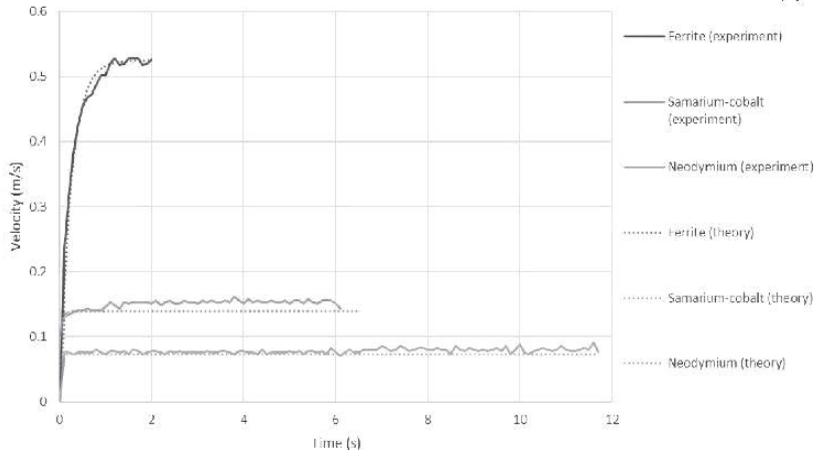


**Figure 2.** Electronic and mechanical components of our experimental device. (a) Arduino board. (b) Steel shaft. (c) Laser sensor at the top of the conducting tube. (d) Laser sensor at the bottom of the conducting tube. (e) Encoder and wheel used to measure the velocity of the falling magnet.

Experimental results obtained in real time are shown in Figure 3. The velocities of different magnets falling through aluminum and copper tubes are represented in Figure 3(a) and Figure 3(b), respectively. We obtain similar results in aluminum and copper tubes. At the beginning of the fall, the velocity of the magnets increases suddenly. Then, it reaches a constant terminal velocity. Among three types of magnets, the neodymium magnet has the smallest velocity and moves with the longest duration through the metallic pipes. This can be explained by the most intense magnetic field of neodymium magnet that results in the greatest resistance force due to electromagnetic braking. On the other hand, the ferrite magnet has the greatest velocity at the beginning of the fall. However, the entire motion of the ferrite magnet in metallic tubes ends before the magnet reaches its constant terminal velocity. Therefore, experiments with metallic pipes of more than 1 m in length should be done in order to study the variation of the velocity of the ferrite magnet. The change in velocity of the magnets between 0–0.5 s in aluminum and copper pipes can be seen in Figure 3(c) and 3(d), respectively. Overall, the duration of the entire motion of the magnets in copper tube is longer than that in aluminum tube. This implies that electromagnetic braking depends on the properties of metals. We know that the electrical conductivity of copper ( $5.96 \times 10^7$  S/m at  $20^\circ\text{C}$ ) is greater than that of aluminum ( $3.77 \times 10^7$  S/m at  $20^\circ\text{C}$ ). As a consequence, the induced current occurring on the surface of copper pipe is greater than that of aluminum pipe. This implies that the change in magnetic flux of all the magnets falling in copper pipe is greater than that in aluminum pipe.

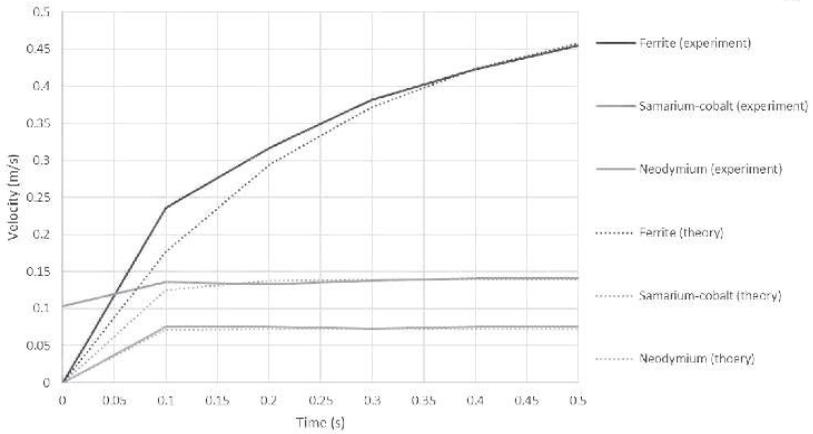
The velocity of different magnets falling through the aluminum pipe

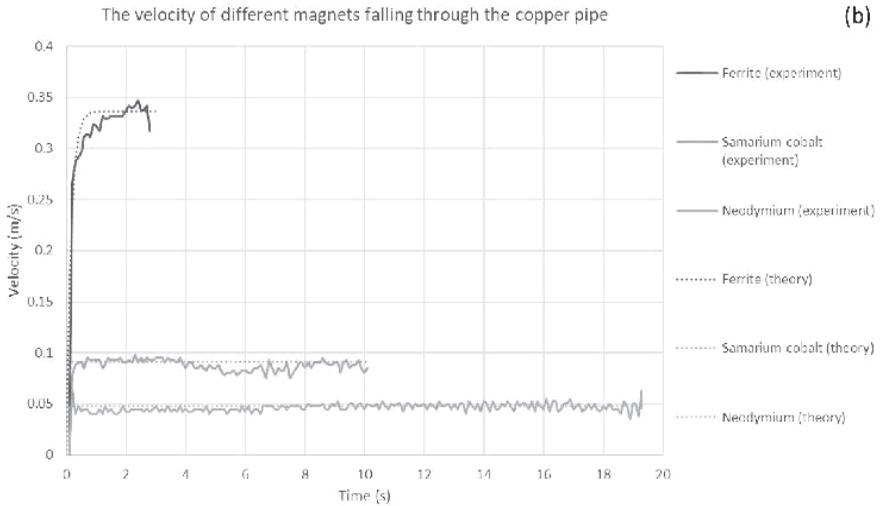
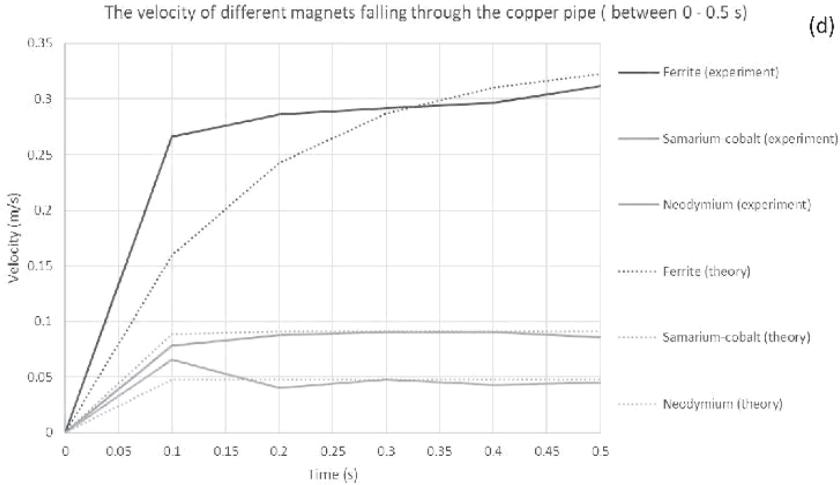
(a)



The velocity of different magnets falling through the aluminum pipe ( between 0 - 0.5 s )

(c)





**Figure 3.** Velocity of different magnets falling through the aluminum pipe (a) and the copper pipe (b). Change in velocity of the magnets between 0 —0.5 s in aluminum pipe (c) and copper pipe (d).

The analysis of the experimental results is mainly based on Faraday’s law and Lenz’s law. Faraday’s law states that the electromotive force around a closed path is equal to the negative of the time rate of change of the magnetic flux enclosed by the path [3–4]. And the direction of the electromotive force can be

determined by Lenz's law [5]. In this analysis, we only considered the equations regarding dipole magnetic fields made by magnet. Then, we theoretically calculated the resistance force exerted on a magnet due to electromagnetic braking, leading to the variation of the magnet velocity when moving inside the metallic pipes. Finally, we obtained the expressions shown in Figures 4(a) and 4(b) that are resistance force  $F_z$  acting on a magnet and velocity as a function of time  $v(t)$  of a magnet falling through the conducting pipes. The variables in  $F_z$  expression are as follows:  $\mu_0$  is the magnetic permeability of free space,  $m$  is the magnetic moment of the magnet,  $\sigma$  is the conductivity of the metallic tube,  $a$  is the inner radius of the tube,  $b$  is the outer radius of the tube. The variables in  $v(t)$  expression are as follows:  $M$  is the mass of the magnet,  $g$  is the gravitational acceleration,  $k$  is the coefficient of the drag force in  $F_z = kv$ ,  $I$  is the moment of inertia of the pulley system, and  $R$  is the radius of the steel shaft. Note that the expressions of  $F_z$  and  $v(t)$  are calculated based on the design of our device and the experimental setup. We obtain good agreement between experimental results (solid lines) and theoretical calculations (dotted lines) as represented in Figure 3.

$$(a) F_z = \frac{15}{1024} \mu_0^2 m^2 \delta \left( \frac{1}{a^3} - \frac{1}{b^3} \right) v \quad (b) v(t) = \frac{Mg}{k} \left( 1 - e^{-\frac{kt}{M + \frac{I}{R^2}}} \right)$$

**Figure 4.** (a) Expression of theoretically calculated resistance force acting on a magnet falling through the conducting pipes. (b) Expression of theoretically calculated velocity of a magnet falling through the conducting pipes.

We have achieved to develop our first experimental device to study the motion of magnet falling through conducting tubes using Arduino and real-time display. We have demonstrated that the velocity of the falling magnet varies as a function of time due to electromagnetic braking phenomenon. It increases suddenly at the beginning and reaches a constant terminal velocity at the end of the motion. Experimental results in aluminum and copper tubes are similar. The more the magnet is powerful, the greater the resistance force is. This also depends on the properties of the metals. The magnets move slower in copper tube since the electrical conductivity of copper is greater than that of aluminum. We notice that this experiment could be applied for preliminary investigation of types of materials and their electrical properties. We found that experimental results could be fitted by theoretical calculations derived from the consideration based on dipole magnetic fields that is applicable to the design of our device and the experimental setup. Our work could pave the way for further similar studies and our device could be improved and used as teaching materials in electromagnetism classes both in high school and undergraduate levels.

[1] B. Irvine, M. Kemnetz, T. Ruubel. *American Journal of Physic*, 2014, 82(4), 273–279.

- [2] Y. Levin, F.L. Silveria, F.B. Rizzato. *American Journal of Physics*, 2006, 74, 815.
- [3] E.C. Jordan, K.G. Balmain. *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*, 1968, 2, 100.
- [4] W. Hayt. *Engineering Electromagnetics*, 1989, 5, 312.
- [5] E. Lenz. *Annalen der Physik und Chemie*, 1834, 107(31), 483–494.

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЕ МАГНИТА, ПАДАЮЩЕГО ЧЕРЕЗ ПРОВОДЯЩИЕ ТРУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARDUINO И ОТОБРАЖЕНИЕМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Вонгсамут Т., Суракиаткамджорн П., Танаван С., Пхупачхон Т.

*Физический факультет школы Махидол Виттаянусорн,*

*Накхон Патом, Таиланд*

*s6107849@mwit.ac.th*

Это исследование вдохновлено нашим исследовательским любопытством к изучению сложных тем физики, особенно в области электромагнетизма. В рамках уроков физики в нашей школе было продемонстрировано падение магнита через вертикальные металлические трубки одинаковой длины. В то время мы действительно задавались вопросом, как получается, что один и тот же магнит движется с разными скоростями и падает на землю в разное время при движении по разным типам труб. После детального изучения мы обнаружили, что движение падающего магнита может быть описано законом Фарадея и законом Ленца. Изменение магнитного потока приводит к магнитному потоку в направлении, противоположном движению магнита. Указанный магнитный поток вызывает сопротивление движению магнита и индуцирует электродвижущую силу, которая приводит к индуцированному электрическому току на поверхности проводящей трубки. Этот эффект широко известен как электромагнитное торможение, которое замедляет падающий магнит. Скорость магнита увеличивается и достигает постоянной предельной скорости. Это явление аналогично изучению движения небольшой металлической сферы, падающей в вязкую жидкость, что может быть легко проверено экспериментом. Основной идеей этих двух тем является изучение сил сопротивления, но эти силы имеют разную природу. К сожалению, в школах нет дешевого экспериментального устройства, которое иллюстрирует электромагнитное торможение и показывает, как магнит движется внутри проводящих труб [1]. Поэтому в этой работе мы стремимся разработать экспериментальное устройство для изучения движения магнита, падающего через проводящие трубки, с использованием Arduino и устройства отображения данных в реальном времени.

Наша работа в основном сосредоточена на разработке и создании экспериментального устройства для изучения движения магнита, падающего через проводящие трубки, с использованием Arduino и устройства отображения данных в реальном времени. Модель разработанного устройства представлена на Рис. 1. Для изменения высоты устройства использовалась труба из ПВХ диаметром 1 дюйм. Все компоненты устройства были разработаны с использованием программного обеспечения Fusion 360, чтобы получить точный прототип устройства. Деревянные компоненты были вырезаны с помощью станка для лазерной резки в мастерской физического факультета школы Махидол Виттаянусорн.

Затем мы собрали все деревянные компоненты вместе. Наконец, мы установили на устройство датчики и плату Arduino.

Чтобы изучить электромагнитное торможение магнита, падающего в металлических трубках, мы бросаем три типа цилиндрических магнитов (диаметром 20 мм и длиной 20 мм) в алюминиевую трубу и медную трубу (диаметром 7/8 дюйма и 1 м в длину). Три различных типа магнитов — неодимовые, самарий-кобальтовые и ферритовые магниты. Среди этих магнитов неодимовые магниты являются наиболее мощными магнитами, способными притягивать другие магнитные материалы, тогда как ферритовые магниты являются наименее мощными. В исследовании мы используем неодимовый магнит длиной 20 мм, два самарий-кобальтовых магнита, соединенных вместе (каждый длиной 10 мм), и четыре ферритовых магнита, соединенных вместе (каждый длиной 5 мм), чтобы получить цилиндрические магниты длиной 20 мм. Мы контролируем длину магнитов, так как она влияет на скорость магнита при движении внутри труб [2].

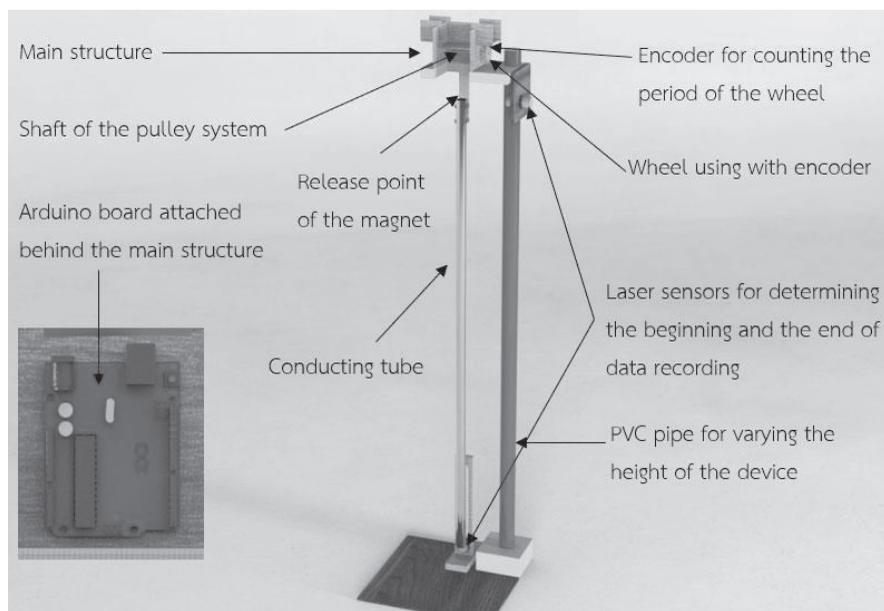


Рис. 1. Модель нашего экспериментального устройства для изучения движения магнита, падающего через проводящие трубки, с использованием Arduino и устройства отображения данных в реальном времени.

Чтобы использовать устройство, мы подключаем его к компьютеру через плату Arduino, прикреплённую за основной конструкцией (Рис. 2 (а)). В эксперименте каждый тип магнитов помещается как в алюминиевые, так и в медные трубки. Выбранная токопроводящая трубка установлена в центре основной конструкции устройства. Магнит прикреплён к концу

струны, которая подвешена к стальному валу (Рис. 2 (б)). Затем магнит выпускается в трубку. Два лазерных датчика горизонтально закреплены сверху и внизу трубки (Рис. 2 (с) и 2 (d)) для определения начала и конца записи данных. Во время падения магнита кодирующее устройство (Рис. 2 (е)) используется для подсчёта количества отверстий в колесе как функции от времени. Эти данные будут преобразованы в скорость падающего магнита.

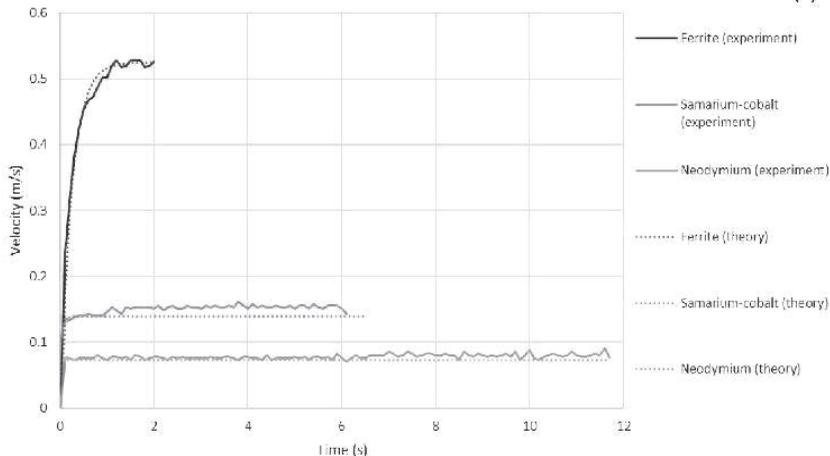


Рис. 2. Электронные и механические компоненты нашего экспериментального устройства. (а) плата Arduino. (б) стальной вал. (с) Лазерный датчик в верхней части проводящей трубки. (d) Лазерный датчик в нижней части проводящей трубки. (е) Кодирующее устройство и колесо, используемые для измерения скорости падающего магнита.

Экспериментальные результаты, полученные в режиме реального времени, показаны на Рис. 3. Скорости различных магнитов, падающих через алюминиевые и медные трубки, представлены на Рис. 3 (а) и Рис. 3 (b), соответственно. Мы получаем аналогичные результаты в алюминиевых и медных трубах. В начале падения скорость магнитов резко возрастает. Затем он достигает постоянной конечной скорости. Среди трёх типов магнитов неодимовый магнит имеет наименьшую скорость и движется с наибольшей продолжительностью через металлические трубы. Это можно объяснить самым интенсивным магнитным полем неодимового магнита, которое приводит к наибольшей силе сопротивления из-за электромагнитного торможения. С другой стороны, ферритовый магнит имеет наибольшую скорость в начале падения. Однако всё движение ферритового магнита в металлических трубках заканчивается до того, как магнит достигнет своей постоянной конечной скорости. Поэтому необходимо провести эксперименты с металлическими трубами длиной более 1 м, чтобы изучить изменение скорости ферритового магнита. Изменение скорости магнитов между 0–0,5 с в алюминиевых и медных трубах можно увидеть на Рис. 3 (с) и 3 (d), соответственно. В целом, продолжительность всего движения магнитов в медной трубке больше, чем в алюминиевой трубке. Это означает, что электромагнитное торможение зависит от свойств металлов. Мы знаем, что электропроводность меди ( $5,96 \times 10^7$  См/м при  $20^\circ\text{C}$ ) больше, чем у алюминия ( $3,77 \times 10^7$  С/м при  $20^\circ\text{C}$ ). Как следствие, индуцированный ток, возникающий на поверхности медной трубы, больше, чем у алюминиевой трубы. Это означает, что изменение магнитного потока всех магнитов, падающих в медной трубке, больше, чем в алюминиевой трубке.

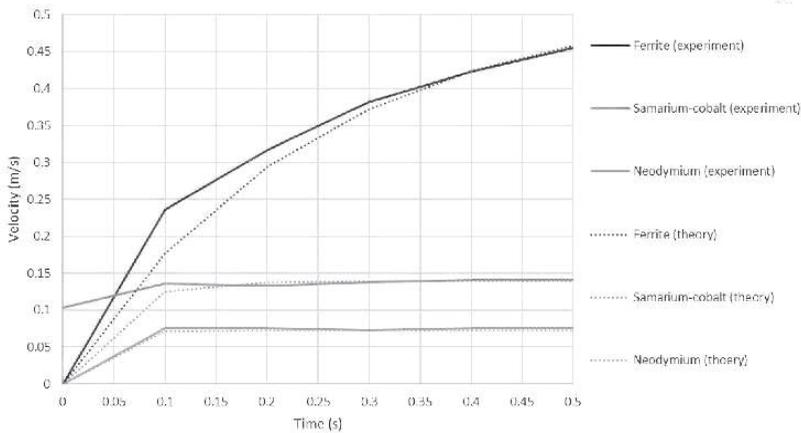
The velocity of different magnets falling through the aluminum pipe

(a)



The velocity of different magnets falling through the aluminum pipe ( between 0 - 0.5 s )

(c)



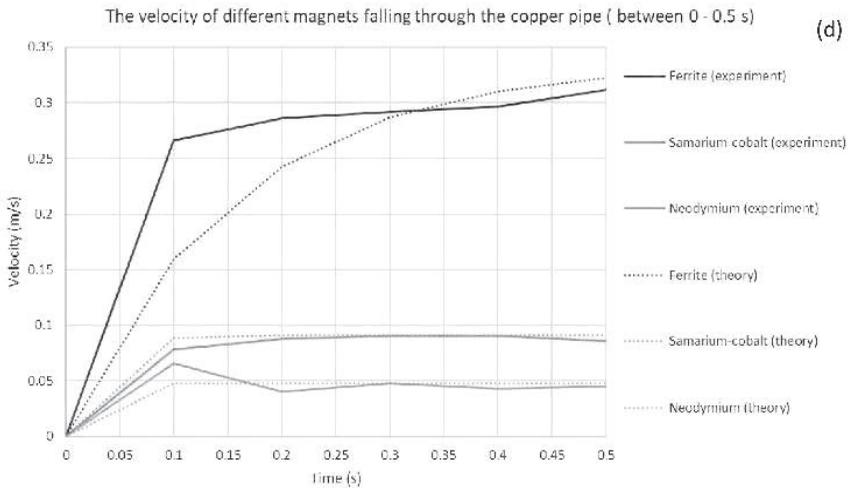
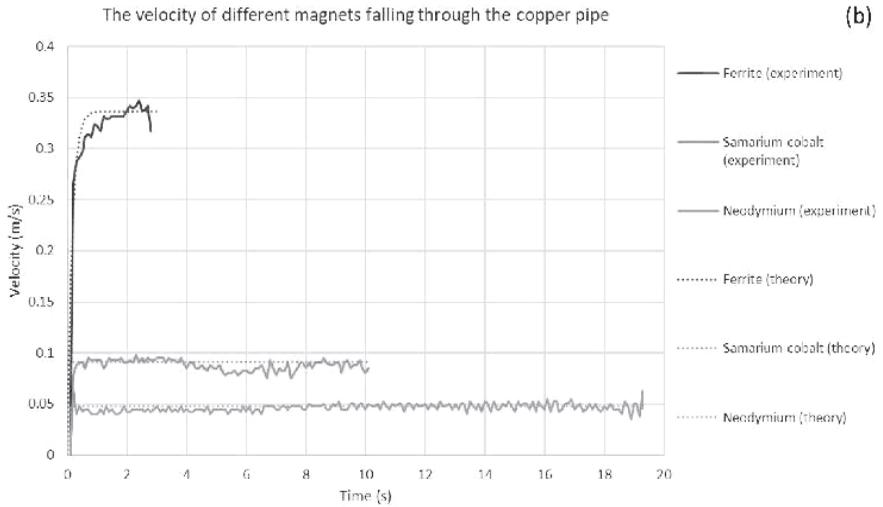


Рис. 3. Скорость различных магнитов, падающих через алюминиевую трубу (а) и медную трубу (б). Изменение скорости магнитов между 0–0,5 с в алюминиевой трубе (с) и медной трубе (д).

Анализ экспериментальных результатов в основном основан на законе Фарадея и законе Ленца. Закон Фарадея гласит, что электродвижущая сила по замкнутому пути равна отрицательному значению скорости изменения по времени магнитного потока, заключённого в этом пути [3–4]. А направление электродвижущей силы может быть определено по закону Ленца [5]. При анализе мы рассматривали только уравнения, относящиеся

к дипольным магнитным полям, создаваемым магнитом. Затем мы теоретически рассчитали силу сопротивления, действующую на магнит из-за электромагнитного торможения, которое приводит к изменению скорости магнита при движении внутри металлических труб. Наконец, мы получили выражения, показанные на Рис. 4 (а) и 4 (б), которые представляют собой силу сопротивления  $F_z$ , действующую на магнит и функцию зависимости скорости от времени  $v(t)$  магнита, падающего через проводящие трубы. Переменные в выражении  $F_z$  следующие:  $\mu_0$  — магнитная проницаемость свободного пространства,  $m$  — магнитный момент магнита,  $\sigma$  — проводимость металлической трубки,  $a$  — внутренний радиус трубки,  $b$  — внешний радиус трубки. Переменные в выражении  $v(t)$  следующие:  $M$  — масса магнита,  $g$  — ускорение свободного падения,  $k$  — коэффициент силы сопротивления в  $F_z = kv$ ,  $I$  — момент инерции системы шкивов, и  $R$  — радиус стального вала. Обратите внимание, что выражения  $F_z$  и  $v(t)$  рассчитываются на основе конструкции нашего устройства и экспериментальной установки. Мы получили хорошо согласующиеся данные между экспериментальными результатами (сплошные линии) и теоретическими расчётами (пунктирные линии), как показано на Рис. 3.

$$(a) F_z = \frac{15}{1024} \mu_0^2 m^2 \delta \left( \frac{1}{a^3} - \frac{1}{b^3} \right) v \quad (b) v(t) = \frac{Mg}{k} \left( 1 - e^{-\frac{kt}{M + \frac{1}{R^2}}} \right)$$

Рис. 4. (а) Выражение теоретически рассчитанной силы сопротивления, действующей на магнит, падающий через проводящие трубы. (б) Выражение теоретически рассчитанной скорости магнита, падающего через проводящие трубы.

Нам удалось разработать наше первое экспериментальное устройство для изучения движения магнита, падающего через проводящие трубки, с использованием Arduino и устройства отображения данных в реальном времени. Мы показали, что скорость падающего магнита изменяется как функция от времени из-за явления электромагнитного торможения. Она внезапно увеличивается в начале и достигает постоянной конечной скорости в конце движения. Экспериментальные результаты в алюминиевых и медных трубках аналогичны. Чем сильнее магнит, тем больше сила сопротивления. Это также зависит от свойств металлов. В медной трубке магниты движутся медленнее, поскольку электропроводность меди выше, чем у алюминия. Заметим, что этот эксперимент может быть применён для предварительного исследования типов материалов и их электрических свойств. Мы обнаружили, что экспериментальные результаты могут быть подкреплены теоретическими расчётами, полученными при рассмотрении дипольных магнитных полей, что применимо к конструкции нашего устройства и экспериментальной установки. Наша работа может проложить путь к дальнейшим подобным исследованиям, а устройство можно

усовершенствовать и использовать в качестве учебного пособия на уроках электромагнетизма как в старших классах, так и на уровне бакалавриата.

Литература:

[1] B. Irvine, M. Kemnetz, T. Ruubel. *American Journal of Physic*, 2014, 82(4), 273–279.

[2] Y. Levin, F.L. Silveria, F.B. Rizzato. *American Journal of Physics*, 2006, 74, 815.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**САМОДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОГИТАРА КАК СТЕНД ДЛЯ**  
**ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Яковлева Т.Д.

*Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

В 2017–2019 годах выпускниками Лицея ФТШ были выполнены практические работы по физике, связанные с преобразованием и обработкой звука электромузыкальных инструментов, в частности, электрогитар ([1], [2]).

Для дальнейшего изучения результатов этих работ в условиях лаборатории требовалось разработать физический прибор, позволяющий генерировать электронные колебания (т. е. источник сигнала для использования с упомянутыми работами). Нами разработан такой прибор — фактически, самодельная электрогитара — как в «носимом», так и в «стендовом» варианте. Созданная электрогитара использует минимум готовых деталей: стальные струны и колки (устройства для натяжки струн). Корпус изготавливается из цельной доски (массив хвойных пород), порошки из — метизов, магнитные звукосниматели наматываются вручную (также возможно использование пьезозвукоснимателя). Помимо этого, собран транзисторный усилитель (поскольку самодельный звукосниматель даёт достаточно слабый сигнал).

Физический принцип работы устройства заключается в следующем: каждый звукосниматель состоит из постоянного магнита с обмоткой из изолированной медной проволоки. При колебании стальной струны поле, создаваемое магнитом внутри такой катушки, меняется (тоже колеблется). Изменяющееся магнитное поле создаёт переменную электродвижущую силу в катушке. Остаётся усилить эту ЭДС встроенным в гитару или отдельным электронным усилителем.

В ходе работы обнаружено, что, помимо использования в качестве источника звука в работах предшественников, такая электрогитара открывает возможности для дальнейших самостоятельных исследований, например: наведение колебаний кратных гармоник в струне; проверка закона Мерсенна (частота колебаний струны в зависимости от её физических параметров); частота самовозбуждения струны (из-за обратной связи от динамика); сравнение звукоснимателей различного принципа действия.

Мы предполагаем, что данное устройство может быть успешно использовано на практических занятиях по физике в школе и вузе (кроме самостоятельного использования в качестве музыкального инструмента).

Литература:

1. М.В. Носов. Программный комплекс для создания звуковых эффектов для использования с музыкальными инструментами. — СПб, Лицей ФТШ, 2017.
2. С.С. Поташевский. Электронный преобразователь звука — fuzz-эффект для электрогитары. — СПб, Лицей ФТШ, 2019.

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### ИСПЫТАНИЯ СМЕСЕЙ ДЛЯ РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Воронов К.С.

*МАОУ лицей № 38, Нижний Новгород, Россия*

*kiryu.voronov.01@mail.ru*

Целью данной работы является испытания топлива для ракет.

Самый популярный любительский состав 65%  $KNO_3$  и 35% сахара [5–9]. Такой состав близок к оптимуму по достижимому удельному импульсу при небольших степенях расширения, характерных для модельных РДТТ. Умеренный показатель степени в законе горения делает топливо пригодным для работы в широком диапазоне давлений, и, как следствие, подходящим для кустарно изготовливаемых РДТТ с заметным разбросом геометрических характеристик.

Такое топливо является далеко не самым мощным. В теории удельный импульс «карамельки» — 153 кгс×с/кг, но фактически он не превышает 125 кгс×с/кг. Это ниже, чем в промышленных аналогах, поэтому его не используют массово. Но это лучше, чем дымный порох, и не требует сложного оборудования для приготовления.

Существует ещё много различных вариантов топлива, в которых используется сера, оксид железа и многие другие катализаторы и компоненты, но в процессе их приготовления и использования выделяются вредные газы и многое другое, что может навредить нам.

Наш выбор пал на смесь селитры и сахара в соотношении 65% к 35%, которое мы готовили в толстой алюминиевой кастрюле. Суть варки заключалась в полном выпаривании воды и варке до момента карамелизации сахара. Всю полученную кашу мы забивали в корпус ракеты, склеенный из бумаги, и дожидались полного высыхания топлива.

Выбор топлива сопровождался попытками измерить температуру горения и тяги двигателя. Температуру горения топлива измерить было действительно нечем. Она заведомо превышала максимальные температуры, которые могли измерить имеющиеся у нас приборы. По крайней мере алюминиевая банка, выбранная нами на одном из этапов испытаний в качестве корпуса двигателя, целиком сгорела за 2–3 секунды.

Измерение тяги двигателя проводилось на трёх различных установках и привело к неоднозначным результатам: сильному разбросу от 5 Н до 25 Н. Но в любом случае тяга двигателя оказалась недостаточной для взлёта ракеты. По нашему мнению, проблема кроется в конструкции сопла.

Заключение. Перспективы дальнейшего исследования в более детальном изучении этой темы. На данном этапе можно уже подвести итоги проделанной работы и выделить задачи, которые были выполнены, а также проанализировать ошибки:

Мы выбрали самый оптимальный состав топлива, который является безопасным и доступным (65%  $KNO_3$  + 35% сахарного песка). При его горении не выделяется ядовитых газов, и топливо горит стабильно.

Мы установили температуру горения реактивного топлива (основываясь на температуре плавления алюминия):  $>800^\circ\text{C}$ . Мы измерили тягу несколькими способами, результаты таковы: 29,4Н.

Ошибки, вероятнее всего, были в конструкции сопла — у нас нет доступа к металлам или керамике для изготовления правильного сопла. Ракету запускать ещё рано, так как тяги двигателя не хватает. Также, скорее всего, фактором неудачи является излишняя тяжесть двигателя — он весит более 0,3 кг.

#### Литература:

1. Твёрдотопливные ракеты. — М., 1992.
2. Задача особой государственной важности/ Сост. В.И. Ивкин, Г.А. Сухина. — М., 2010.
3. Первов М.А. Рассказы о русских ракетах. — М., 2012–2013. — Кн.1–3.
4. Черток Б.Е. Ракеты и люди. — М., 2012. — Т.1: От самолётов до ракет.

#### Интернет-ресурсы:

1. <https://znatprovse.ru/polezno-znat/istoriya-raketostroeniya.html> (История ракетостроения).
2. <https://thealphacentauri.net/rocketry-through-ages/> (Ракетостроение в современном мире)
3. <https://thealphacentauri.net/rocketry-through-ages/#start> (Совершенствование двигателей).
4. <https://www.roscosmos.ru/473/> (Ещё немного о ракетах).
5. [https://function-x.ru/systems\\_gauss.html](https://function-x.ru/systems_gauss.html).

# ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

## **МУЛЬТИРОТОРНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**

Михалеви́ч А.Р.  
ГУО «Лицей БГУ»  
armmsq@gmail.com

Введение. В реалиях современного мира наблюдается стабильная тенденция возникновения пожаров различных видов, что связано с высоким риском возгорания различных материалов в нашей жизни.

Представленная работа посвящена разработке специального мультироторного аппарата, способного самостоятельно тушить возгорания, а также предусматривающего сброс меток на возможные очаги лесных пожаров.

Теоретическое обоснование. Одной из значимых проблем современной жизни являются лесные и бытовые пожары. Однако нынешние методы пожаротушения либо медленны, либо стационарны. Данная разработка позволяет быстро и точно определить очаг возгорания и принять меры для его устранения.

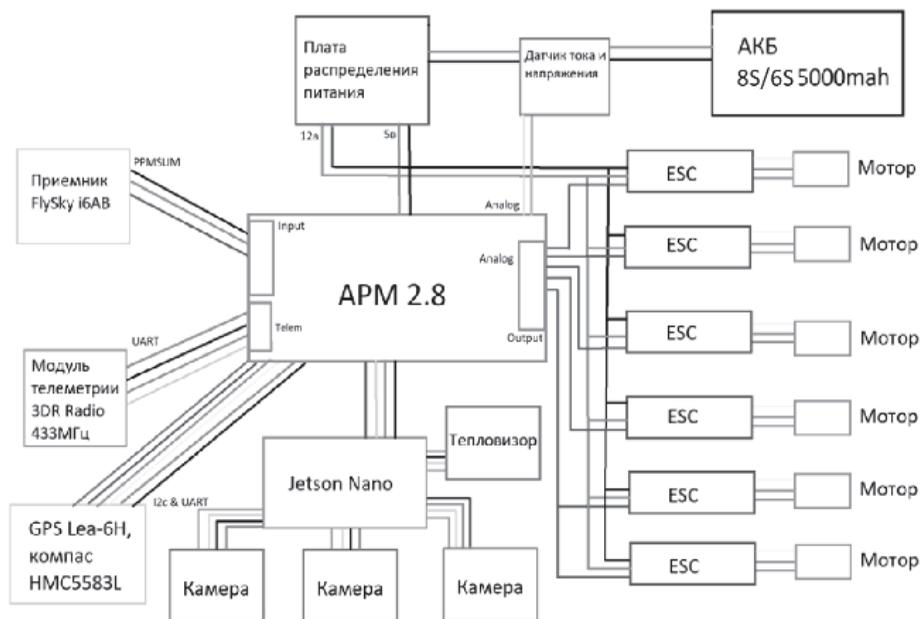


Рис.1 Схема дрона

Практическая часть. Одной из наиболее сложных задач при разработке дрона было выбрать шасси и комплектующие для него. Мы решили остановиться на следующей конфигурации из-за её устойчивости, долгого полётного времени и большой полезной нагрузки. Схема дрона указана на Рис. 1.

Используемые компоненты:

- рама S700 (гексакоптер);
- моторы MultiStar Elite 3508 268 кв;
- регуляторы FVT LITTLEBEE BLHeli-s 30 A;
- пропеллеры 15x4(5);
- АКБ 6s/8s 5000mah 45 с;
- полётный контроллер Ardupilot v2.8;
- GPS Lea-6H с компасом HMC5583L;
- модуль телеметрии 3DR Radio 433 МГц;
- самодельные плата распределения и датчик тока и напряжения.

Второй по сложности задачей стало создание специальной системы для обнаружения огня. Платформой для обработки данных является микрокомпьютер JetSon Nano от компании NVidia. Он был выбран из-за того, что при малом размере позволяет обрабатывать большое количество информации. К нему подключаются 3 камеры: 2 камеры от Raspberry PI — одна без инфракрасного фильтра и с фильтром на видимый диапазон; вторая камера с инфракрасным фильтром; 3 камера-FPV — камера FOXEER Monster Mini) и тепловизор Melexis MLX90640. Камера с фильтром на видимый диапазон будет использоваться для определения огня с помощью следящего окна. Камера с фильтром УФ-излучения будет получать изображения и с помощью нейронной сети на микрокомпьютере обрабатывать их. FPV камера будет использоваться для нестандартных ситуаций, когда управление на себя будет брать человек.

Заключение. В результате работы был разработан мультироторный летательный аппарат с полезной нагрузкой, способный в автономном режиме находить пожары.

В дроне реализованы следующие функции.

- Полёт по точкам (полётному контроллеру даются координаты GPS, и аппарат летит в данную на карте точку).
- Полёт в автономном режиме (микрокомпьютер на основе полученных данных выдаёт полётному контроллеру координаты).
- Сброс радиометок.
- Удержание высоты и точки на карте.
- Полёт по дистанционному управлению.
- Тушение пожара в автономном режиме.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ЭФФЕКТИВНЫЙ ИОНИЗАТОР ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ**  
**АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ. СОЗДАНИЕ**  
**И ИССЛЕДОВАНИЕ**

Бастрыгина А.С., Латохин С.А., Булгакова Е.А.  
СУНЦ НГУ (ФМШ), Новосибирск, Россия  
*a.bastrygina\_sesc@g.nsu.ru; s.latokhin\_sesc@g.nsu.ru;*  
*e.arifova\_sesc@g.nsu.ru*

Введение. Ионизаторы воздуха на основе автоэлектронной эмиссии предназначены для генерации отрицательных ионов кислорода, которые способны очищать воздух от пыли и пыльцы (аллергены), от спор грибов; для борьбы с бактериями и, возможно, с вирусами [1,6]. Отрицательно заряженная молекула кислорода, обладающая отрицательным сродством к электрону, образуется в результате эмиссии электронов с металлических острий при высоких напряжённых электрического поля:  $E=10^8-10^9$ В/м [2–5].

Эмитированные электроны обладают низкой энергией (электрон-вольты), что обеспечивает их эффективный захват (прилипание) молекулой кислорода. Частицы в атмосфере заряжаются, укрупняются и осаждаются, а бактерии разрушаются под действием заряда. Кроме того, сообщается, что отрицательно заряженный кислород способен благотворно влиять на человека, на обменные процессы в организме [5]. В настоящее время работы, направленные на антибактериальные и антивирусные технологии, актуальны.

Цель проекта — создать ионизатор воздуха на основе автоэлектронной эмиссии со многими остриями-иголками и сравнить характеристики каждого из генераторов ионов в равных условиях при равной площади эмитирующей поверхности источника ионов. Мы начали работать в этом направлении осенью 2019 года в лаборатории экспериментальной физики физического факультета НГУ, понимая, что эта тема важна и интересна и для физиков, и для биологов. Кроме того, проект имеет большое прикладное значение при существенной образовательной компоненте.

Методика. Разработанный ионизатор, (источник ионов) воздуха представляет собой диск из пенопласта диаметром 90 мм толщиной 15 мм с равномерно закреплёнными на нём 52 острыми стандартными металлическими булавками. Острия (эмиттеры электронов) соединены между собой пайкой медным проводом. Радиус острий измеряли с помощью оптического микроскопа (Nikon, Япония). Ионизатор размещался на различных расстояниях (1–30см) от коллектора заряженных частиц — цилиндра Фарадея — для измерения тока ионов. Коллектор выполнен из медной фольги диаметром 120 мм, длиной 120 мм. Ток ионов измерялся мультиметром среднего класса в диапазоне сотен мкА.

С целью исследования пространственного распределения потока ионов ток ионов измеряли при различных углах от нормали к ионизатору. Напряжение на источнике изменялось от сотен вольт до 31 кВ с максимальным током 0.2 мА. При работе с промышленным ионизатором исследованы два режима работы прибора  $U=13,5$  кВ и 15 кВ. В приборе не предусмотрено изменение напряжения.

Результаты и обсуждение. Рассмотрены теоретические основы работы источника на основе автоэлектронной эмиссии с поверхности металлических острий, образование отрицательных ионов и их распространение в воздушной среде. Показаны линии напряжённости электрического поля системы: острия-внешняя поверхность (анод).

Создана и подробно описана экспериментальная установка для ионизации воздуха: «Лидер ФМШ-НГУ» и промышленный ионизатор. Измерено пространственное распределение потока ионов от двух типов источников при различных величинах потенциалов на остриях при различных углах и при различных расстояниях от детектора. Показано, что при увеличении расстояния в два раза ток уменьшается в пять раз, а при изменении расстояния в пять раз — в 50 раз, что объясняем быстрыми процессами нейтрализации в атмосфере. Установлено, что созданный источник по току ионов во много раз (до десяти) превосходит промышленный. Установлены режимы напряжений, при которых источник может испускать электроны для образования отрицательного кислорода (супероксидального радикала). Определены режимы работы, при которых в источнике реализуется коронный разряд, что нежелательно с точки зрения образования окислов азота, вредных для человека.

Представлены фотографии возникающего коронного разряда в обоих ионизаторах. Показано, что ток ионов от созданного источника фиксируется при расстояниях на порядок больших в сравнении с промышленным источником. Даны рекомендации по усовершенствованию источника ионов.

В докладе приведены известные результаты (примеры) влияния отрицательного кислорода (супероксидального радикала) и молекул озона на различные микроорганизмы, включая различные типы вирусов [7].

Считаем, что созданный и исследованный нами ионизатор «Лидер ФМШ-НГУ» может рассматриваться как перспективный для дальнейших исследований в области борьбы с бактериями и вирусами.

#### Литература:

1. Воздухоочистители воздуха для дома и офиса.  
[https://1/www.ekologi.ru/katalog/seria\\_1.html](https://1/www.ekologi.ru/katalog/seria_1.html).
2. Г.Н. Фурсей. Автоэлектронная эмиссия. — Соросовский образовательный журнал. 2000. — Том 6. — № 11. — С.97–103.

3. Н.В. Егоров, Е.П. Шешин. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы. 2011 г.  
<http://www.id-intellect.ru/books/section-4/product-76/#contents>.
4. Д.И. Трубецков. Вакуумная микроэлектроника. — Соросовский образовательный журнал, 1997. — Том 4. —С.58–64.
5. Автоэлектронная эмиссия.  
<https://bourabai.ru/physics/0034.html>.
6. А. Л. Чижевский. — М.: Мысль, «Аэроионы и жизнь», 1999.
7. П.В. Лидский и Е.Ю. Короткевич, американские вирусологи и микробиологи. Лаборатория UCSF. Калифорнийский университет. Сан-Франциско. США. 12 апреля 2020. Частное сообщение.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ПОРТАТИВНЫЙ АЭРОЗОЛЬНЫЙ ПРОБООТБОРНИК  
ДЛЯ МОНИТОРИНГА БИОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ  
ПРИ ПОМОЩИ БПЛА**

Кириллова В.О., Кадырова А.С.  
*Университетский Лицей № 1511, Москва, Россия*  
*НИЯУ МИФИ, Москва, Россия*  
*kirillova\_vo\_1018@1511.ru*

Биопатогены являются возбудителями многих респираторных заболеваний[1], и их своевременное обнаружение в окружающей среде является важной задачей обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

Аэрозольные пробоотборники с жидкой фазой поглощения являются наиболее перспективными[2] по сравнению с традиционными методами отбора микроорганизмов с помощью фильтров или импакторов. Щадящие условия осаждения позволяют избежать травмирующего физического воздействия на микроорганизмы, поддерживая их физиологические свойства. Осаждение в жидкость позволяет отделить микроорганизмы от их аэрозольных носителей и обеспечивает их точное определение в виде одиночных клеток.

Практически все существующие в настоящий момент аэрозольные пробоотборники производят осаждение на поверхность твёрдой фазы и предназначены для лабораторного применения, что ограничивает возможности их использования.

Цель работы заключалась в создании эффективного аэрозольного пробоотборника с жидкой фазой поглощения для мониторинга биологических угроз в приземных атмосферных слоях при помощи дрона (БПЛА).

Первым этапом работы являлся расчёт параметров циклонного коллектора аэрозольных частиц, имеющих размеры от 1 до 5 мкм. Частицы осаждаются в плёнку воды при вращении вместе с потоком воздуха в ходе прокачки через коллектор с тангенциальным входом. Эффективность улавливания частиц  $\eta$  в циклонном коллекторе равна:

$$\eta = \frac{0,151Qd^2H\rho\left(\frac{\pi r_c R}{S}\right)^{0,6169}}{R^2 S \mu} \quad [1].$$
 Здесь  $Q$ ,  $\mu$  — скорость потока и вязкость воздуха,  $d$ ,  $\rho$  — диаметр и плотность частиц,  $R$  — радиус внутренней части цилиндра коллектора,  $H$  — максимальная высота подъема жидкости,  $S$  — площадь сечения входного патрубка,  $r_c$  — расстояние от оси корпуса до оси входного патрубка.

Установка коллектора на БПЛА накладывает ограничения на длительность отбора пробы (время полёта 15–20 минут), размеры трубки коллектора и потребляемую мощность пробоотборного устройства (<30Вт). В условиях относительно малого входного потока, обеспечиваемого

вентилятором, удовлетворяющим названным условиям, для достижения максимальной эффективности улавливания частиц необходимо подобрать оптимальные значения размеров входного патрубка  $r$ , цилиндра коллектора  $R$ .

В ходе проведённых исследований зависимости эффективности от различных параметров при помощи написанной в среде Mathcad программы были рассчитаны оптимальные значения  $r$  и  $R$ . Наибольшее возможное значение скорости прокачиваемого воздуха  $Q$  было определено экспериментально. Определённые расчётным путём параметры циклонного коллектора:  $R = 6$  мм,  $r = 3$  мм,  $Q = 30\text{--}40$  л/мин. Для частиц диаметром 1 мкм рассчитанная эффективность улавливания  $\eta \approx 20\%$ , для частиц диаметром более 2,5 мкм  $\eta = 100\%$  (Рис.1).

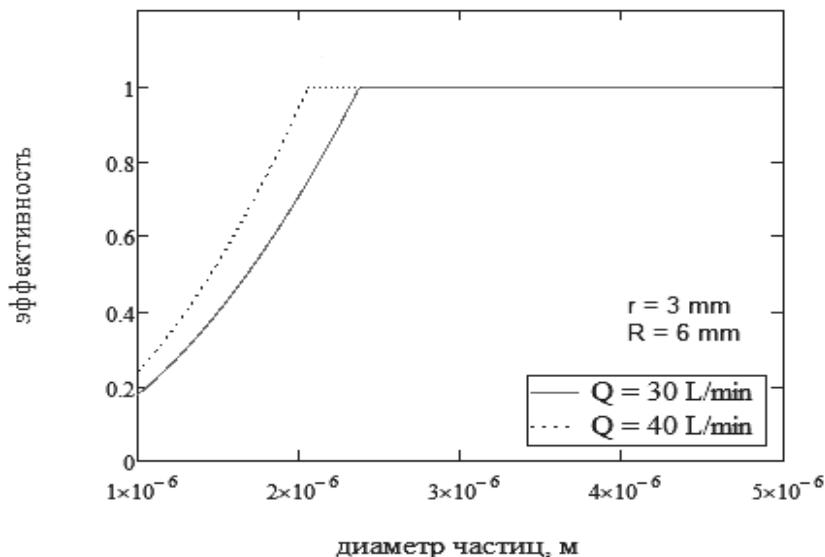


Рис.1. График зависимости эффективности улавливания частиц от их диаметра.

На втором этапе проводилось создание пробоотборника. Для этого в среде SolidWorks на основе сделанных расчётов был спроектирован циклонный коллектор и проведено его изготовление из полиметилметакрилата. Кроме коллектора, разработанная комплектация пробоотборника включает в себя вентилятор для прокачки воздуха мощностью 20 Вт, перистальтический насос для подачи воды, 2 гидрозлектроклапана и фотодиодный датчик контроля жидкости. Пробоотборник также снабжён сенсорным экраном для установки и контроля режима работы.

Функционирование систем пробоотборника было успешно проверено путём его установки на дрон и отбора аэрозольных проб в ходе полёта дрона в течение 5 минут на улице при  $3^{\circ}\text{C}$ . Эффективность пробоотбора

исследовалась в боксе микробиологической безопасности «Ламинар-С» путём сбора распылённого модельного вещества — аэрозоля сахарозы с красителем флуоресцеином — и сравнения результата с настольным жидкостным пробоотборником SASS 2300 производства США. Показано, что удельная эффективность сбора (единиц люминесценции собранной пробы к прокачиваемому объёму воздуха в единицу времени) в нашем случае равна 1,18 (у.е./л/мин), что более чем в 2,5 раза выше удельной эффективности 0,43 (у.е./л/мин) настольной американской системы. Мобильность, портативность и эффективность созданного пробоотборника открывает широкие перспективы его применения для решения задач экологии, медицины и биобезопасности.

#### Литература:

1. Sigaev G, et al. Development of a Cyclone-based Aerosol Sampler with Recirculating Liquid Film: Theory and Experiment. *Aerosol Sci and Tech.* 2006; 40 (5): 293–308.
2. Henningson EW, Ahlberg MS. Evaluation of Microbiological Aerosol Samplers. A Review. *J Aerosol Sci.* 1994; (25): 1459–1492

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### **ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПАРОВ ЭТАНОЛА В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК**

Саржанов Т.Н., Куращенко Л.В.  
СУНЦ НГУ, Новосибирск, Россия  
*l.kurashchenko@gmail.com*

Аморфные гидрогенизированные углеродные (а-С:Н) плёнки применяются в качестве защитных, износостойких и упрочняющих покрытий для инструмента и различного оптического оборудования, т. к. обладают высокой твёрдостью, низким коэффициентом трения и оптической прозрачностью в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн. а-С:Н плёнки получают различными плазмохимическими методами, одним из которых является осаждение в газовом разряде с применением углеводородов. Оптические свойства плёнок зависят от метода осаждения и определяют сферу их применения.

Цель работы: исследование влияния давления паров этанола на спектры пропускания и показатель поглощения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн, а также показатель преломления, толщину и ширину оптической щели полученных а-С:Н плёнок.

Осаждение а-С:Н плёнок происходило в течение часа в газовом разряде на парах этанола между анодом и сеточным катодом при напряжении 1500 В и пяти различных давлениях в диапазоне 0,09–0,24 торр. Держатель со стеклянной подложкой располагался за сеточным катодом на расстоянии 2 см от него. На держатель подавалось отрицательное напряжение смещения — 50 В для ускорения потока ионов на подложку. Перед осаждением проводилась очистка подложки аргоновой плазмой.

Спектры пропускания образцов измерялись на спектрофотометре Shimadzu UV3600 в диапазоне длин волн 300–3000 нм. Толщина и показатель преломления определялись с помощью лазерного эллипсометра LEF-752 с длиной волны 632,8 нм. Толщина плёнок лежала в диапазоне 220–378 нм, показатель преломления — в диапазоне 1,7–1,93. Показатель поглощения рассчитывался из толщины и спектров пропускания и использовался для построения графика Тауца. Путём экстраполяции графика определялась ширина оптической щели образцов, которая изменялась в диапазоне от 1,4 до 1,9 эВ. На основании полученных данных сделано предположение о потенциальной возможности применения данных а-С:Н плёнок для нужд науки и техники.

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗРЫВА В ДВУМЕРНОМ ИДЕАЛЬНОМ ГАЗЕ**

Денисенко А.В.

*Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова  
СПбАУ РАН, Санкт-Петербург, Россия  
ФГАОУВО «НИУ ИТМО», Санкт-Петербург, Россия  
denisiya111@mail.ru*

Появление и распространение поверхностей разрыва — хорошо изученные явления в механике сплошных сред [1]. Как правило, источником ударных волн служит либо движение объекта (например, реактивного самолёта или пули) в сплошной среде (например, в жидкости или газе) со скоростью, превышающей локальную скорость звука в данной среде, либо имеющаяся в начальный момент времени граница между участками сплошной среды, обладающими разными термодинамическими параметрами, такими как температура, давление или плотность. В лабораторных условиях обычно имеют дело со вторым источником ударных волн, изучая их поведение в специальной установке, называемой ударной трубой. Данная установка представляет собой длинную камеру, разделённую на две части перегородкой. В разных частях камеры находится газ при различных давлениях, поэтому при очень быстром удалении перегородки образуется т. н. «поверхность разрыва», переходя через которую термодинамические параметры среды испытывают скачок. Эта поверхность разрыва не остаётся на месте, а начинает двигаться в сторону участка камеры с меньшим давлением, и при определённых условиях скорость движения поверхности разрыва будет превышать локальную скорость звука в газе. В таком случае говорят о распространении ударной волны. Математическая формулировка задачи о распространении поверхности разрыва в постановке, подобной той, что описана выше, носит название задачи Римана. Данная задача хорошо изучена и в ряде случаев имеет аналитическое решение. На практике для решения такой задачи используются специальные компьютерные программы (Riemann solvers), которые моделируют данный процесс численно. Как правило, распространение поверхностей разрыва исследуется в сплошных средах, где доступен целый арсенал как аналитических, так и численных методов. Однако в случае молекулярной динамики, когда среда не рассматривается как сплошная, а учитывается динамика каждого отдельного атома или молекулы, применим только численный подход, который стал активно применяться для исследования ударных волн только в последние годы [2]. В данной работе была поставлена цель разработать компьютерную программу для проведения моделирования распространения поверхностей разрыва и ударных волн методом молекулярной динамики.

В качестве модели используется двумерный газ из абсолютно упругих и гладких шаров («атомов» или «молекул» газа). Была смоделирована ситуация, при которой изначально имеется прямоугольный сосуд, разделённый на две части перегородкой, в двух половинах которого

находится газ при различных давлениях/концентрациях/температурах. По команде оператора программы перегородка мгновенно убиралась и поверхность разрыва (воображаемая поверхность, которая в начальный момент времени совпадает с положением исчезнувшей перегородки) и начинался процесс распространения волны (вместе с расширением газа и диффузией). Были рассмотрены разные режимы распространения поверхностей разрыва и ударных волн в зависимости от начальных условий, промоделирован процесс взаимодействия ударной волны со стенками сосуда.

#### Литература:

1. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. — М.: ГИ ТТЛ, 1950.
2. J. Phys. Chem. C 2016, 120, 40, 22989–23000

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ЛАЗЕРНЫЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОЛЯРИМЕТР  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ БИМЕДИЦИНСКИХ  
ХИРАЛЬНЫХ СРЕД**

Быкова В.А.  
*ШОИ ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия*  
*v.a.bykova@mail.ru*

В настоящее время проявляется большой интерес к исследованию поляризации света. Внимание к данному предмету обусловлено, прежде всего, фактом гомохиральности жизни [2–3]. Науке известны способы измерения количества левых и правых энантиомеров глюкозы в растворах при помощи прибора поляриметра, фиксирующего угол поворота плоскости поляризации. Однако известные поляриметры обладают рядом несовершенств. В частности, положения минимума проходящего излучения при скрещенной поляризации определяется исключительно визуально; велика погрешность механических лимбов; для проведения измерений необходим большой объём вещества (до 10 см<sup>3</sup>); в качестве источников используются натриевые лампы, дающие свет только одной частоты. В результате такой прибор не позволяет в полной мере исследовать хиральность очень важных классов хиральных биомедицинских объектов малого объёма. Кроме того, в ряде случаев нужно иметь данные на разных частотах света с повышенной точностью.

Цель: создать лазерный фотоэлектрический поляриметр для высокочувствительного измерения оптической хиральности в биологических и медицинских растворах. В перспективе: внедрение прибора в больницы в качестве медицинского оборудования для измерения оптической хиральности крови, а также других биомедицинских жидкостей (слёзная жидкость, слюна и др) и биологически активных продуктов питания, что позволит развить новые не инвазивные методы ранней диагностики диабета.

Настоящий проект является продолжением моего предыдущего исследования, в котором был создан прибор «лазерный фотоэлектрический эллипсометр», позволяющий измерять изменение поляризации, которую свет приобретает, проходя сквозь оптически анизотропную среду. Важным шагом стала модернизация эллипсометра из визуального в фотоэлектрический: к установке был подключён мультиметр и фотодиод, а в качестве источника излучения — лазер ( $\lambda=532$  нм). Это позволило существенно упростить оптическую часть прибора, увеличить чувствительность, пространственное разрешение и оперативность.

В рамках настоящего проекта я интегрировала систему фотоэлектрической регистрации и в устройстве поляриметра, но с некоторыми изменениями. Основное отличие данного прибора заключается в использовании дифференциального принципа регистрации излучения. С этой целью

в установку интегрированы поляризационный расщепитель и два фотодетектора. В качестве расщепителя используется двойное лучепреломление в пластинке из кристалла кальцита. В этом случае линейная поляризация на выходе из образца разлагается на взаимно перпендикулярные составляющие, которые регистрируются отдельными фотодиодами, затем измеряется разность напряжений на этих фотодиодах. Для более точной регистрации вместо механического угломера положение скрещенной поляризации можно определять с помощью фарадеевского компенсатора (катушка с регулируемым током, внутри которой стекло с известной фарадеевской константой) по нулевому разностному сигналу на выходе. Источником излучения служит лазер. Осуществлены этапы настройки прибора: устранение проблемы насыщения фотодиодов, калибровка, тестирование и доработка. Планируется помещение прибора в корпус для удобной эксплуатации в биомедицинских исследованиях. В части работы с биомедицинскими объектами предполагается сотрудничество с представителями Нижегородского мединститута.

Выводы. Исследованы особенности фотоэлектрической регистрации света и на этой основе спроектирован и создан портативный демонстрационный лазерный фотоэлектрический поляриметр, позволяющий измерять оптическую хиральность и анизотропию материалов и веществ с повышенной чувствительностью и точностью. Произведены проверки работоспособности прибора, оценена точность. Проведены предварительные исследования хиральности в растворах глюкозы и фруктозы в соках и фруктах. Кроме того, прибор может быть использован и для исследования эффекта вращения поляризации света за счёт других оптических эффектов, например, магнитооптического эффекта Фарадея. Доказано, что первоначальные идеи вполне реализуемы. Продолжаются исследования с целью получения оптимальных характеристик прибора.

#### Литература:

1. Н.Д. Жевандров. Поляризация света. — 1969. — С. 43–49.
2. William A. Bonner, Topics in Stereochemistry Origins of Chiral Homogeneity in Nature, 1988, 18, Pages 1–96.
3. Luciano Caglioti, Károly Micskei, Gyula Pályi, First molecules, biological chirality, origin(s) of life, 2010, 23, Pages 65–68.
4. Г.С. Ландсберг. Оптика. — 1976 — С. 769–811.
5. Е.Л. Бубис, А.З. Матвеев. Методы создания и анализа поляризованного света — 2011. — С. 3–26.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ТЕПЛОТДАЧИ**  
**СОЛЕВОЙ ГРЕЛКИ**

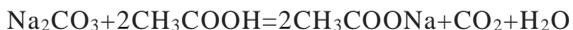
Шевченко К.А.  
МАОУ Лицей № 38, Нижний Новгород, Россия  
ksu632930@gmail.com

В современном мире требуется огромное количество электроэнергии в различных сферах жизни человека, достаточно большое количество этой энергии идёт на выработку тепла. Производство электричества вредит экологии нашей планеты, а значит, нужно потреблять меньшее количество электроэнергии и находить альтернативные способы получения тепла. В качестве такого источника рассмотрим солевую грелку.

Солевые грелки — многофазовые химические грелки, в основу работы которых положена экзотермическая реакция кристаллизации перенасыщенного раствора ацетата натрия. Эффективность работы солевых грелок зависит от скорости теплоотдачи, поэтому именно её исследование стало целью, для достижения которой были поставлены задачи.

Практическая и научная значимость работы заключается в способности использования законов естественнонаучных дисциплин в практической деятельности. Результаты исследований могут быть использованы в различных отраслях промышленности.

Характерной особенностью химических реакций является то, что они всегда сопровождаются поглощением или выделением энергии. В солевых грелках используется перенасыщенный раствор ацетата натрия, называемый тригидратом ацетата натрия ( $CH_3COONa \times 3H_2O$ ). Он очень доступный по способу получения и недорогой, его можно изготовить дома, что мы и сделали, воспользовавшись пищевой содой и 70 % уксусной кислотой.



Рассчитали плотность перенасыщенного раствора ацетата натрия по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ она равна } 1381,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Тригидрат ацетата натрия при выводе из состояния равновесия кристаллизуется. Кристаллизация — это процесс выделения твёрдой фазы в виде кристаллов из растворов или расплавов. При помощи школьного микроскопа получили картину кристаллов перенасыщенного раствора.

Процесс кристаллизации тригидрата ацетата натрия был снят на видео, чтобы впоследствии рассчитать его скорость. В реальных условиях скорость непостоянна, поэтому нагляднее представить данную физическую величину и её изменение в виде графиков, что и было сделано в работе. Видео было разбито на кадры, которые были загружены в программу Paint и увеличены до появления пикселей, после чего было посчитано количество пикселей

в 1 мм и рассчитан рост кристаллов в пикселях. Затем пиксели были переведены в миллиметры. Так как участки времени, за которое кристаллизуется 1 мм перенасыщенного раствора, очень малы, то на этих участках движение можно считать равномерным, а скорость кристаллизации можно рассчитать по формуле:  $V_{\text{кристаллизации}} = \frac{S}{t}$ , где  $t$  — время, за которое кристаллизуется  $S=1$  мм тригидрата ацетата натрия.

В ходе кристаллизации перенасыщенного раствора ацетата натрия выделяется тепло. Для расчёта количества теплоты переместим вещество в три пакета одинаковых размеров, изготовленных из разных материалов (пакет из пищевой фольги; пакет из упаковки, содержащей капсулы воздуха; zip-пакет). Процесс теплоотдачи измерим при помощи тепловизора. По закону Гесса:  $Q = Q_{\text{пакета}} + Q_{\text{воздуха}}$ . Система получает тепло от экзотермической реакции и отдаёт часть в окружающую среду. Тогда

$$Q_{\text{пакета}} = c_{\text{пакета}} \times m_{\text{пакета}} \times (t_{\text{пакета}} - t_0) + k \times (T - T_0) \times \tau.$$

В данной формуле  $c_{\text{пакета}}$  — удельная теплоёмкость материалов пакета,  $m_{\text{пакета}}$  — масса грелки,  $t_{\text{пакета}} - t_0$  — изменение температуры грелки,  $k$  — коэффициент теплоотдачи вещества,  $T - T_0$  — разность температуры грелки и окружающей среды,  $\tau$  — время, в течение которого рассматривается реакция.

Для определения удельной теплоёмкости материалов, из которых изготовлены пакеты, мы воспользовались калориметром и горячей водой.

Так как потери при использовании такой установки минимальны, то воспользуемся уравнением теплового баланса:

$$m_{\text{воды}} \times c_{\text{воды}} \times (t_{\text{воды}} - t_{\text{средняя}}) = m_{\text{пакета}} \times c_{\text{пакета}} \times (t_{\text{средняя}} - t_0).$$

$$\text{Тогда } c_{\text{пакета}} = \frac{m_{\text{воды}} \times c_{\text{воды}} \times (t_{\text{воды}} - t_{\text{средняя}})}{m_{\text{пакета}} \times (t_{\text{средняя}} - t_0)}.$$

Для расчёта коэффициента теплоотдачи вещества воспользуемся следующей формулой:

$$\tau = \frac{cm}{k} \Rightarrow k = \frac{cm}{\tau}$$

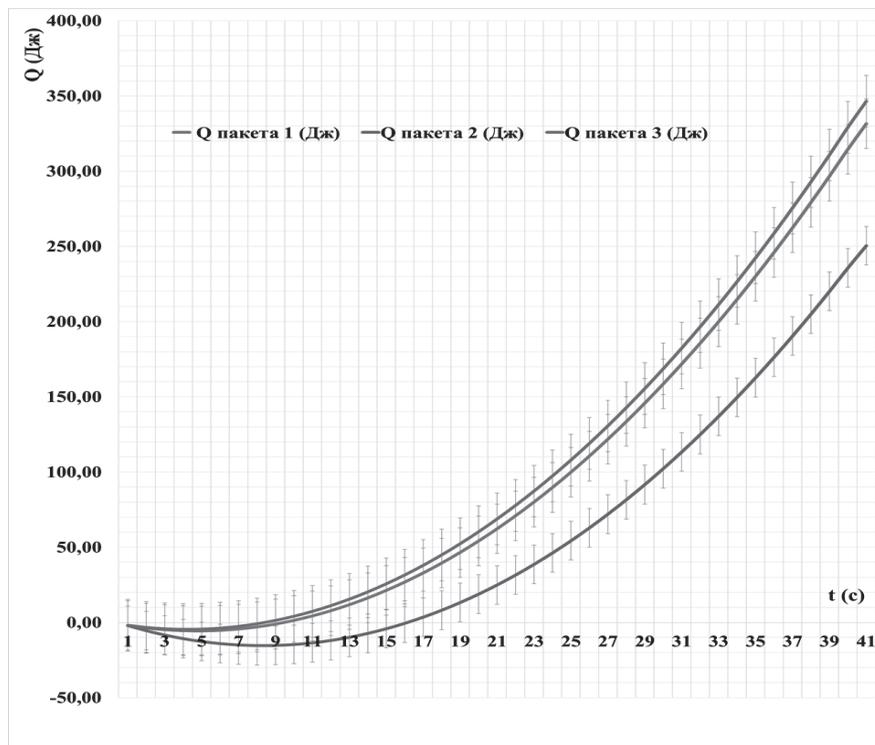
В данной формуле  $k$  — коэффициент теплоотдачи вещества,  $c$  — удельная теплоёмкость тригидрата ацетата натрия (было взято из справочных материалов). По результатам расчётов  $k = 0,37 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \times \text{C}}$ .

Все полученные данные были подставлены в формулу:

$$Q_{\text{пакета}} = c_{\text{пакета}} \times m_{\text{пакета}} \times (t_{\text{пакета}} - t_0) + k \times (T - T_0) \times \tau.$$

По результатам вычислений за равный промежуток времени наибольшее количество теплоты было выделено грелкой, оболочкой которой являлся zip-пакет, а наименьшее — грелкой, оболочкой которой является упаковка, содержащая капсулы воздуха.

Скорость теплоотдачи — это быстрота изменения количества теплоты. Так как скорость теплоотдачи при экзотермической реакции изменяется, то нагляднее представить данную физическую величину в виде графика зависимости  $Q(t)$ . При протекании реакции отслеживалось изменение температуры грелки по времени, что и позволило построить этот график.



Если посмотреть на графики зависимости количества теплоты трёх пакетов от времени, можно увидеть, что первоначально они убывают и только потом возрастают. Это обусловлено тем, что при переходе из жидкого состояния в кристаллическое энергия сначала поглощается и идёт на разрушение химических связей и лишь после этого выделяется.

В работе также был произведён расчёт энергии Гиббса, выделяющейся при экзотермической реакции кристаллизации перенасыщенного раствора ацетата натрия, по формуле  $G=H - SAT$ , она равна  $-607,04 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ .

Так как при расчёте количества теплоты, выделяющейся при кристаллизации, было использовано три материала в качестве оболочки, то необходимо отметить, какими свойствами должен обладать наилучший материал для его использования в солевых грелках. Для наибольшей эффективности и большего срока службы солевых грелок в качестве оболочки должен использоваться материал, который обладает

маломеняющейся теплопроводностью. В природе таких материалов не существует, а в его создании заинтересованы специалисты в области микро- и нанoeлектроники.

После проведения исследований были предложены варианты использования солевых грелок:

- использование солевых грелок в контейнерах с подогревом;
- использование солевых грелок для аэрации водоёмов.

Также предлагаем использование тригидрата ацетата натрия в силу уникальности его теплофизических свойств в качестве теплоаккумулирующего материала (*ТАМ*) на основе фазового перехода жидкость — твёрдое тело.

Подводя итоги, отметим, что в ходе работы было:

- изготовлено вещество, обладающее экзотермическими свойствами (ацетат натрия);
- изучены причины выделения тепла при экзотермических реакциях;
- рассчитана плотность перенасыщенного раствора ацетата натрия;
- получена картина кристаллов ацетата натрия, образовавшихся в ходе экзотермической реакции, и изучена теория кристаллизации веществ;
- рассчитана скорость кристаллизации раствора;
- рассчитана удельную теплоёмкость материалов, взятых в качестве оболочки солевой грелки;
- рассчитан коэффициент теплоотдачи тригидрата ацетата натрия;
- рассчитано количество теплоты, выделяющейся при экзотермической реакции;
- рассчитана энергия Гиббса, выделяющаяся при экзотермической реакции;
- определены свойства лучшей оболочки;
- предложены варианты использования.

В результате работы была достигнута цель, то есть было проведено исследование скорости теплоотдачи солевой грелки.

Литература:

1. Б.П. Никольский. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство. — 1987.
2. А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. Физическая химия. 5-е изд. — 2003 — 527 с.

## **1. Buaprasertying N., Klomchitcharoen P., Daochalermwong J.**

Thailand, Nakhon Pathom, Mahidol Wittayanusorn, 12 класс

### **Measurement of salinity in meat by processing with Arduino (Измерение уровня соли в мясе с обработкой данных на Ардуино)**

This project aims to create the low-cost salinity refractometer for the cooked meat by investigating the relation between resistance and salt concentration in cooked chicken breast to create the formula that can be used to indicate the salt concentration by measuring the resistance. Our salinity meter can be used to measure salinity in the cooked chicken breast and display three colors with the light emitting diodes to suggest the amount of salt in the cooked chicken as green color (not dangerous) yellow color (quite dangerous) and red color (dangerous).

Работа направлена на создание недорогого рефрактометра уровня соли для вареного мяса. Исследовалась зависимость сопротивления от концентрации соли в варёной куриной грудке. Была создана формула, которая может использоваться для указания концентрации соли при измерении сопротивления. Предложен измеритель уровня соли, который при помощи светодиодных ламп трёх цветов показывает количество соли в приготовленной курице: зелёный цвет — не опасно, жёлтый цвет — довольно опасно, красный цвет — опасно.

Научный руководитель: Ph.D Disrattakit P.

Место выполнения работы: Mahidol Wittayanusorn School

## **2. Wongsamut T., Surakiatkamjorn P., Thanawan S.**

Thailand, Nakhon Pathom, Mahidol Wittayanusorn, 12 класс

### **Development of an experimental device to study the motion of magnet falling through conducting tubes using Arduino and real-time display (Разработка экспериментального устройства для изучения движение магнита, падающего через проводящие трубы с использованием Arduino и отображением в реальном времени)**

We created a device to study the motion of magnet falling through conducting tubes using Arduino and real-time display to better understand electromagnetic braking. This can be described by Faraday's and Lenz's laws. Velocities of 3 types of magnets in aluminum and copper tubes are similar but magnets move slower in copper pipe due to higher electrical conductivity of copper. The velocity increases suddenly at the beginning and finally reaches a constant terminal velocity. Good agreement between experiment and theory is found. Our device could be used as physics teaching materials.

Для изучения движения магнита, падающего через проводящие трубки, было создано устройство с использованием Arduino и прибора отображения данных в реальном времени. Устройство призвано лучше продемонстрировать электромагнитное торможение, которое может быть описано законами Фарадея и Ленца. Скорости 3-х типов магнитов в алюминиевых и медных трубках одинаковы, но в медных трубках магниты движутся медленнее из-за более высокой электропроводности меди.

Скорость внезапно увеличивается в начале и в конце достигает постоянной предельной скорости. Устройство может быть использовано в качестве учебного материала по физике.

Научный руководитель: Ph.D. in Physics Phuphachong T.

Место выполнения работы: Mahidol Wittayanusorn school

### **3. Борисов Н.М.**

Россия, Нижний Новгород, ШОИ ИПФ РАН, 9 класс

#### **Магнитная левитация при взаимодействии постоянных вращающихся магнитов с медной пластиной**

Транспорт на основе магнитной левитации, безусловно, является транспортом будущего. Однако конструкции, представленные в настоящее время на мировой арене, имеют ряд недостатков. В работе мы изучили альтернативную систему левитации. В результате собрана экспериментальная установка, проведён ряд экспериментов, на основе взаимодействия постоянных вращающихся магнитов с медной пластиной выявлены отдельные факторы возможной левитации.

Научный руководитель: Мишин А.В.

Место выполнения работы: ШОИ ИПФ РАН

### **4. Босов А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30», 10 класс

#### **Умный стеллаж**

Цель работы — создание системы, упрощающей и ускоряющей поиск на складах. Система состоит из двух взаимосвязанных частей: механической (устройство, работающее на 2-х шаговиках, способное доставить каретку с рабочим модулем к каждому из ящичков) и аналитической (непосредственно модуль, расположенный на каретке, анализирующий содержание ящичков и в нужный момент выдающий их пользователю).

Научный руководитель: Алдошкин А.И.

Место выполнения работы: ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30»

### **5. Бузова Д.Н.**

Россия, МО, Сергиев Посад, ГБОУ МО СП ФМЛ, 11 класс

#### **Исследования и применения влияния магнитного поля на систему «железо-медь-вода»**

Цель работы — исследование поведения железа и меди в различных условиях. Было рассмотрено влияние магнитного поля на химические процессы в водных растворах с участием железа. Подготовлены методики антикоррозионной защиты и формирования микрорельефов для устройств микроэлектроники и спинтроники; методики восстановления изношенных участков медных изделий непосредственно по месту их службы. В качестве модельных материалов использовались СтЗГсп ГОСТ 380-2005 и водный

раствор сернокислой меди (медный купорос  $\text{CuSO}_4$ ), модельной реакцией для изучения влияния магнитного поля было восстановление меди из медного купороса железом.

Научный руководитель: Классен Н.В.

Место выполнения работы: ГБОУ МО СП ФМЛ

## **6. Быкова В.А.**

Россия, Нижний Новгород, ШОИ ИПФ РАН, 11 класс

### **Лазерный фотоэлектрический поляриметр для исследований биомедицинских хиральных сред**

Поляриметр — прибор, позволяющий определить концентрацию хирального вещества в растворе по изменению положения плоскости поляризации линейно поляризованного света, проходящего сквозь кювету с раствором. Существуют промышленные поляриметры, однако они обладают рядом несовершенств, что сказывается на точности измерений. В работе проанализированы недостатки и создана новая, более совершенная, модель прибора. Метод, на котором основана его работа, — фотоэлектрическая регистрация света.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Новиков М.А.

Место выполнения работы: ШОИ ИПФ РАН

## **7. Воробьёв В.А., Сергеев В.А.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 9 класс

### **Перспективы развития экзоскелета**

В работе рассматривается, какие перспективные разработки в области экзоскелетостроения ведутся сейчас и какова необходимость и польза от их внедрения. Рассматривается конкретная отрасль медицинского экзоскелета и представлен свой прототип активного экзоскелета на локоть.

Научный руководитель: к.т.н. Юсупов А.А.

Место выполнения работы: VVA ExSkel incorporation

## **8. Воронов К.С.**

Россия, Нижний Новгород, МАОУ лицей № 38, 10 класс

### **Испытания смесей для реактивного двигателя**

В работе ставилась задача исследовать возможности создания эффективного ракетного топлива из доступных (бытовых) реагентов. Был исследован ряд смесей, преимущественно на основе селитры и сахарного песка. В ходе испытаний создавались макеты двигателей и измерялась их тяга. Для измерения тяги были сконструированы несколько различных

испытательных стендов. Также были сделаны попытки варьировать методы зажигания смеси (в том числе и дистанционно).

Научный руководитель: Балакин М.А.

Место выполнения работы: MAOY лицей № 38

### **9. Галиахметов А.Р., Габитов Д.Н.**

Россия, Казань, ГБОУ «Казанская школа-интернат № 4 для детей с ограниченными возможностями здоровья», 8, 9 класс

#### **Исследование теплопроводности древесных пород Республики Татарстан**

В ходе работы был апробирован метод измерения теплопроводности. С помощью установки, собранной из манометра и колбы, с теплоизолированными стенками, можно производить измерения теплопроводности плохих проводников тепла. Анализ экспериментальных данных показал, что монотонная зависимость теплопроводности от плотности дерева наблюдается при наложении градиента температур вдоль волокон. При наложении градиента температур поперёк волокон, подобной зависимости не прослеживается. Теплопроводность зависит от породы дерева. Наибольшей теплопроводностью обладают смолистые породы.

Научный руководитель: к.п.н. Рубанов Р.Г.

Место выполнения работы: ГБОУ «Казанская школа-интернат № 4 для детей с ограниченными возможностями здоровья»

### **10. Горбунова Д.В., Кириллов И.Е., Юрова Ю.С.**

Россия, МО, Фрязино, МОУ СОШ № 2, 11 класс

#### **СВЧ радиометрическая диагностика линий электропередач**

Одна из проблем при эксплуатации высоковольтных линий электропередач — формирование коронных разрядов на изоляторах вышек. Слабые коронные разряды на ранних стадиях развития дефектов можно обнаружить методом СВЧ-радиометрии. В работе применён двухполяризационный радиометр 5,4 ГГц. Экспериментально установлено, что изоляторы выделяются по параметрам излучения на фоне неба. Предложены диагностические характеристики этих отличий. Панорамная съёмка с малым шагом по углу позволяет локализовать область короны.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Ермаков Д.М.

Место выполнения работы: МОУ СОШ № 2

### **11. Грачев И.А.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 9 класс

#### **Несимметричность поворотов тел на воде с распределённым внутренним строением**

Вычисление момента инерции — подчас трудоёмкая задача, особенно если тело имеет сложную геометрическую форму (или сложное внутреннее

строение при простой геометрической форме оболочки). Поэтому вызывают интерес качественные предсказания (или несложные количественные выкладки), описывающие изменения в характерах поворота исследуемых объектов. Для решения данной проблемы были проведены эксперименты на собранной установке и даны качественный и количественный анализы результатов. Выявлена зависимость вращательного движения системы при различии в симметрии между оболочкой и внутренней частью экспериментальной установки.

Научный руководитель: Мишин А.В.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **12. Грузинов Н.Д.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 11 класс

### **Сравнительный анализ картины трещин в полупроводниковых плёнках на основе преобразования Фурье**

В плёнках нитрида алюминия (AlN) в процессе роста возникают деформации, проявляющиеся на поверхности плёнки в виде трещин. Для объективного анализа картины трещин были разработаны, применены и частично автоматизированы количественные методы, основанные на двумерном дискретном преобразовании Фурье, которое применялось к фотографиям трещин. Предлагаемые методы позволяют определить преобладающие направления распространения трещин и сравнивать частоту появления трещин в различных образцах.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Компан М.Е.

Место выполнения работы: ФТИ им. А.Ф. Иоффе

## **13. Денисенко А.В.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 11 класс

### **Моделирование распространения поверхностей разрыва в двумерном идеальном газе**

Цель работы — моделирование и изучение распространения поверхностей разрыва (ударных волн) в двумерном идеальном газе. Если изначально имеется сосуд, разделённый на две части перегородкой, в двух половинах которого находится газ с различными концентрациями/давлениями, то при резком исчезновении перегородки, поверхность разрыва (воображаемая поверхность, которая в начальный момент времени совпадает с положением исчезнувшей перегородки) начнёт распространяться в газе. Выполнено моделирование данного процесса с помощью самостоятельно разработанной компьютерной программы, а также исследованы свойства распространяющихся ударных волн.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Кривосенко Ю.С.

Место выполнения работы: НИУ ИТМО

#### **14. Дмитриева О.Ю.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 10 класс

##### **Разработка топологии болометра ТГц диапазона для исследований астроклимата**

В работе представлена разработка топологии тёплого болометра с целью модернизации прибора МИАП-2[6] для проведения исследования астроклимата в окнах прозрачности 1,3 и 0,87 мм. Для предварительного исследования работы болометра в широком диапазоне частот было предложено интегрировать его в широкополосную логопериодическую антенну. Такой подход позволил измерить характеристики болометра в различных полосах частот путём выбора источника сигнала и элементов измерительного тракта, при этом не меняя тестируемый образец. Проведено моделирование антенны в CST STUDIO SUITE.

Научный руководитель: Гунбина А.А.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

#### **15. Дмитриев В.Д.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 11 класс

##### **Измерение акустических импедансов объектов для применения в практике ультразвуковой диагностики**

Проектировщики ультразвуковой диагностической аппаратуры часто сталкиваются с необходимостью знать акустический импеданс объекта, который используется при разработке и конструировании ультразвуковых антенн и излучателей. В работе использована реакция электрического импеданса излучателя на изменение акустической нагрузки для измерения акустических импедансов. Определены волновые сопротивления использующихся при изготовлении излучателей (демпферов) таких сред, как полистирол и стекло, а также образцов компаундов на основе эпоксидного клея. Показана работоспособность методики.

Научный руководитель: Санин А.Г.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

#### **16. Драцкая А.И.**

Россия, МО, Королёв, МБОУ «Гимназия № 5», 6 класс

##### **Конструкция лёгкой трубы с перегородкой Штейнера для перекачки четырёх жидкостей или газов**

Ячейка Штейнера — это линия из пяти отрезков, которая самым коротким способом соединяет четыре вершины квадрата. Перегородка в круглой трубе в виде такой линии будет самой лёгкой. Для неё потребуется меньше всего материала. По сравнению с обычной перегородкой-крестиком новая конструкция легче на 3,5%. Для больших газопроводов типа «Северный поток» экономическая выгода на материале будет до 50 млрд. руб. Для авиации и космической техники такие трубы нужны, потому что они

самые лёгкие. Новая лёгкая труба позволяет перекачивать четыре жидкости или газа.

Научный руководитель: Скворцова А.А.

Место выполнения работы: МБОУ «Гимназия № 5»

### **17. Жлобич И.М., Бурунов Н.П.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова», 10, 8 класс

#### **Исследование физических параметров теплового амперметра**

В работе представлены результаты работы по проектированию и созданию действующих моделей тепловых амперметров, основанных на измерении температуры проводника при протекании по нему электрического тока. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование влияния существенных параметров (температуры) на показания (силы тока) теплового амперметра. Изучены принципы его работы.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Гелясин А.Е.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова»

### **18. Иванова М.С., Лебедько А.А.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алфёрова СПбАН РАН, 11 класс

#### **Создание гибридных перовскит-полимерных светодиодов различной архитектуры и исследование их характеристик**

Галлоидные свинцовые перовскиты — это новый полупроводниковый материал для создания высокоэффективных солнечных элементов, светодиодов и лазеров. Работа посвящена созданию лабораторных образцов перовскит-полимерных светодиодов различной архитектуры и исследованию их характеристик (спектров электролюминесценции и вольт-амперных характеристик).

Научные руководители: Аношкин С.С., Верхоглядов Г.А.

Место выполнения работы: НИУ ИТМО

### **19. Иванов Н.А.**

Россия, Нижний Новгород, МАОУ лицей № 38, 10 класс

#### **Прибор-измеритель скорости пули**

В ходе работы был создан прибор-измеритель скорости быстро движущихся предметов (пули страйкбольных и пневматических пистолетов, рогаток, арбалетов). Прибор может использоваться на уроках для демонстрации и в рамках НОУ как измерительный.

Научный руководитель: Балакин М.А.

Место выполнения работы: МАОУ лицей № 38

## **20. Казанцев Г.В.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 11 класс

### **Измерение упругих характеристик фантомов мягких биологических тканей с различной концентрацией желатина**

Важными диагностическими параметрами в медицине, связанными с ранним обнаружением различных новообразований, являются модули Юнга и сдвига мягких тканей. В работе проведены лабораторные измерения упругих характеристик (модули Юнга и сдвига) фантомов с различной концентрацией желатина статическим методом (вдавливание индентора) и динамическим методом (измерение скорости сдвиговой волны) и сопоставлены полученные результаты упругих характеристик фантомов с различной концентрацией желатина.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Демин И.Ю.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **21. Калмыков Д.А., Трухачев Е.Л.**

Россия, Москва, ОЧУ МГ Сколково, 11 класс

### **Зависимость глубины погружения стального шарика в сыпучую среду от высоты падения**

В работе экспериментально получена линейная зависимость глубины проникновения металлического шарика в сыпучую среду от высоты падения шарика. С помощью полученной зависимости рассчитана средняя сила сопротивления среды и соответствующее значение напряжения сопротивления при относительно низких скоростях падения шарика.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Горелик М.Л.

Место выполнения работы: ОЧУ МГ Сколково

## **22. Кириллова В.О., Кадырова А.С.**

Россия, Москва, Университетский Лицей № 1511, 11 класс

### **Портативный аэрозольный пробоотборник для мониторинга биологических угроз при помощи БПЛА**

Цель работы — создание эффективного аэрозольного пробоотборника для мониторинга биологических угроз при помощи БПЛА. Рассчитаны оптимальные параметры аэрозольного коллектора с последующим проектированием и изготовлением; разработана комплектация пробоотборника; проведены испытания работоспособности и показателей эффективности. Показано, что удельная эффективность сбора более чем в 2,5 раза выше, чем у настольной американской системы. Мобильность созданного пробоотборника открывает широкие перспективы его применения.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Котковский Г.Е.

Место выполнения работы: НИЯУ МИФИ

### **23. Кирюшин Д.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 494, 11 класс

#### **Двойной маятник**

В работе описан двойной маятник и переходы энергии, происходящие в процессе его колебаний. При этом экспериментально полученные данные сравниваются с данными, полученными теоретически.

Научный руководитель: Проскурин Г.Ю.

Место выполнения работы: ГБОУ школа № 494

### **24. Клинская Б.А.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 11 класс

#### **Стабилизация доменной границы градиентным магнитным полем в плёнках железо-иттриевых гранатов**

В настоящее время границы между магнитными доменами рассматриваются как естественные элементы, перспективные для создания наноустройств обработки информации. В ходе работы спроектирован и создан держатель образцов тонких магнитных плёнок для создания в них устойчивого двумерного состояния. Для держателя подобраны постоянные магниты, создающие неоднородное поле. Проведена оптимизация пространственного распределения магнитного поля. При этом положение границы между доменами визуализировалось методом магнитооптической микроскопии. Созданный держатель установлен в экспериментальной установке для изучения прохождения спиновых волн через доменную границу.

Научный руководитель: Хохлов Н.Е.

Место выполнения работы: ФТИ им. А.Ф. Иоффе

### **25. Клубаева Е.О., Казак М.А.**

Республика Беларусь, Могилёв, ГУО «Средняя школа № 35», 8 класс

#### **Неиспользованный потенциал воды**

В современном мире для промышленности и бытовых нужд людям необходимо большое количество энергии. В работе предложены способы, как можно использовать механическую энергию воды для выработки электрической энергии в бытовых условиях, то есть задействовать неиспользованный потенциал воды. Показано, как получать дешёвую электроэнергию, используя сточную воду, то есть воду, которая необходима для мойки посуды, стирки белья и смывания.

Научный руководитель: Харламова С.Д.

Место выполнения работы: ГУО «Средняя школа № 35»

## **26. Ковалева А.О., Варфоломеев С.В.**

Республика Беларусь, Могилёв, ГУО «Средняя школа № 35», 8, 9 класс

### **В чём «соль» электричества**

В работе предложены модели двух видов маломощных источников тока, работающих на солевом растворе. Проведены исследования и установлено, при каких условиях данные источника тока будут иметь максимальную мощность.

Научный руководитель: Володько Е.Н.

Место выполнения работы: ГУО «Средняя школа № 35»

## **27. Копьева А.О.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 11 класс

### **Исследование процесса падения капли дождя на воду**

Трансформация ветрового волнения во время дождя — малоизученный вопрос, в котором играют важную роль как эксперименты, подтверждающие уже имеющиеся данные, так и новые теоретические и экспериментальные исследования. Работа продолжает цикл работ, направленных на исследование процесса падения капли дождя с данной высоты в воду при помощи капельницы, выпускающей капли определённого диаметра, и двухструнного волнографа.

Научный руководитель: Рябкова М.С.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **28. Куращенко Л.В., Саржанов Т.Н.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 10 класс

### **Влияние давления паров этанола в газовом разряде на оптические свойства аморфных гидrogenизированных углеродных плёнок**

Углеродные (а-С:Н) плёнки широко используются в оптике и наносятся на различные инструменты ввиду их механических и оптических свойств. В ходе работы получение таких плёнок осуществлялось путём осаждения в газовом разряде из паров этанола при различном давлении. Исследовалась толщина, спектры пропускания, поглощения, преломления и оптическая щель плёнок на спектрофотометре и эллипсометре, на основании чего сделаны выводы о сфере их применения и влиянии давления на полезные свойства покрытий.

Научный руководитель: Чепкасов С.Ю.

Место выполнения работы: Новосибирский государственный университет

## **29. Латохин С.А., Бастрыгина А.С., Булгакова Е.А.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 11 класс

### **Эффективный ионизатор воздуха на основе автоэлектронной эмиссии. Создание и исследование**

В ходе работы создан и описан ионизатор воздуха «Лидер ФМШ-НГУ». Измерено пространственное распределение потока ионов от двух типов источников при различных величинах потенциалов на остриях при различных углах и при различных расстояниях от детектора. Установлено, что созданный источник по току ионов во много раз (до 10) превосходит промышленный ионизатор. Установлены режимы напряжений, при которых источник может испускать электроны для образования отрицательного кислорода, установлено напряжение коронного разряд, показано, что такой режим нежелателен для работы источника.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Золкин А.С.

Место выполнения работы: СУНЦ НГУ

## **30. Мадонова З.А., Ревенко А.К.**

Россия, МО, Фрязино, МОУ Гимназия г. Фрязино, 8 класс

### **Восемь доказательств анизотропии физических свойств офисной бумаги**

В ходе работы было проведено 8 экспериментов, которые иллюстрируют анизотропию физических свойств офисной бумаги. Двумя способами исследованы упругие характеристики бумаги и определены значения модуля Юнга для двух направлений. Предложено использовать сканер для визуализации деформаций бумаги. Степень анизотропии капиллярных свойств оценивалась по эксцентриситету эллипса растекания жидкостей. Наблюдалось различие частот собственных колебаний полосок бумаги разной пространственной ориентации.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Кармазин С.В.

Место выполнения работы: МОУ Гимназия г. Фрязино

## **31. Минеев С.М.**

Россия, Нижний Новгород, МАОУ лицей № 38, 9 класс

### **Тушение пламени при помощи звуковых волн**

Механические колебание упругой среды, в данном случае воздуха, воздействуют на объекты в самой среде, в том числе и пламя. Рассмотрена возможность эффективного тушения пламени при помощи создания вынужденных колебаний в воздухе, что является звуком. Апробирован вариант устройства в виде динамика с установленным на нём цилиндрическим рефлектором с плоской фронтальной поверхностью. В ходе работы было выявлено, что данный способ может за сравнительно небольшое время (в среднем 0.2 сек) приводить к деструктуризации пламени,

также было предложено улучшение конструкции, давшее выигрыш в эффективности и снизившее время тушения приблизительно до 0.17 сек.

Научный руководитель: Тукова Н.Б.

Место выполнения работы: МАОУ лицей № 38

### **32. Миролубов М.А.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАН РАН, 11 класс

#### **Взаимодействующие акустические резонаторы с перестраиваемой силой связи**

Работа посвящена исследованию акустических свойств одиночных и связанных резонаторов. В ходе работы разработан метод акустической спектроскопии, описаны теоретически и исследованы экспериментально акустические резонаторы Фабри-Перо цилиндрической формы. На примере пары взаимодействующих резонаторов продемонстрирован переход от режима слабой к режиму сильной акустической связи, наблюдающийся при перестройке геометрических параметров системы. В ходе исследований была установлена зависимость силы связи между резонаторами от величины усиления поля моды первого резонатора в точке крепления второго.

Научные руководители: к.ф.-м.н. Самусев А.К., к.ф.-м.н. Петров М.И.

Место выполнения работы: Физико-технический факультет, Университет ИТМО

### **33. Михалевич А.Р.**

Республика Беларусь, Минск, ГУО «Лицей БГУ», 10 класс

#### **Мультироторный летательный аппарат для тушения и обнаружения пожаров**

Лесные пожары крайне плохо влияют на качество воздуха и экосистему. Один из способов борьбы с пожарами — их постоянный поиск и тушение на ранних стадиях. В результате работы был разработан мультироторный летательный аппарат с полезной нагрузкой, способный в автономном режиме находить пожары. При поиске огня используются 3 метода: спектральный, обработка изображений с камеры и обработка данных с тепловизора.

Научный руководитель: Поживилко А.О.

Место выполнения работы: ГУО «Лицей БГУ»

### **34. Муравьёва Т.К.**

Россия, Нижний Новгород, МАОУ лицей № 38, 10 класс

#### **Экспериментальное исследование динамики падающих капель**

Многие системы в природе ведут себя «хаотично». Таково поведение молекул газа, Броуновское движение и т. п. Однако оказывается, что в этом «хаосе» можно найти порядок. В работе исследовалось «хаотичное» поведение капель воды, вытекающей из крана. Оказалось, что порядок есть, причём не только в самом процессе образования капель. Фазовые портреты

образования капель удивительным образом коррелируют с портретами, полученными при обработке кардиограмм пациентов клиник.

Научный руководитель: Балакин М.А.

Место выполнения работы: МАОУ лицей № 38

### **35. Нефёдов И.И.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова», 9 класс

#### **Исследование оптических свойств градиентных сред и их механических аналогов**

Нами были исследованы оптические свойства градиентных сред и их механические аналоги. В ходе исследования были впервые предложены и изучены механические аналоги оптических сред с отрицательным показателем преломления. Предполагается, что принцип Ферма проявляется во всех природных (физических, химических, биологических) явлениях и общественных процессах, поскольку оптико-механические аналогии основаны на соответствии принципа Ферма и принципа минимума энергии.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Гелясин А.Е.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова»

### **36. Никонов М.О., Чекаль М.В.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАН РАН, 11 класс

#### **Анализ пространственного распределения галактик вдоль луча зрения в каталоге COSMOS 2015**

В ходе работы выполнен первичный анализ радиальных флуктуаций числа галактик в пространстве фотометрических красных смещений для каталога COSMOS 2015. Вычислены гистограммы числа галактик в бинах красного смещения, по которым построены эмпирические и теоретическая аппроксимации однородного распределения с помощью МНК и произведён сравнительный анализ с предсказаниями  $\Lambda$ CDM и других моделей.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Широков С.И.

Место выполнения работы: СПбФ САО РАН

### **37. Петрикевич А.М., Бердинова А.А.**

Россия, Москва, Университетский Лицей № 1511, 11 класс

#### **Разработка термостабилизирующего устройства, позволяющего проводить испытания на радиационную стойкость моп-интегральных микросхем при повышенной температуре**

В ходе работы была проведена разработка и сборка термостабилизирующего устройства для радиационных испытаний интегральных микросхем при повышенной температуре в вертикальном канале шахты хранилища реактора ИРТ НИЯУ МИФИ. Была разработана конструкция устройства

и электрическая схема управления температурой внутри объёма. Затем были проведены испытания МОП транзисторов с  $n$  и  $p$  каналом при повышенной температуре в течение  $t=48$  часов. Исследования проводились при подаче электрического режима в диапазоне температур от  $25^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ .

Научный руководитель: д.т.н. Попов В.Д.

Место выполнения работы: НИЯУ МИФИ

### **38. Попруга Д.О.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1467, 10 класс

#### **Влияние компонентов асфальта на содержание тяжёлых металлов в почве**

В результате работы было определено валовое содержание и подвижные формы тяжёлых металлов после пролива нормы осадков за один месяц. Было проведено сравнение с нормативами ПДК (ОДК), рассчитаны превышения над фоном и проведена оценка загрязнения почвогрунта. Установлено, что асфальт с ОСВ пригоден для использования.

Научный руководитель: Тимофеева Е.А.

Место выполнения работы: МГУ имени М.В. Ломоносова

### **39. Потапова И.Ю.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 10 класс

#### **Деполаризация света в оптических волокнах**

Экспериментально исследовано явление деполаризации света в многомодовом оптическом волокне. Результаты работы могут быть использованы в разработке волоконно-оптических датчиков, использующих многомодовые волокна.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Иванов В.В.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

### **40. Решетникова К.А.**

Россия, МО, Сергиев Посад, МБОУ «Лицей № 24», 9 класс

#### **Расчёт устойчивости зеркала под действием потока излучения**

В работе исследованы некоторые вопросы устойчивости плоского зеркала V-образной формы при воздействии на него монохроматического потока излучения постоянной интенсивности. Показано, что плоское V-образное зеркало под воздействием потока параллельных лучей постоянной интенсивности неустойчиво по отношению к малым возмущениям. Численно решена задача о вращении одного «лепестка» зеркала и о вращении плоского V-образного зеркала с углом раствора  $2\alpha$ .

Научный руководитель: Морозов Д.В.

Место выполнения работы: МБОУ «Лицей № 24»

#### **41. Розова С.Е., Зархидзе С.Д.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ лицей № 533, 9 класс

##### **Исследование не вполне упругого удара шара о поверхность**

В ходе работы экспериментально исследована зависимость коэффициента восстановления скорости шара при его нормальном ударе о плоскую горизонтальную поверхность от скорости налета. Учтено влияние силы сопротивления воздуха на скорость падения. Показано, что с ростом скорости падения коэффициент восстановления слабо уменьшается, причём скорость спадания зависит от материала и структуры падающего шара.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Шейнман И.Л.

Место выполнения работы: ГБОУ лицей № 533

#### **42. Семёнов И.А.**

Россия, МО, Долгопрудный, АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы, 8 класс

##### **Новый лабораторный комплекс для ранней диагностики сердечных патологий**

В работе были разработаны морфологически- и анатомическиподобные модели миокарда на основе топологии Мёбиуса. Проведено исследование магнитофизических свойств миокарда с применением образцов анатомическиподобных моделей миокарда человека, соответствующих состоянию «норма». Выявлено, что мощность магнитного поля модели зависит от расстояния между датчиком и моделью. Предложены конструкции двух моделей миокарда, соответствующих патологиям «гипертрофия» и «дилатаций». На основе предложенных конструкций изготовлены соответствующие модели. Исследованы сигналы, получаемые с построенных моделей «патологий», проведён анализ зубцов, характерных для кардиоцикла.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Арутюнов Ю.А.

Место выполнения работы: АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы

#### **43. Сластенко Е.К., Павлова В.Д.**

Россия, Воронеж, МБОУ гимназия им. академика Н.Г. Басова, 8 класс

##### **Оценка качества различных марок шампуней, реализуемых в супермаркетах**

Объектами исследования явились пять брендов шампуней (Pantene, Schauma, TRESemme, Syoss и L'Oreal Elseve), приобретённых в супермаркетах г. Воронеж. Выбранные шампуни оценены по показателям: внешний вид, цвет, запах, водородный показатель (рН), пенообразующая способность и стабильность пены, процентное содержание сухого остатка, степень диспергирования грязи, а также поверхностное натяжение и смачивающая способность.

Научный руководитель: Стефаненко Т.В.

Место выполнения работы: МБОУ гимназия им. академика Н.Г. Басова

#### **44. Смирный А.В.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 11 класс

#### **Исследование влияния вязкости и полярности раствора на времена анизотропной безызлучательной релаксации молекул NADH**

В ходе работы разработан новый метод по схеме «накачка-зондирование» для исследования процессов анизотропной релаксации и переноса энергии в возбужденных состояниях многоатомных молекулах при их возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами. Метод был применён для исследования процессов вращательной диффузии молекул NADH с временным разрешением около 0.6 ps. Впервые удалось зарегистрировать поглощение из возбужденного состояния биологических молекул при накачке лазерными импульсами с энергией менее 1 nJ.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Васютинский О.С.

Место выполнения работы: ФТИ им. А.Ф. Иоффе

#### **45. Стрюков Д.М.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 9 класс

#### **Изучение влияния температуры цилиндров на силу эффекта Магнуса**

Работа посвящена изучению влияния температуры воздуха и самого цилиндра на эффект Магнуса. Созданы два прибора: подвешенный цилиндр в аэротрубе и машинка с вращающимся цилиндром,двигающаяся за счёт эффекта Магнуса. Выяснено, что чем выше температура, тем слабее будет эффект Магнуса. Для кораблей, использующих эффект Магнуса, рекомендуется красить цилиндры в белый цвет или делать их светоотражающими для уменьшения температуры.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Чернов В.В.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

#### **46. Тютин Е.В.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 11 класс

#### **Формирование сильноточечных винтовых электронных пучков**

В ходе работы создана программа для моделирования движения электрона. С помощью программы были оценены максимальные значения отношения поперечной скорости к продольной (питч-фактора) электронного пучка, сформированного в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией с последующей раскачкой в поле короткой катушки (кикера). Полученные значения достаточны для реализации эффективного взаимодействия в сильноточечных релятивистских гиротронах миллиметрового диапазона длин волн.

Научный руководитель: Леонтьев А.Н.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

#### **47. Чернов А.Ю.**

Россия, Нижний Новгород, МАОУ лицей № 38, 10 класс

##### **Термоакустический холодильник**

В работе был исследован термоакустический эффект и создана действующая модель термоакустического холодильника. Для создания модели потребовались простейшие средства: пластиковые водопроводные трубы, компрессор для аквариумов, термодатчик на базе Ардуино. Удалось достичь холодильного эффекта (разность температур достигла нескольких градусов).

Научный руководитель: Балакин М.А.

Место выполнения работы: МАОУ лицей № 38

#### **48. Чеченева А.Д.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ гимназия № 73 «Ломоносовская гимназия», 10 класс

##### **Клеточная lift-off литография**

В работе исследовалась разрешающая способность клеточной lift-off литографии на основе PDMS-масок — современной технологии формирования заданного расположения клеток на искусственных поверхностях. Обнаружено, что данная методика позволяет создавать структуры из живых клеток с разрешением ~250 мкм, что, как показал биофизический эксперимент, оказывается достаточно для её приложений в биосенсорике.

Научный руководитель: Ступин Д.Д.

Место выполнения работы: Академический университет имени Ж.И. Алфёрова

#### **49. Шагалова А.А.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 9 класс

##### **Измерение вязкости микродоз жидкости с помощью кварцевого резонатора**

В ходе работы теоретически и экспериментально исследована возможность измерения вязкости микродоз (20 мкл) жидкости с помощью измерения электрической проводимости кварцевого резонатора. Рассмотрены, опробованы и проанализированы несколько вариантов обработки результатов измерений. Оценена точность каждого метода. Обсуждены выявленные недостатки конструкции крепления резонатора, которая была использована в экспериментах, и предложены способы их устранения.

Научный руководитель: Санин А.Г.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **50. Шагалов Н.А.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 10 класс

### **Моделирование магнитных систем гирорезонансных приборов**

Работа посвящена вопросам разработки непрерывных и импульсных магнитных систем гирорезонансных приборов. Созданы программные средства синтеза магнитных систем, состоящих из набора соленоидов. Проведены экспериментальные исследования магнитной системы непрерывного технологического гиротрона. Исследуются аспекты создания импульсных магнитных систем мощных гиротронов терагерцового диапазона частот.

Научный руководитель: к.т.н. Цветков А.И.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **51. Шевченко К.А.**

Россия, Нижний Новгород, МАОУ лицей № 38, 9 класс

### **Исследование скорости теплоотдачи солевой грелки**

Солевая грелка — источник тепла, основанный на экзотермической реакции кристаллизации тригидрата ацетата натрия. Было проведено исследование скорости теплоотдачи, изготовлен перенасыщенный раствор ацетата натрия, рассчитана плотность вещества, скорость кристаллизации перенасыщенного раствора, коэффициент теплоотдачи, количество теплоты, выделяющееся при экзотермической реакции и энергия Гиббса, а также предложены варианты использования солевых грелок и трёхводного ацетата натрия.

Научный руководитель: Тукова Н.Б.

Место выполнения работы: МАОУ лицей № 38

## **52. Шишканова Ю.С.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 8 класс

### **Исследование способов уменьшения влажности**

Влажность является постоянным компонентом атмосферного воздуха и оказывает большое влияние на физические, технологические и биологические процессы. Уменьшение влажности позволяет снизить износ оборудования и сделать его работу более стабильной. Цель работы — исследование возможных способов регулировки влажности, а также её зависимость от внешних и внутренних параметров. Для проведения эксперимента были выбраны древесный уголь и гидрогель как поглотители влаги.

Научный руководитель: Зарубин Т.И.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

### **53. Шубняков И.С.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 9 класс

#### **Подбор оптимального режима напыления сверхпроводящих плёнок**

Работа посвящена созданию сверхпроводящих плёнок. Цель работы — подобрать оптимальный режим напыления таких плёнок. Полученную технологию можно использовать для нанесения сверхпроводящих экранирующих покрытий для работы с устройствами, требующими высокоточных измерений и чувствительными к электромагнитным наводкам. Также сверхпроводящие сверхпроводниковые плёнки нужны для создания кинетической индуктивности в приёмных системах на болометрах на холодных электронах.

Научный руководитель: Благодаткин А.В.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

### **54. Щербинин Ф.С.**

Россия, МО, Сергиев Посад, ГБОУ МО СП ФМЛ, 10 класс

#### **Исследования по формированию из паутины микроволокон с заданными свойствами**

Паутина является по-настоящему удивительным материалом из-за свойств волокон. Интересны перспективы практического применения волокон паутины как в различных композиционных материалах, так в различных электронных устройствах. В ходе работы изучалось взаимодействие волокон паутины с различными растворителями (вода, этиловый спирт), легирующими веществами (сернокислая медь). Обнаружена серия новых экспериментальных фактов, которые дают основания для разработки перспективного применения волокон паутины в технике.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Классен Н.В.

Место выполнения работы: ГБОУ МО СП ФМЛ

### **55. Яковлева Т.Д.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 9 класс

#### **Самодельная электрогитара как стенд для физических экспериментов**

В 2017–2019 годах выпускниками Лицея ФТШ были выполнены практические работы по физике, связанные с преобразованием и обработкой звука электромусыкальных инструментов, в частности электрогитар. Для дальнейшего изучения результатов этих работ в условиях лаборатории требовалось разработать физический прибор, позволяющий генерировать электронные колебания. Представляем физический стенд в виде самодельной электрогитары.

Научный руководитель: Горковенко Р.С.

Место выполнения работы: Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН

## **56. Якубовский Я.А.**

Республика Беларусь, Минская обл., Жодино, ГУО «Гимназия № 1», 11 класс

### **Определение структуры объекта по дифракционной картине**

Для определения структуры объекта необходимо осветить сам объект и получить на экране дифракционную картину. В ходе работы определялась структура исследуемого объекта по отдельным параметрам. Использование дифракционной картины в оптическом диапазоне на примере пера птиц позволяет рассчитать характеристики структуры объекта в диапазоне приблизительно от 10 до 500 мкм без использования высокоточных оптических измерительных приборов.

Научный руководитель: Якубовская Э.Н.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 1»

## **57. Якубовский Я.А.**

Республика Беларусь, Минская обл., Жодино, ГУО «Гимназия № 1», 11 класс

### **Изучение скользящего разряда по поверхности жидкости**

Большой интерес вызывают разряды, в которых в качестве электродов используется жидкость. С помощью этих разрядов можно воздействовать на состояние электродной жидкости, вызывая в ней различные физико-химические процессы. В ходе работы была создана установка для получения поверхностного разряда в жидкости. Установлены факторы, которые оказывают наибольшее влияние на получение поверхностного разряда. Определены возможности использования разряда для очистки воды от нефтепродуктов.

Научный руководитель: Якубовская Э.Н.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 1»

# XXX САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

## Секция МАТЕМАТИКИ

### Жюри секции

Омельченко Александр Владимирович, д.ф.-м.н., НИУ ВШЭ  
Храбров Александр Игоревич, к.ф.-м.н., доцент СПбГУ и СПбАУ РАН  
Петров Фёдор Владимирович, к.ф.-м.н., доцент СПбАУ РАН, с.н.с. ПОМИ  
Горячко Евгений Евгеньевич, к.ф.-м.н., СПбАУ РАН

### Итоги секции

<http://www.school.ioffe.ru/readings/2020/results.html#math>

<https://www.youtube.com/watch?v=oVL6oKg0JOA>

### ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

#### НОВЫЙ ПОДХОД К СЛОЖНОСТИ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

Мордосевич А.В.

*СУНЦ МГУ имени Колмогорова, Москва, Россия*  
*mordosevich1@gmail.com*

Сложность числа — минимальное количество 1, требуемое для получения целого [натурального] числа  $n$ , используя операции умножения, сложения и скобки. Было проведено несколько исследований по функции сложности целого [натурального] числа, в том числе были даны некоторые оценки, получены результаты для некоторого количества чисел и прочее. Мы предлагаем новое, не эквивалентное старому, определение функции сложности — пусть сложность числа будет минимальное число шагов, требуемое для получения числа  $n$ , где на каждом шаге мы получаем сумму или произведение двух предыдущих полученных чисел, каждое из которых может быть единицей. Нашей целью стало исследование данной функции, её локальных минимумов и максимумов, получения монотонных оценок и нахождение какой-либо связи с функцией сложности по старому определению.

Методы. Мы получали свойство функции сложности, а с помощью них формулировали леммы, которые открыли путь к теоремам и оценкам функции.

Результаты. Мы нашли множество частично полезных свойств сложности по новому определению, доказали существование и определили асимптотику монотонной верхней и нижней оценок; кроме того, была выдвинута гипотеза, но доказать её пока не удалось.

Обсуждение. Пока мы не нашли явной зависимости или связи между старым определением сложности и новым. Однако существует множество неизученных аспектов в том определении, что у нас есть: к примеру, не монотонные оценки; новые свойства или доказательства уже выдвинутых гипотез. Можно, например, определить функцию сложности ещё иначе, убрав из нового определения умножение или расширив её определение до поля комплексных чисел.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**

**THE ALTERNATIVE SOLUTIONS OF COMPLEX LIGHTS OUT  
PUZZLES**

Rattanakarm S., Yoosiri B., Pukdee J., Amornvatcharapong A.  
*Mahidol Wittayanusorn School, Nakhon Pathom, Thailand*  
*sitchai0645@gmail.com*

The Alternative Solutions of Complex Lights Out Puzzles project has the purpose to develop the classic Lights Out Puzzle research. Lights Out Puzzle is a light-off-bulb puzzle which the aim of the game is to turn off all the bulbs. The Lights Out Puzzle Research is about the answer of  $3 \times 3$  square table with 2 states: On (1) and Off (0). The game will start with square table. In each grid of the table is a light bulb with on or off state. Players are able to change the status of each light bulb by pressing on it with the conditions that the pressed light bulb and the light bulb that shares the common side with the pressed light bulb will be changed as well. Hence, the game will end when all light bulbs are on off states. This makes it a form of project that leads to any  $a \times b$  grid layout with any states on any surface, whereas both the pressed light bulb and the corresponding light bulbs will be changed. The objective is to generalize the Lights Out Puzzle Research and find out how to find the answer with the shortest step. In this regard, we started by using the information from the research helping for summarizing the relationships and the definition of the knowledge needed in this project. Then, we used mathematical knowledge to prove the theorem and to find the necessary answers for this project. After that, we used that information and the observation skills to separate the cases. We also coded the program to examine our answer-finding methods for the confirmation that these methods are practical, for the facilitation of the experiment, and for the understanding of the people who interested in this project.

Next is the summarized procedure of the project. At first, we will only consider the square table with  $m$  states. Since we can find the answer of the initial table (the table we want to find answer) if and only if we can find the way to press the all-off-light-bulb table to that table. In an  $n \times n$  table, we called each grid of the table as the  $i$ -th-box where  $i$  is the place number of the grid on the table.

$$C_i = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_{n^2} \end{bmatrix}$$

We define as the  $n^2 \times 1$  matrix that  $a_i$  is the state of  $i$ -th-box when we only press the all-off-light-bulb table at the  $i$ -th-box. Therefore, we get

$$\sum_{i=1}^{n^2} x_i c_i = Y$$

where  $x_i$  is the number of times we press on the  $i$ -th-box and  $Y$  is the initial table. Then, we can transform this equation by using linear algebra

into 
$$\sum_{i=1}^{n^2} x_i c_i = A_n X = Y$$

where  $A_n$  is the  $n^2 \times n^2$  matrix that has all of themembers

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_{n^2} \end{bmatrix}$$

in the  $i$ -th-column as the member of  $C_i$  and where  $x_i$  is the number of times we press on the  $i$ -th-box and  $i \in \{1, 2, 3, \dots, n^2\}$ . As the table has  $m$  states that is to say the states can be only  $0, 1, \dots, m-1$ , we will get  $A_n X \equiv Y \pmod{m}$ . From the equation,  $X$  is the way to press from  $[0 \rightarrow Y]$  where  $0$  is all-off-light-bulb table and  $Y$  is the initial table. So,  $-X$  will be the answer that is the way to press from  $[Y \rightarrow 0]$ . Because there are some tables we can't find the answer or the way to press from  $[Y \rightarrow 0]$ , we will find the way to press from  $[Y \rightarrow D]$  where  $D$  is the  $d$ -state-table which all light bulbs are on  $d$  state,  $d \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$ , and  $m$  is the state of the initial table. Generally, the answers will be finite or infinite. As we consider in modulo  $m$ , the answers should be finite. By calculating, the number of  $n \times n$  table with  $m$  states that can find the answer is

$$\frac{m^{n^2}}{q} \quad \text{and the number of the table that can't find the answer is } \left( \frac{q-1}{q} \right) m^{n^2}$$

where  $q$  is the number of the answers.

Lemma  $q$  is constant in an  $n \times n$  table with  $m$  states.

Pf. Let  $X = \{x_0, x_1, x_2, \dots, x_k\}$  is the set of all ways to press from  $[0 \rightarrow 0]$  for some integers  $k \geq 0$ , let  $a$  be the way to press from  $[0 \rightarrow A]$  for some table  $A$ . We will get the set  $X_A = \{a+x_0, a+x_1, a+x_2, \dots, a+x_k\}$  where each of the members is the way to press from  $[0 \rightarrow A]$ . Suppose that, there is  $b$  which is the way to press from  $[0 \rightarrow A]$  and  $b \notin X_A$ . Hence, we get  $b+(m-1)a$  being the way to press from  $[0 \rightarrow 0]$ . Thus,  $b+(m-1)a+a \in X_A$ . Since  $b+(m-1)a+a \equiv b+ma \equiv b \pmod{m}$ , so  $b \in X_A$  a contradiction. Therefore,  $q$  is constant in an  $n \times n$  table with  $m$  states.

In the next step, we will consider the table that can find the answer. From  $A_n X \equiv Y \pmod{m}$  and the matrix  $A_n$  and  $Y$  that we know their value, we will consider  $[A_n | Y]$  that is in the augmented matrix form. Thus, we can find  $X$

by multiplying  $A_n^{-1}$ . We will get  $[I | X]$ . The members of  $X$  could be the fraction

$$A_n^{-1} = \frac{adj(A_n)}{det(A_n)}$$

that we did not define because  $det(A_n)=0$ . So, from  $[A_n | Y]$  will we reduce  $A_n \rightarrow \Delta$  where  $\Delta$  is the row echelon form. Therefrom, we will change  $\Delta$  to the identity matrix ( $I$ ) by using the lemma. After we reduce  $A_n \rightarrow \Delta$ , we will get  $[\Delta | Z]$  while  $Z_i$  will be the value of the  $i$ -th-roll of  $Z$ .

Lemma. For  $P = \{k | k \in I^+ \quad u \quad k | p\} \quad \exists p \in I$ , then  $\forall k \in P \quad \forall m \in I^+$  where  $(m, k) = 1 \quad \exists w \in I$  such that  $kw \equiv 1 \pmod{m}$ .

Pf. Let  $m, p$  be a positive integer that  $det(A_n) = p$  and  $P = \{k | k \in I^+ \quad u \quad k | p\}$ . From Bezout's identity we know that  $\forall k \in P$  where  $(m, k) = 1 \quad \exists w, z \in I$ , that  $kw + zm = I$ . Therefore,  $kw \equiv 1 \pmod{m}$ . We call  $w$  as a multiplication inverse of  $k$  modulo  $m$ .

Due to the reducing from  $A_n \rightarrow \Delta$ , we know that the product of the value that is on diagonal line of  $\Delta$  is equal to  $det(A_n)$ . From the lemma, we could find  $w$  which  $kw \equiv 1 \pmod{m}$  for every  $k$  that lie on the diagonal line of  $\Delta$  while  $(m, k) = 1$ . Thus, we can convert  $A_n \rightarrow \Delta \rightarrow I$  and we will get  $[I | X]$ . For this reason, we can always find the answer of the initial table when  $gcd(m, det(A_n)) = 1$  where  $m$  is the state of initial table and  $det(A_n) \neq 0$ .

From the above, it is only one case that the initial table has the answer. We know that there are some tables that we can't find the  $A_n^{-1}$  or when  $det(A_n) = 0$ . Allowing us to divide the cases for the consideration as follows:

1.  $det(A_n) \neq 0$ 
  - 1.1  $det(A_n) \neq 0$  and  $gcd(m, det(A_n)) = 1$
  - 1.2  $det(A_n) \neq 0$  and  $gcd(m, det(A_n)) \neq 1$
2.  $det(A_n) = 0$

For all cases, we will consider in an  $n \times n$  table with  $m$  states starting from  $[\Delta | Z]$  while  $Z_i$  will be the value of the  $i$ -th-roll of  $Z$  and we call the value of the number that lie on the diagonal of  $\Delta$  on  $i$ -th-roll as  $k_i$ .

Case 1.1  $det(A_n) \neq 0$  and  $gcd(m, det(A_n)) = 1$

We have already finished case 2.1 from the above.

Case 1.2  $det(A_n) \neq 0$  and  $gcd(m, det(A_n)) \neq 1$

When we reduce  $A_n \rightarrow \Delta$ , we can interpret that there are at least one  $i$  such that  $gcd(m, det(A_n)) \neq 1$ . So, we can't find the multiplication inverse of  $k_i$  modulo  $m$ .

Hence, we divide into 2 cases namely:

1.  $m \mid k$  This case is similar to Case  $\det(A_n) = 0$ , so we will talk later.

2.  $m \nmid k$  We can divide this case into 2 sub-cases that is:

2.1  $k_i \mid z_i$  For this case we can do the similar things to the Case 2.1  $\det(A_n) \neq 0$  and  $\gcd(m, \det(A_n)) = 1$ , then we can find the answer easily.

2.2  $k_i \nmid z_i$  This case show that we can't find the answer of the initial table. So, we will change the initial table to be the d-state table while  $d \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$  and  $m$  is the state of initial table. At first, we suppose  $Z_i \equiv T \pmod{m}$ .  $\exists T \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$ . Assume that, we can change the initial table to the d-state table. So, we will get new  $Z_i$  such  $Z_i \equiv 0 \pmod{m}$  and we will get the relationship between  $T$  and  $d$  that is  $T \equiv xd \pmod{m}$  for some integer  $X$ . We can summarize as in the picture.

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| $a_1 - d$ | $a_2 - d$ | $a_3 - d$ |
| $a_4 - d$ | $a_5 - d$ | $a_6 - d$ |
| $a_7 - d$ | $a_8 - d$ | $a_9 - d$ |

**C**

|   |   |   |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

Therefore

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
| $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ |
| $a_7$ | $a_8$ | $a_9$ |

**C**

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| $d$ | $d$ | $d$ |
| $d$ | $d$ | $d$ |
| $d$ | $d$ | $d$ |

And we will find the answer (C), if there is one.

Case 2  $\det(A_n) = 0$  When we reduce  $A_n \rightarrow \Delta$ , we can interpret that there are at least one  $i$  such that  $k_i = 0$ . For the other  $k_j, j \neq i$ , we have 2 cases that are  $k_j \mid z_j$  and  $k_j \nmid z_j$ . So, we do the same things as the above. Since we have some  $i$  that  $k_i = 0$ , the number of the equations less than the number of the variables. Thus, we have the free variable. For this reason, we will have many answers and the number of the answers is  $m^j$  while  $m$  is the state of the initial table and  $j$  is the number of free variables. After that, we will divide to 2 cases as follows:

1.  $z_i \equiv 0 \pmod{m}$  Therefore,  $Z_i$  makes the equation true and we can find the answer by considering the other  $k_j, j \neq i$  the same way as the above.

2.  $z_i \not\equiv 0 \pmod{m}$  Therefore,  $Z_i$  is not accordance with the equation. Then, we change the initial table to be the d-state table while  $d \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$  as the above.

All of these are methods of finding the answer in any square tables and any states while the purpose of this project is to find the answer in any  $a \times b$  grid layout with any states on any surface whereas both the pressed light bulb and the corresponding light bulbs will be changed. Actually, we use the same method to find the answer. We only have to change  $A_n$  because it is defined in a relation with pressing and the size of table. So, the pressing that effect the light bulbs in other ways will change  $A_n$  and the size of the table will change the size of  $A_n$  too. The developers have already coded the program to testify the methods and this program can also find the answers. This knowledge can use in daily life for example: 1) watering the plants since in the present-day people install sprinkler regardless as the unequal volume of each plant needs. So, we convert the garden to table and replace the units of water that the plants need in each box of the table. After that, we use the knowledge from this project to install the sprinkler. So, the plants will get the volume of water and the actually need. It helps us to save money and save water. 2) Detecting sensors as nowadays there are some sensors that have a high chance of error which is harmful and ineffective. Hence, we will help to increase the efficiency by converting the room to the table, setting the area that can be detected by one sensor. Then, we will use the knowledge from this project to install the sensor which each area can be detected by 3 sensors and let the sensors vote if that area has people or not. We hope that this knowledge could help inventing something new and benefit the world.

[1]Eisele, R. (2018). LightsOut Solution using Linear Algebra. Retrieved from <https://www.xarg.org/2018/07/lightsout-solution-using-linear-algebra/>

[2]Weisstein, E. W. (n.d.-a). Lights Out Puzzle. *MathWorld*. Retrieved from <http://mathworld.wolfram.com/LightsOutPuzzle.html>

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СЛОЖНОГО ПАЗЛА**  
**LIGHTS OUT**

Раттанакарм С., Йоосири Б., Пудки Дж., Аморнватчарапонг А.  
*Школа Махидол Виттаянусорн, Након Патом, Таиланд*  
*sitchai0645@gmail.com*

Проект «Альтернативные решения сложного пазла Lights Out» нацелен на развитие классического исследования пазла Lights Out. Пазл Lights Out — это пазл из лампочек, цель игры — погасить все лампочки. Исследование пазла Lights Out заключается в поиске решения для квадратной таблицы  $3 \times 3$  с двумя состояниями: включено (1) и выключено (0). Игра начинается с квадратной таблицы, в ячейках которой находятся лампочки во включённом или выключенном состоянии. Игроки могут менять состояние каждой лампочки, нажимая на неё, однако при нажатии меняется состояние как нажатой лампочки, так и лампочек в соседних ячейках, имеющих общую сторону с нажатой. Игра заканчивается, когда все лампочки выключены. Отталкиваясь от этих результатов, мы можем обобщить задачу до произвольной таблицы  $a \times b$  с любыми состояниями на любой поверхности, где и нажатая лампочка, и соответствующие ей соседние лампочки меняют состояние. Целью является обобщение пазла Lights Out и нахождение решения за наименьшее число шагов. В свете этого мы начали свою работу с изучения имевшихся данных о соотношениях объектов в задаче, используя информацию предыдущих исследований и определения того, какие знания необходимы для этого проекта. Затем, основываясь на нашем знании математики, мы доказали теорему и нашли необходимые решения для этого проекта. Далее с помощью этой информации и наших наблюдений мы выделили различные случаи. Кроме того, мы написали программу, проверяющую наши методы поиска решения и подтверждающую работоспособность выработанных методов. Программа предназначена для простоты проведения экспериментов и для лучшего понимания задачи интересующимися людьми.

Ниже кратко представлена схема проекта. Сначала мы рассматривали только квадратные таблицы с  $m$ -состояниями. Мы можем найти решение для некоторой начальной таблицы тогда и только тогда, когда мы можем найти способ с помощью серии нажатий превратить полностью выключенную таблицу обратно в начальную. Для этого мы обозначили каждую ячейку таблицы  $n \times n$  как  $i$ -ящик, где  $i$  — номер ячейки в таблице.

$$c_i = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_{n^2} \end{bmatrix}$$

Мы определили как матрицу размером  $n^2 \times 1$ , в которой  $a_i$  — состояние  $i$ -ящика, когда мы нажимаем на  $i$ -ящик полностью выключенной

таблицы. Следовательно, мы получаем уравнение  $\sum_{i=1}^{n^2} x_i c_i = Y$ , где  $x_i$  — количество нажатий на  $i$ -ящик, а  $Y$  — начальная таблица. Мы можем преобразовать это уравнение с помощью линейной алгебры:

$\sum_{i=1}^{n^2} x_i c_i = A_n X = Y$ , где  $A_n$  — матрица  $n^2 \times n^2$ ,  $i$ -столбцом которой является  $C_i$ , где  $x_i$  — количество нажатий на  $i$ -ящик, а  $i \in \{1, 2, 3, \dots, n^2\}$ . Поскольку ячейки таблицы могут находиться в одном из  $m$ -состояний  $(0, 1, \dots, m-1)$ , мы получаем уравнение  $A_n X \equiv Y \pmod{m}$ . Как следует из уравнения,  $X$  — это набор нажатий, которые переводят полностью выключенную таблицу  $(0)$  в начальную таблицу  $(Y)$ :  $[0 \rightarrow Y]$ .

Таким образом,  $-X$  является решением, т.к. это серия нажатий для получения  $[Y \rightarrow 0]$ . Поскольку существуют таблицы, в которых мы не можем найти решение  $[Y \rightarrow 0]$ , мы найдём решение  $[Y \rightarrow D]$ , где  $D$  — таблица, в которой все лампочки находятся в состоянии  $d \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$ , а  $m$  — состояние начальной таблицы. Вообще говоря, решения могут быть либо конечными, либо бесконечными. Однако, поскольку мы рассматриваем задачу по модулю  $m$ , решения обязаны быть конечными. Прделав некоторые вычисления, мы обнаружили, что количество таблиц  $n \times n$  с  $m$ -состояниями,

для которых можно найти решение, равно  $\frac{m^{n^2}}{q}$ , а количество таблиц, для которых нельзя найти решение, равно  $\left(\frac{q-1}{q}\right) m^{n^2}$ , где  $q$  — количество решений.

Лемма.  $q$  постоянно в таблице  $n \times n$  с  $m$ -состояний.

Доказательство. Пусть  $X = \{x_0, x_1, x_2, \dots, x_k\}$  — это набор всех серий нажатий для получения  $[0 \rightarrow 0]$  для некоторых целых  $k \geq 0$ , пусть  $a$  — это серия нажатий для получения  $[0 \rightarrow A]$  для некоторой таблицы  $A$ . Мы получим последовательность  $X_A = \{a+x_0, a+x_1, a+x_2, \dots, a+x_k\}$ , где каждый элемент —

это серия нажатий для получения  $[0 \rightarrow A]$ . Предположим, что существует  $b$ , которое является серией нажатий для получения  $[0 \rightarrow A]$  и  $b \notin X_A$ . Следовательно, мы получим  $b+(m-1)a$ , являющееся серией нажатий для получения  $[0 \rightarrow 0]$ . Таким образом,  $b+(m-1)a+a \in X_A$ . Поскольку  $b+(m-1)a+a \equiv b+ma \equiv b \pmod{m}$ , то  $b \in X_A$  приводит к противоречию. Таким образом,  $q$  является постоянной для таблицы  $n \times n$  с  $m$ -состояниями.

В следующем шаге нашего решения мы будем рассматривать таблицу, для которой мы можем найти решение. Исходя из того, что  $A_n X \equiv Y \pmod{m}$  и мы знаем значение матрицы  $A_n$  и  $Y$ , мы будем рассматривать  $[A_n | Y]$ , то есть в расширенной матричной форме. Таким образом, мы можем найти  $X$  умножением на  $A_n^{-1}$ . Мы получим  $[I | X]$ . Элементы  $X$  могут быть дробью,

$$A_n^{-1} = \frac{\text{adj}(A_n)}{\det(A_n)}$$

которую мы не определяли, потому что не можем найти  $A_n^{-1}$  поскольку  $\det(A_n)=0$ . Таким образом, из  $[A_n | Y]$  после сведения  $A_n \rightarrow \Delta$ , где  $\Delta$  — это ступенчатая форма матрицы. Начиная с этого места, мы заменим  $\Delta$  на тождественную матрицу ( $I$ ), используя лемму. После сведения  $A_n \rightarrow \Delta$ , мы получим  $[\Delta | Z]$ , в то время как  $Z_i$  будет значением  $i$ -строки  $Z$ .

Лемма. Для  $P = \{k \mid k \in I^+ \text{ и } k \mid p\} \exists p \in I$ , и  $\forall k \in P \forall m \in I^+$ , где  $(m, k)=1 \exists w \in I$  такое, что  $kw \equiv 1 \pmod{m}$ .

Доказательство. Пусть  $m, p$  такие положительные целые числа, что  $\det(A_n)=p$  и  $P = \{k \mid k \in I^+ \text{ и } k \mid p\}$ . Из тождества Безу мы знаем, что  $\forall k \in P$ , где  $(m, k)=1 \exists w, z \in I$ , что  $kw + zm = 1$ . Поэтому,  $kw \equiv 1 \pmod{m}$ . Мы назовем  $w$  мультипликативно обратным для  $k$  по модулю  $m$ .

Благодаря сведению  $A_n \rightarrow \Delta$ , мы знаем, что произведения значений  $\Delta$  на диагонали равно  $\det(A_n)$ . Согласно лемме, мы можем найти  $w$ , при котором  $kw \equiv 1 \pmod{m}$  для каждого  $k$ , лежащего на диагонали  $\Delta$ , причём  $(m, k)=1$ . Таким образом, мы можем преобразовать  $A_n \rightarrow \Delta \rightarrow I$  и получим  $[I | X]$ . Таким образом, мы всегда можем найти ответ для начальной таблицы, если  $\gcd(m, \det(A_n))=1$ , где  $m$  состояние начальной таблицы и  $\det(A_n) \neq 0$ .

Исходя из сказанного выше, это единственный случай, когда начальная таблица имеет решение. Мы знаем, что существуют таблицы, для которых мы не можем найти  $A_n^{-1}$ , то есть когда  $\det(A_n)=0$ . Таким образом, нужно рассматривать следующие случаи:

1.  $\det(A_n) \neq 0$ 
  - 1.1  $\det(A_n) \neq 0$  и  $\gcd(m, \det(A_n))=1$
  - 1.2  $\det(A_n) \neq 0$  и  $\gcd(m, \det(A_n)) \neq 1$

## 2. $\det(A_n)=0$

Для всех случаев мы будем рассматривать таблицу  $n \times n$  с  $m$ -состояниями, начиная с  $[\Delta | Z]$ , где  $Z_i$  — значение  $i$ -строки  $Z$ , а число, которое лежит на диагонали  $\Delta$  в  $i$ -ряду, обозначим как  $k_i$ .

Случай 1.1  $\det(A_n) \neq 0$  и  $\gcd(m, \det(A_n))=1$

Мы рассмотрели случай 2.1, определённый выше.

Случай 1.2  $\det(A_n) \neq 0$  и  $\gcd(m, \det(A_n)) \neq 1$

При сведении  $A_n \rightarrow \Delta$ , мы можем предположить, что существует хотя бы одно  $i$ , такое что  $\gcd(m, \det(A_n)) \neq 1$ . Таким образом, мы не можем найти мультипликативно обратное к  $k_i$  по модулю  $m$ .

Следовательно, мы можем выделить два случая, а именно:

1.  $m | k$ . Этот случай похож на случай  $\det(A_n) = 0$ , мы обсудим его позже.

2.  $m \nmid k$ . Мы можем разделить этот случай на два частных случая, а именно:

2.1  $k_i | z_i$ . Для этого случая мы можем выполнить действия, схожие со случаем 2.1  $\det(A_n) \neq 0$  и  $\gcd(m, \det(A_n))=1$ , тогда мы сможем легко найти ответ.

2.2  $k_i \nmid z_i$ . Этот случай показывает, что мы не можем найти ответ для начальной таблицы. Тогда мы поменяем таблицу на таблицу с  $d$ -состояниями, где  $d \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$  и  $m$  — это состояния начальной таблицы. Сперва мы предположим, что  $Z_i \equiv T \pmod{m}$ .  $\exists T \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$ . Мы исходим из того, что начальную таблицу можно заменить на таблицу с  $d$ -состояниями. Таким образом мы получим новое  $Z_i$ , такое что  $Z_i \equiv 0 \pmod{m}$  и найдём соотношение между  $T$  и  $d$ , а именно  $T \equiv xd \pmod{m}$  для некоторого целого  $X$ . Мы можем отобразить это на рисунке.

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| $a_1 - d$ | $a_2 - d$ | $a_3 - d$ |
| $a_4 - d$ | $a_5 - d$ | $a_6 - d$ |
| $a_7 - d$ | $a_8 - d$ | $a_9 - d$ |

C
→

|   |   |   |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

Таким образом

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
| $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ |
| $a_7$ | $a_8$ | $a_9$ |

C
→

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| $d$ | $d$ | $d$ |
| $d$ | $d$ | $d$ |
| $d$ | $d$ | $d$ |

и мы найдём ответ (С), если он существует.

Случай 2  $\det(A_n) = 0$ . При сведении  $A_n \rightarrow \Delta$  мы можем предположить, что существует по меньшей мере одно  $i$ , такое что  $k_i = 0$ . Для других  $k_j, j \neq i$  есть два возможных случая:  $k_j \mid z_j$ , либо  $k_j \nmid z_j$ . Поэтому мы применяем тот же приём, что и выше. Поскольку при некотором  $i$  верно  $k_i = 0$ , то количество уравнений будет меньше, чем количество переменных. Таким образом, имеется одна свободная переменная. Следовательно, у нас получится множество ответов, равное  $m^j$ , где  $m$  — это состояние начальной таблицы и  $j$  — это количество свободных переменных. После этого мы выделим два случая, а именно:

1.  $Z_i \equiv 0 \pmod{m}$ . Следовательно, для  $Z_i$  уравнение выполнено, и мы можем найти ответ рассматривая другие  $k_j, j \neq i$  так же, как и раньше.

2.  $Z_i \not\equiv 0 \pmod{m}$  Следовательно, для  $Z_i$  уравнение не выполнено. В этом случае мы можем заменить начальную таблицу на таблицу с  $d$ -состояниями, где  $d \in \{1, 2, 3, \dots, m-1\}$ , как было указано выше.

Все эти методы поиска ответа годятся для каждой квадратной таблицы и любого состояния, в то время как целью данного проекта является нахождение ответа для любой таблицы  $a \times b$  с любыми состояниями и любой поверхностью при условии, что меняется состояние и нажатой лампочки, и соответствующих ей соседних лампочек. Действительно, мы можем использовать тот же самый метод, чтобы найти ответ. Мы должны лишь заменить  $A_n$ , поскольку оно ассоциировано с правилом нажатия и размером таблицы. Таким образом, другое правило нажатия на лампочку повлияет на матрицу  $A_n$ , а размер таблицы повлияет на размер  $A_n \rightarrow \Delta$ .

Кроме того, мы создали программу для проверки методов, и эта программа также позволяет найти решения. Полученные результаты можно использовать в повседневной жизни. Например, при поливе растений с помощью спринклеров не всегда учитывается, какой объём воды требуется для каждого растения. Мы можем представить сад в виде таблицы и записать единицы воды, которые нужны растениям в каждой ячейке таблицы. После этого мы используем данные, полученные в этом проекте для установки спринклеров. Таким образом, растения получают тот объём воды, в котором они на самом деле нуждаются. Это поможет экономить деньги и воду. Ещё одной областью применения может стать улучшение сенсорных датчиков, так как в настоящее время есть некоторые датчики, которые имеют высокую вероятность ошибки, что может быть вредным или неэффективным. Можно повысить их эффективность, представив помещение в виде таблицы и определив области, которые закреплены за каждым датчиком. Далее, опираясь на результаты обработки таблицы написанной программой, следует установить датчики так, чтобы каждую область проверяли три датчика, подающие звуковые сигналы в случае нарушения

границ области, снабдить датчики звуковым сигналом, оповещающим, есть ли в этой области люди.

Мы надеемся, что полученные результаты помогут изобрести что-то новое и принесут пользу миру.

#### Литература:

[1]Eisele, R. (2018). LightsOut Solution using Linear Algebra. Retrieved from <https://www.xarg.org/2018/07/lightsout-solution-using-linear-algebra/>

[2]Weisstein, E. W. (n.d.-a). Lights Out Puzzle. MathWorld. Retrieved from <http://mathworld.wolfram.com/LightsOutPuzzle.html>

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ КОМБИНАЦИЙ**  
**СТЕПЕНЕЙ ТРОЙКИ**

Кондратьев Василий, к.ф.-м.н. Г.М.Головачёв  
*Академическая гимназия им. Д.К.Фаддеева СПбГУ*

Известно, что если из степеней двойки от 0 до  $k$  по очереди выбирать пары чисел и стирать, заменяя их положительной разностью стёртых чисел, то, повторяя эти действия, можно получить любое нечётное число от 1 до  $2^k - 1$ . В нашей работе исследуется последовательность чисел, полученных с помощью выполнения аналогичных действий над степенями тройки, то есть последовательность чисел, представимых следующим образом:

$$3^k - 3^{(k-1)} \pm 3^{(k-2)} \pm \dots \pm 3^1 \pm 1$$

Исследуемая последовательность  $\{a_n\}$  выглядит так:

$2_1; 5_2 7_3; 14_4 16_5 20_6 22_7; 41_8 43_9 47_{10} 49_{11} 59_{12} 61_{13} 65_{14} 67_{15}; 122_{16} 124_{17} 128_{18} \dots$   
(индекс каждого числа соответствует его номеру в последовательности).

Эта последовательность не включена в известную в мире Энциклопедию целочисленных последовательностей OEIS.

Последовательность  $\{a_n\}$  можно разбить на наборы, каждый набор — это группа результатов описанных выше действий, совершённых над наборами троек, максимальная степень которых одинакова.

В работе представлен ряд свойств последовательности  $\{a_n\}$ :

Формулы максимального и минимального результата для степени  $k$

$$a_{k,min} = \frac{1}{2}(3^k + 1)$$

$$a_{k,max} = \frac{5}{6}(3^k - \frac{3}{5})$$

(Здесь и далее под словом «результат» понимается число, полученное с помощью описанных ранее действий, совершённых над последовательностью троек с той или иной максимальной степенью.)

Количество результатов для степени  $k$  равно  $2^{k-1}$ .

Верно следующее рекуррентное соотношение:  $a_{k+1,p\pm} = 3a_{k,p} \pm 1$ .

Здесь, для удобства, введена двойная индексация  $k$  — максимальная степень,  $p$  — номер элемента среди результатов для  $k$ -й степени.

Последовательность разностей двух соседних результатов для любой степени тройки имеет вид:  $2, 4, 2, 10, 2, 4, 2, 28, 2, 4, 2, \dots$ , то есть получается отражением числа  $3^0 + 1$ , стоящего на первом месте, относительно числа  $3^1 + 1$ , стоящего на втором месте, далее уже имеющиеся три члена последовательности  $(2, 4, 2)$  отражаются относительно четвёртого члена,

равного  $3^2 + 1$  (получается 2, 4, 2, 10, 2, 4, 2) и так далее. Каждый член последовательности имеет вид:  $3^x + 1$ . (Все свойства доказаны в тексте работы.)

Выведенных свойств оказалось недостаточно для нахождения формулы  $n$ -го элемента последовательности  $\{a_n\}$ , в связи с чем, помимо последовательности  $\{a_n\}$ , была исследована вспомогательная последовательность  $\{b_n\}$ , которая выглядит следующим образом: 1, 2, 1, 4, 1, 2, 1, 8, ... Эта последовательность аналогична последовательности, описанной в четвёртом свойстве, каждый член последовательности  $\{b_n\}$  представим в виде:  $2^x$ . С помощью этой последовательности будет выведена формула  $n$ -го члена последовательности разностей двух соседних результатов для определённой степени тройки (см. свойство 4).

Для последовательности  $\{b_n\}$  также был выведен ряд свойств:

Каждая степень двойки, при первом своём появлении в последовательности, равняется своему номеру.

Номер числа  $2^k$  всегда можно представить в виде  $2^k + x * 2^{k+1}$  ( $x, k$ -целые неотрицательные числа). Максимальная степень двойки, на которую делится номер члена последовательности, — это и есть этот член последовательности. (Все свойства доказаны в тексте работы.)

Выведенные свойства позволили найти формулу  $n$ -го члена последовательности  $\{b_n\}$ :  $b_n = \text{НОД}(2^n, n)$ .

Поскольку  $\log_2 \text{НОД}(2^n, n)$  — это показатель степени элемента под номером  $n$ , то формула  $n$ -го члена последовательности, аналогичной  $\{b_n\}$ , каждый член которой имеет вид  $c^x$ , выглядит так:  $c^{\log_2 \text{НОД}(2^n, n)}$ .

Благодаря выведенным свойствам последовательностей  $\{a_n\}$  и  $\{b_n\}$ , удалось вывести несколько формул, необходимых для нахождения формулы  $n$ -го члена последовательности  $\{a_n\}$ .

Формула степени  $k$ , из которой образован искомый  $n$ -й элемент:

$$k = \lfloor \log_2 n \rfloor + 1.$$

Формула первого (минимального) элемента, полученного из троек с максимальной степенью  $k$ :  $a_{k, \min} = \frac{1}{2}(3^{\lfloor \log_2 n \rfloor + 1} + 1)$

Формула разности между минимальным элементом полученным из троек с максимальной степенью  $k$  и  $n$ -м элементом:

$$a_n - a_{k, \min} = \sum_{i=1}^{n-2^{\lfloor \log_2 n \rfloor}} \left( 3^{\log_2(\text{НОД}(2^i, i))} + 1 \right)$$

для вывода этого выражения и была использована формула  $b_n = \text{НОД}(2^n, n)$ .

Выражая  $a_n$ , получили:

$$a_n = \frac{1}{2}(3^{\lfloor \log_2 n \rfloor + 1} + 1) + \sum_{i=1}^{n-2^{\lfloor \log_2 n \rfloor}} \left( 3^{\log_2(\text{НОД}(2^i, i))} + 1 \right)$$

Результаты. Была обнаружена новая последовательность (последовательность, которая не внесена в уже упомянутую энциклопедию OEIS), она была исследована по схеме, принятой в OEIS. Поэтому результаты позволяют рассчитывать на включение исследованной последовательности в OEIS. В процессе исследования был выведен ряд свойств этой последовательности, в том числе выведена формула  $n$ -го члена. Также была изучена вспомогательная последовательность, для которой тоже была выведена формула  $n$ -го элемента, эта формула позволяет найти  $n$ -й член не только вспомогательной последовательности, но и любой другой, имеющей уже описанное строение (строение аналогичное строению вспомогательной последовательности).

Источники:

1. Р. Грэхем, Д. Кнут, О. Паташник. Конкретная математика. Основание информатики. — М.: Мир, 1998.
2. [www.oeis.org](http://www.oeis.org)

### **1. Rattanakarm S., Yoosiri B., Pukdee J.**

Thailand, Nakhon Pathom, Mahidol Wittayanusorn, 12 класс

#### **The alternative solutions of complex Lights Out puzzles (Альтернативные решения сложного пазла Lights Out)**

This project is the development of the method for finding the answer of Lights Out Puzzle research that leads to any grid layout with any states on any surface, whereas both the pressed light bulb and the corresponding light bulbs will be changed. The developers also coded the program to examine the methods and to facilitate the people who interested in this project. Finally, we created a way to use this knowledge in daily life or to invent something new.

В работе представлен метод решения пазла Lights Out, который позволяет найти решение для любой таблицы с различными входящими условиями. Создана программа, позволяющая проверить методы решения и помочь людям, которые заинтересованы в этом проекте. Рассмотрены способы использования полученных результатов в повседневной жизни.

Научный руководитель: Amornvatcharapong A.

Место выполнения работы: Mahidol Wittayanusorn School

### **2. Антонова К.Д.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ лицей № 144, 8 класс

#### **Математический расчёт числа отражений в системах зеркал**

Основу работы составила следующая задача. Пусть на плоскости вдоль прямой светит лазерный луч. В вашем распоряжении есть несколько зеркал в виде отрезков (длину отрезков можно выбирать на своё усмотрение). Если поместить зеркало на пути луча, свет отразится от него по закону «угол падения равен углу отражения». Введём условие, при котором лучу разрешено отражаться от каждого отрезка лишь по одной точке (количество отражений луча в этих точках, однако, неограниченно). Целью задачи стало исследование числа отражений, возможных в данной системе зеркал.

Научный руководитель: Решетникова Е.А.

Место выполнения работы: ГБОУ лицей № 144

### **3. Владимирова Э.В.**

Россия, Санкт-Петербург, Академическая гимназия им. Д.К. Фаддеева СПбГУ, 11 класс

#### **Кривые III и IV порядков, полученные в результате инверсии. Расширение эллиптической криптографии**

Работа посвящена изучению рациональных точек на кривых II порядка и их образах — кривых III и IV порядков — с помощью инверсии и применению полученных результатов на практике. Результатами исследования стали: создание подробной классификации кривых III и IV порядков, являющихся образами кривых II порядка при инверсии;

получение метода нахождения всех рациональных точек на кривых III и IV порядков специального вида и разработка нового алгоритма шифрования, основанного на рациональных параметризациях пар кривых «эллипс — кривая III порядка в форме Вейерштрасса».

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Головачёв Г.М.

Место выполнения работы: Академическая гимназия им. Д.К. Фаддеева СПбГУ

#### **4. Глухова М.Г.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ лицей № 64, 11 класс

##### **Поля Галуа: конечные геометрии и коды, исправляющие ошибки**

Поля Галуа играют важную роль в фундаментальных разделах математики, в прикладных задачах, решение которых находит широкое применение в различных сферах практической деятельности людей. В работе изложены свойства полей Галуа и принципы построения на их основе конечных геометрий, систем ортогональных латинских квадратов и кодов, корректирующих ошибки. Для иллюстрации работы двух кодов составлено две программы, в каждой из которых представлены два метода декодирования, основанные на переборе множества возможных синдромов или всех информационных последовательностей.

Научный руководитель: д.т.н. Чуднов А.М.

Место выполнения работы: ГБОУ лицей № 64

#### **5. Екимовская А.А.**

Россия, Череповец, МАОУ «Центр образования № 32», 9 класс

##### **Фрактальное заполнение многоугольников кругами**

Наблюдение капелек росы на листьях привело к математической задаче из области фракталов. Это задача о покрытии многоугольника фрактальными кругами. В работе изучены правильные многоугольники и доказана лемма, позволяющая исследовать произвольные фигуры. Получена формула для определения доли покрытия правильного  $n$ -угольника фрактальными кругами. Доказано, что убывание размеров фрактальных кругов, вписанных в угол, происходит по геометрической прогрессии, причём знаменатель зависит от угла.

Научный руководитель: Екимовская В.А.

Место выполнения работы: МАОУ «Центр образования № 32»

#### **6. Ершов А.Р.**

Россия, Нижний Новгород, ГБОУ «Лицей-интернат "ЦОД"», 11 класс

##### **Вспомогательные средства и методы доказательств неразрешимых задач древности на построение**

Цель работы — рассмотреть методы решения трёх знаменитых задач на построение, которые не разрешимы только с применением циркуля и линейки. В работе представлены нестандартные подходы к решению задач

на построение. Рассмотрены следующие задачи: задача об удвоении куба, задача о трисекции угла и задача о квадратуре круга — самая старая из всех математических задач. В работе уделено большое внимание таким кривым, как конхоида Никомеда и квадратриса Гиппия, и выведено их уравнение. Показано, почему нельзя решить данные задачи, если рассматривать их только как задачи на построение.

Научный руководитель: Гринес В.З.

Место выполнения работы: НИУ ВШЭ НН

## **7. Жаворонкова В.**

Россия, Новосибирск, МАОУ Гимназия № 10, 9 класс

### **Математический бильярд в тетраэдре**

В ходе работы изучался математический бильярд в тетраэдрах, а именно замкнутые траектории. Предложен альтернативный способ представления траекторий в тетраэдре, рассмотрены свойства замкнутых траекторий. Предложен алгоритм определения, замкнутая траектория или нет.

Научный руководитель: Кондакова Е.Н.

Место выполнения работы: МАОУ Гимназия № 10

## **8. Кондратьев В.Ю.**

Россия, Санкт-Петербург, Академическая гимназия им. Д.К. Фаддеева СПбГУ, 11 класс

### **Последовательности знакопеременных сумм степеней тройки**

В работе исследована последовательность, полученная посредством перестановки знаков в сумме степеней тройки. Получен ряд свойств этой последовательности, в том числе выведена формула рекуррентного соотношения и формула  $n$ -го члена для элементов последовательности. Также изучены вспомогательные последовательности, для каждой выведена формула  $n$ -го члена. Исследуемая последовательность новая, она не включена в известную энциклопедию целочисленных последовательностей OEIS.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Головачёв Г.М.

Место выполнения работы: Академическая гимназия им. Д.К. Фаддеева СПбГУ

## **9. Кучер К.В.**

Россия, МО, Сергиев Посад, ГБОУ МО СП ФМЛ, 10 класс

### **Свойство треугольников с общим основанием, вписанных в одну и ту же окружность**

Теорема Наполеона — одна из ярких и интересных теорем геометрии. В математическом мире находятся и доказываются все новые закономерности, связанные с построением многоугольников на сторонах другого многоугольника. Исследовав теоремы, аналогичные теореме

Наполеона, мы сформулировали и доказали новые свойства треугольников с общим основанием, вписанных в одну и ту же окружность.

Научный руководитель: Гавриленко Г.Ю.

Место выполнения работы: ГБОУ МО СП ФМЛ

### **10. Леончик П.А.**

Россия, Кемерово, МБОУ «Гимназия № 17», 11 класс

#### **О фрактальной размерности и недифференцируемости фрактальных функций**

Работа посвящена изучению основных свойств фрактальных фигур — размерности, длины, площади — как геометрическим характеристикам фракталов. Рассмотрены геометрические фракталы. Приведены собственные примеры фракталов и рассчитана их размерность. Рассмотрены алгебраические фракталы. Приведён пример непрерывной, нигде не дифференцируемой функции и пример почти всюду непрерывной функции, производная которой во всех точках области определения равна 0.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Чушева Н.А.

Место выполнения работы: ЦДНТ «Интеллектуал КемГУ» фонда Андрея Мельниченко

### **11. Мордосевич А.В.**

Россия, Москва, СУНЦ МГУ, 10 класс

#### **Новый подход к сложности натуральных чисел**

Функция «сложность числа» определяется как «минимальное количество единиц, с помощью которых можно получить натуральное число  $n$ , используя операции сложения, умножения и скобки». Мы же определяем её следующим образом: сложность натурального числа  $n$  — это минимальное число шагов, которые нужны, чтобы получить  $n$ , где на каждом шаге мы получаем сумму или произведение двух предыдущих полученных чисел, каждое из которых может быть единицей. Задачи: найти свойства функции исходя из нового определения; найти монотонные верхнюю и нижнюю оценки; попытаться связать с функцией сложности по старому определению. В ходе изучения было установлено, что сложность числа примерно равна  $(\ln(n))/(\ln(\ln(n)))$ , где  $\ln$  — логарифм, а  $n$  — натуральное число.

Научный руководитель: Башаев Н.К.

Место выполнения работы: СУНЦ МГУ

### **12. Романова Т.В., Пушкарева Е.К.**

Россия, Екатеринбург, СУНЦ УрФУ, 11 класс

#### **Траектории, или огибающие в форме коник**

Чаще всего коники, или кривые второго порядка, определяют как множество точек, удовлетворяющих определённому соотношению. В нашей работе коники рассматривались как огибающие. Используя метод полярного

преобразования, удалось исследовать случаи, в которых коника может служить огибающей как семейства прямых, так и некоторых семейств других коник.

Научный руководитель: Шерстобитов А.В.

Место выполнения работы: СУНЦ УрФУ

### **13. Рябов И.**

Россия, Екатеринбург, СУНЦ УрФУ, 10 класс

#### **Траектории ортоцентра треугольника при изменении его формы и положения на плоскости**

Ортоцентр — очень интересная, но совсем не простая замечательная точка треугольника. В работе рассматриваются траектории ортоцентра треугольника при изменениях его формы и положения на плоскости по определённым правилам. С помощью методов синтетической геометрии установлено, что ортоцентр треугольника при некоторых его преобразованиях движется по различным замечательным кривым, что позволяет найти новые способы их построения.

Научный руководитель: Шерстобитов А.В.

Место выполнения работы: СУНЦ УрФУ

### **14. Рябцев Е.М.**

Россия, МО, Сергиев Посад, ГБОУ МО СП ФМЛ, 10 класс

#### **Неправильные и правильные многоугольники**

В работе рассматриваются задачи на геометрические преобразования. Исследуются и обобщаются задачи, аналогичные задаче Наполеона. Доказаны замечательные закономерности для произвольных четырёхугольников и шестиугольников, на сторонах которых построены правильные четырёхугольники и шестиугольники соответственно.

Научный руководитель: Гавриленко Г.Ю.

Место выполнения работы: ГБОУ МО СП ФМЛ

### **15. Рязанцева Е.Е.**

Россия, Красноярск, МБОУ СОШ № 10, 10 класс

#### **Целые значения рациональных функций и параметрические уравнения Пелля**

В работе элементарными методами решается ряд задач, в которых требуется найти множество целых значений данной рациональной дроби при условии, что переменные, входящие в дробь, принимают только целые значения. В простейших ситуациях такие задачи сводятся к параметрическим уравнениям Пелля и, как следствие, могут быть решены. Кроме этого, в работе доказываются теоремы, дающие достаточные условия

неразрешимости некоторых параметрических уравнений Пелля при всех допустимых значениях параметра.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Осипов Н.Н.

Место выполнения работы: МБОУ СОШ № 10

### **16. Сятковская Т.А., Синкевич К.С.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова», 10 класс

#### **Производящие функции некоторых нелинейных рекуррентных последовательностей**

При подсчёте числа комбинаторных конфигураций часто оказывается полезным применение рекуррентных соотношений. Один из подходов, используемых при работе с бесконечными последовательностями, включает построение производящих функций. Мы исследовали вопрос построения производящих функций для некоторых нелинейных рекуррентных последовательностей, задаваемых соотношением второй степени.

Научный руководитель: Сергеенко С.В.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова»

### **17. Федоренко Е.С.**

Россия, МО, Сергиев Посад, ГБОУ МО СП ФМЛ, 10 класс

#### **Дополнение к списку Верника**

В работе получено решение всех задач на построение треугольника по трём точкам из набора  $A, B, C, I, O, Ia, Ib, Ic$ , дополняющего список Верника. Установлены необходимые и достаточные условия существования искомого треугольника (в виде требования к взаимному расположению точек). Указаны способы построения треугольника. Во всех рассмотренных задачах построение возможно.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Забавин В.Н.

Место выполнения работы: ГБОУ МО СП ФМЛ

### **18. Шуйская Я.Д.**

Россия, Новосибирск, МБОУ Гимназия № 4, 7 класс

#### **Гармонические раскраски деревьев**

Расстановка рыцарей и лжецов в вершинах произвольного дерева называется гармонической, если каждый из участников имеет право заявить: «В моём окружении чётное число рыцарей!» При этом рыцари говорят правду, а лжецы врут. Доказано, что каждое конечное дерево допускает гармоническую расстановку.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Августинович С.В.

Место выполнения работы: Институт геологии и минералогии СО РАН

# **XXX САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**

## **Секция ИНФОРМАТИКИ**

### **Жюри секции**

Иванов Андрей Владимирович, JetBrains  
Кузнецов Антон Михайлович, СПБАУ РАН  
Дворкин Михаил Эдуардович, СПБАУ РАН  
Артамонова Екатерина Игоревна, Computer Science Center

### **Итоги секции**

<http://www.school.ioffe.ru/readings/2020/results.html#inf>  
<https://www.youtube.com/watch?v=Gq75UcgtmOc>

### **ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ**

#### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЁХМЕРНЫХ СЦЕН ДЛЯ СПОРТИВНЫХ ТРЕНИРОВОК**

Двас П.Г., Кураленок С.И., Амбросовская Д.В., Вашпанов А.В.,  
Кононов С.И., Малахов Д.А., Григорович В.Д., Гирвиц А.М., Дмитриева В.В.  
*ГБОУ «Санкт-Петербургский губернаторский физико-математический  
лицей № 30», г. Санкт-Петербург, Россия*  
*csgsg@yandex.ru*

Перед авторами была поставлена задача создания системы визуализации тренировки пользователей и отображении информации о их передвижении, пройденном расстоянии и вырабатываемой мощности. Актуальность нашего проекта заключается в том, что клиент может тренироваться в любое время и погоду. Наша система должна в реальном времени визуализировать передвижение пользователя по виртуальной местности. Необходимо получать данные о клиенте, что выполняется с помощью датчиков, установленных на тренажёре (например, датчик счёта мощности вращения колеса велосипеда), и, в зависимости от них, вычислить скорость движения пользователя. Для получения входных данных требуется велосипедный тренажёр с подключением по сети Bluetooth и персональный компьютер.

Для реализации нашего проекта мы использовали компьютеры с операционной системой Windows, был создан сервер для обработки нескольких пользователей, реализована обработка сигнала Bluetooth

для получения данных с тренажёра, разработаны система построения столкновений для имитации реалистичного движения по рельефу и алгоритм инверсной кинематики для реалистичной анимации объектов.

Результатом работы стало создание системы трёхмерной визуализации велотренировки, позволяющей воссоздать опыт реальной поездки на велосипеде в виртуальной реальности, а возможность сетевого соединения позволяет проводить соревнования между несколькими людьми. Разработанная нами система анимации наряду с реалистичной графикой позволяет совершить полное погружение. Созданные подсистемы обнаружения столкновений, визуализации движения модели человека по опорным точкам скелета повышают уровень отображения.

В ходе проделанной работы авторы создали полноценную систему визуализации для тренировок велосипедистов, отличительной чертой которой является простота в применении. В ближайшем будущем авторы планируют добавить возможность подключения и использования очков виртуальной реальности, добавить звуковое оформление программы, улучшить графическую составляющую, а также распространить проект.

Источники:

1. F.D. Luna. «Introduction to 3D Game Programming with DirectX 12.0», Jones & Bartlett Publishers, 2016.
2. C. Ericson. «Real-Time Collision Detection», MK Publishers, 2005.

## ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

### ПЕРСИСТЕНТНЫЕ ГОМОЛОГИИ И АНАЛИЗ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Каданцев Г.В., Сеницын А.А., Иванов С.О.

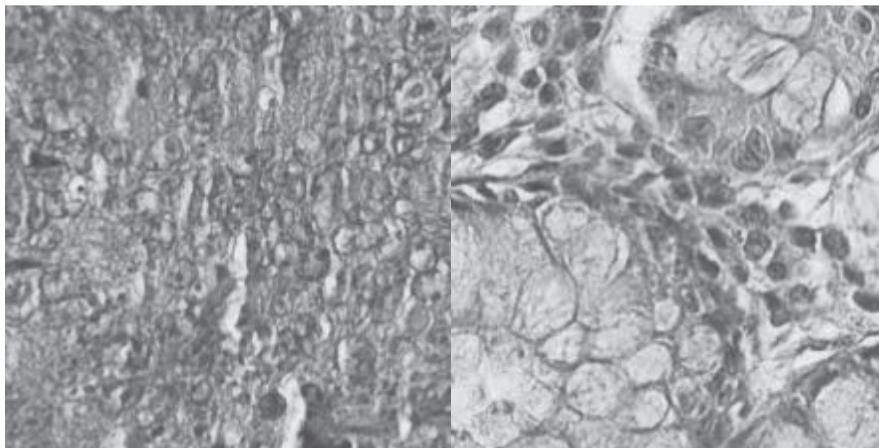
*Лаборатория Непрерывного Математического Образования (ЛНМО)  
Россия, Санкт-Петербург*

Топологический анализ данных — область прикладной математики, в которой топологические идеи применяются для изучения различных видов данных ([1], [2], [3]). В нашей работе мы применяем методы топологического анализа данных для изучения гистологических WSI-изображений (histological whole-slide images). Основной характеристикой изображения для нас является персистентная энтропия изображения, которая извлекается из нулевых персистентных гомотопий фильтрованного симплициального комплекса изображения. Эта характеристика уже показала себя как удобный инструмент при изучении идиотипической иммунной сети (idiotypic immune network) (см. [6]). Грубо говоря, персистентная энтропия изображения — это мера хаотичности изображения, выраженная на языке топологического анализа данных. Наша цель — показать, что использование персистентной энтропии может помочь в компьютерной диагностике различных видов рака, в том числе колоректального рака и рака прямой кишки.

Наша работа идейно близка к работам [4] и [5]. В них так же исследуются гистологические WSI-изображения при помощи топологического анализа данных и строится алгоритм для компьютерной диагностики колоректального рака. Однако в этой работе используются только самые простейшие топологические идеи (только числа Бетти, на основе которых они составляют так называемые persistent homology profiles) в совокупности с машинным обучением. В нашей работе мы избегаем использования машинного обучения, но используем более глубокие математические идеи (персистентные гомотопии, интервальное разложение, бар-коды, персистентную энтропию).

При исследовании в начале WSI-изображение делится на патчи (patches, маленькие кусочки исходного WSI-изображения), и каждый патч исследуется отдельно. Можно заметить, что левый патч, представленный на картинке, выглядит более хаотично, а на правом видно больше структуры. Персистентная энтропия численно учитывает эту разницу.

Нами был разработан алгоритм, вычисляющий интервальное разложение для нулевых персистентных гомотопий и соответствующую персистентную энтропию. Этот алгоритм был реализован на языках Java и Scala (<https://github.com/Sannitsa/Persistent-homology-and-histological-data>).



*Слева — раковые клетки; справа — здоровые.*

В результате у нас получилось показать, что средняя персистентная энтропия изображений здоровой ткани значительно ниже средней персистентной энтропии изображений раковой опухоли. Таким образом, мы даём ответ на концептуальный вопрос: «В чём же разница между структурой здоровой ткани и структурой раковой опухоли?» И мы даём ответ: «Хаотичностью, выраженной на языке топологического анализа данных».

Сполной версией нашей статьи можно ознакомиться на <https://clck.ru/N5AX3>.

#### Литература:

- [1] G. Carlsson: Topology and data. Bullentin of the American Mathematical Society 46, 2 (2009), 255–308.
- [2] S. Y. Oudot: Persistence Theory: From Quiver Representations to Data Analysis, vol. 209 of Mathematical Surveys and Monographs. American Mathematical Society (2015).
- [3] H. Edelsbrunner, D. Morozov: Persistent homology: theory and practice. In Proceedings of the European Congress of Mathematics, pages 31–50, (2012).
- [4] Talha Qaiser, Korsuk Sirinukunwattana, Kazuaki Nakane, Yee-Wah Tsang, David Epstein, and Nasir Rajpoot: Persistent homology for fast tumor segmentation in whole slide histology images. Procedia Computer Science, 90:119–124, (2016).
- [5] T. Qaiser, Y.-W. Tsang, and N. Rajpoot et al.: Fast and accurate tumor segmentation of histology images using persistent homology and deep convolutional features. Med Image Anal., 55:1–14, (2019).
- [6] M. Rucco, F. Castiglione, E. Merelli, and M. Pettini.: Characterisation of the idiotypic immune network through persistent entropy. In Proceedings of ECCS 2014, 117–128. Springer, (2016).

## ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

### **РОБОТ УДАЛЁННОГО ПРИСУТСТВИЯ**

Родин Ф.М., Коновалов И.В., Малыш И.И.

*ГБОУ Школа № 2033, Москва, Россия*

*fedorrr20152015@gmail.com*

Сейчас индустрия робототехнических систем стремительно развивается, роботы трудятся во многих сферах. Однако большинство из них заточены под определённые узкие задачи, стоимость роботов высока, и они сложны в обслуживании [1]. Мы поставили перед собой цель — создать универсального простого и надёжного робота удалённого присутствия для помощи человеку и решения различных бытовых и специальных задач.

Мы спроектировали и собрали гусеничную тележку габаритами 56x41x27 см и массой 7.5 кг. Каркас корпуса сделан из алюминиевых П-образных профилей, нижняя, передняя и задняя части робота сделаны из алюминиевых листов. С обеих сторон робота установлено по гусеничному движителю. В роботе используется подвеска типа Кристи, рассчитанная на перевозку роботом полезного груза до 10 кг.

Бортовая сеть робота состоит из свинцово-кислотного аккумулятора напряжением 12 В, защита от короткого замыкания реализована автоматическим выключателем, защита от скачков напряжения — стабилизатором напряжения. В качестве тяговых приводов используются электрические мотор-редукторы червячной передачи номинальной мощностью 70 Вт каждый.

Вычислительным центром робота является тонкий клиент Centerm Information GI945, имеющий на борту энергоэффективный процессор Intel Atom N270, 1 Гбайт оперативной памяти, Wi-Fi модуль и 4G-модем для возможности работы робота через мобильный интернет. В передней части робота на 2-х осевом подвесе установлена FullHD видеочамера, микрофон и тепловизор AMG8833. В задней — статичная HD видеочамера. Из-за отсутствия на тонком клиенте портов GPIO используется Arduino Uno для управления через реле мощным оборудованием: электромоторами, фарой, сиреной и Arduino Mega для работы с маломощными компонентами: сервомоторами, тепловизором и другими датчиками.

Тонкий клиент управляется ОС Linux. Python-приложение осуществляет контроль систем робота и управление оборудованием. Наш робот управляется оператором через веб-интерфейс по локальной сети напрямую, либо через интернет (технически через промежуточный сервер). Веб-интерфейс оператора написан на Python с использованием библиотеки Flask и Sockets. При работе через интернет аудио-видеопоток и картинка с тепловизора транслируются по протоколу RTMP и HLS при помощи FFmpeg через видеосервер на базе Nginx и nginx-rtmp-module, а при работе в локальной сети напрямую к оператору по HTTPS через утилиту Motion. В разработанном нами ПО используются open-source библиотеки и программы, свободно распространяемые по лицензиям открытого ПО.

В результате мы получили рабочий компактный прототип робота с высокой проходимостью и хорошей грузоподъемностью. Это позволяет использовать его как для решения повседневных задач, например, для создания эффекта присутствия на уроке в школе для маломобильных людей, так и для специализированных задач, таких как работа в опасных зонах без риска для человека (бортовой тепловизор позволяет различать теплые объекты, например, возгорания или людей под завалами).

#### Литература:

1. А.И. Мотиенко, А.Л. Ронжин, Н.А. Павлюк. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. — 2015, 3. — С. 147–165.

# ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

## ИЕРАРХИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ C2PRL

Рубашкин И.М.

*Президентский физико-математический лицей № 239*

*Rubiliam2003@gmail.com*

Обучение с подкреплением — это направление в машинном обучении, связанное с тем, как агенту (ам) следует выполнять действия в заданной среде, чтобы максимизировать суммарно некоторую награду. Среда может представлять из себя практически всё что угодно: от реального мира до компьютерных игр, использовавшихся в работе. Обычно нейронные сети используются в качестве агентов. Все алгоритмы обучения с подкреплением можно поделить на две большие группы: одноуровневые и иерархические. Одноуровневые алгоритмы состоят только из одной главной части, определяющей поведение агента, например: DQN, DDPG, Actor Critic. Следующей ступенью развития стали иерархические алгоритмы: они состоят из нескольких частей, чьё взаимодействие друг с другом определяет поведение агента.

Разработанный алгоритм является иерархическим. Он состоит из двух уровней. Это отражено в его названии: C2PRL — centralized 2 part reinforcement learning. Первый называется «мозг», следующий называется «исполнитель». Мозг, как понятно из названия, занимается обработкой высокоуровневых концептов. Исполнитель получает некоторые указания от мозга, дальше ему даётся определённый срок на то, чтобы их выполнить. Рассмотрим процесс взаимодействия агента со средой.

В стационарном режиме, то есть без обучения, среда передаёт агенту информацию о текущем состоянии  $s$ , после чего она передаётся мозгу, который, в свою очередь, пропускает его через нейронную сеть и генерирует так называемую цель  $g$ . Это происходит раз в  $k$  итераций. Дальше текущее состояние среды и задание передаются исполнителю. Исполнителю даётся  $k$  итераций, чтобы достигнуть такого состояния среды, что:  $\|s_{t'} - g_t\| \leq \epsilon$ . То есть состояние, близкое к тому, которое запросил мозг. Если это условие выполнено быстрее, чем за  $k$  итераций, то генерация новой цели запускается досрочно. Если же агент находится в режиме обучения, то всё становится немного сложнее: помимо мозга и исполнителя в игру вступает и experience replay. Это специальная структура, хранящая данные о прошедших транзакциях и выдающая их для обучения. Эмпирическими методами было выяснено, что наиболее стабилен процесс обучения в том случае, когда мозг и исполнитель обучаются отдельно. Первым обучается исполнитель, при этом вместо мозга задачи генерируются рандомно. Исполнитель должен научиться достигать произвольного состояния — это упростит процесс обучение мозга. Когда обучается мозг, исполнитель, который должен быть заранее обучен, не обучается, он работает в стационарном режиме. Иногда, если размерность входных состояний слишком велика и будет невозможно

обучить мозг генерировать сложные многомерные структуры, к среде добавляется специальная сеть, чья задача — ужимать входные данные, сохраняя максимальное количество информации. Она называется компрессор.

Мозг обучается с помощью алгоритма про, это так называемый онлайн-алгоритм, то есть он работает только с данными, полученными текущей версией агента, после обновления параметров сети нужно собирать новые данные. Исполнитель обучается либо с помощью ddpq, либо с DQN. Это оффлайн-алгоритмы; для ускорения обучения и увеличения стабильности данные, полученные агентом, дополнительно обрабатываются с помощью hindsight experience replay. Это нужно, так как в начале обучения, когда исполнитель совсем не знает среду и действует практически наугад, очень маловероятно, что ему удастся выполнить задание мозга и получить положительное подкрепление. Поэтому оно создаётся отдельно, и исполнитель на каждой итерации обучения гарантированно получает часть положительно подкреплённых данных. Компрессор обучается сжимать данные с помощью архитектуры Variational Autoencoder, при допущении, что данные, необходимые агенту, имеют значительную роль во входных данных.

Алгоритм тестировался на средах Atari 2600 игр с помощью библиотеки gym. Эти видеоигры требуют быстрой реакции, стратегического мышления на несколько шагов вперёд и являются относительно непростыми для игроков-людей. Состояние среды — изображения экрана консоли размером 210x160x3. Так как на одном статическом изображении нельзя проследить изменение скоростей и ускорений некоторых объектов, важных для агента, было решено использовать в качестве состояния четыре последние кадра игры. Сначала происходит ранняя обработка: все изображения переводятся из rgb в чёрно-белые, сжимаются до размера 84x84, после чего состояние среды имеет размерность 84x84x3. Этот тензор сжимается с помощью компрессора до 32 мерного вектора, после чего агент может с ними работать. Для всех сред использовалась одна архитектура сети (см. приложение). Алгоритм проверялся на следующих средах: AirRaid, Boxing, Breakout, Carnival, DemonAttack, IceHockey, Pong, Seaquest, SpaceInvaders. Алгоритм показал внушительные результаты: в 7 из 9 сред, в которых он тестировался, его результаты сравнимы с алгоритмом DQN (основываясь на данных из [1]) и превосходят игроков-людей.

#### Литература:

1. Volodymyr Mnih, Koray Kavukcuoglu, David Silver, Andrei A. Rusu, Joel Veness, Marc G. Bellemare, Alex Graves, Martin Riedmiller, Andreas K. Fidjeland, Georg Ostrovski, Stig Petersen, Charles Beattie, Amir Sadik, Ioannis Antonoglou, Helen King, Dharshan Kumaran, Daan Wierstra, Shane Legg, Demis Hassabis. *Nature*, 2015, 518, 529–533.
2. Lillicrap, Timothy P., Hunt, Jonathan J., Pritzel, Alexander, Heess, Nicolas, Erez, Tom, Tassa, Yuval, Silver, David, and Wierstra, Daan. *arXiv preprint arXiv:1509.02971*, 2015.

3. Andrew Levy, George Konidaris, Robert Platt, and Kate Saenko. *arXiv preprint arXiv:1712.00948*, 2019.
4. Nachum, O., Gu, S., Lee, H., and Levine, S. *arXiv preprint arXiv:1810.01257*, 2019.
5. Ofir Nachum, Shane Gu, Honglak Lee, and Sergey Levine. *arXiv preprint arXiv:1805.08296*, 2018.
6. Marcin Andrychowicz, Filip Wolski, Alex Ray, Jonas Schneider, Rachel Fong, Peter Welinder, Bob McGrew, Josh Tobin, Pieter Abbeel, Wojciech Zaremba. *arXiv preprint arXiv:1707.01495*, 2017.
7. T. Schaul, D. Horgan, K. Gregor, D. Silver. *ICML*, 2015.
8. Kingma D.P. and Welling M. (2019). *arXiv preprint arXiv:1906.02691*, 2019.
9. Fang M., Zhou C., Shi B., et al. *International Conference on Learning Representations*, 2019.
10. John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, Oleg Klimov. *arXiv preprint arXiv:1707.06347*, 2017.

**ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**  
**РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛЯРНЫХ МЕДВЕДЕЙ**  
**НА АЭРОФОТОСНИМКАХ**

Савчук Д.А.<sup>1</sup>, Моторный Н.Е.<sup>1</sup>, Журавлев С. Г.<sup>2</sup>

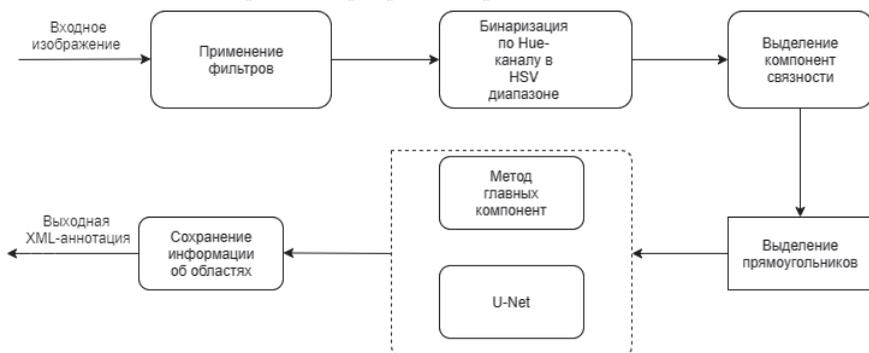
<sup>1</sup>*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАН, Санкт-Петербург, Россия  
dsavchuk@itsociety.su*

Проблема обнаружения белых медведей на снимках, полученных с самолёта, является актуальной для экологов, изучающих исчезающую популяцию арктических обитателей, наряду с возможными подходами к изучению и прогнозированию концентрации и популяции других животных, имеющих связанный с медведями ареал обитания. Решение данной задачи сопряжено с трудностями, возникающими из-за того, что объекты для поиска, а именно медведи, очень малы по сравнению со всей фотографией, а на самих снимках присутствует много объектов, внешне похожих на медведей (ледяные торосы, сугробы). Также внешний вид медведей на снимках сильно различается в зависимости от освещения фотографии, положения теней, погодных условий (туман, метель) и зависит от положения камеры. Кроме того, цвет медведя практически совпадает с цветом снега и льда на снимке. За один вылет самолёта для фотографирования делается около 20 000 снимков в высоком разрешении, причём в среднем медведь есть только на 1 из 1000 снимков. Дополнительно работу осложняет то, что ни один медведь не должен быть упущен, а количество объектов, ошибочно принятых за медведя должно быть минимизировано. Качественная ручная обработка такого объёма данных практически невозможна, и поэтому возникает потребность в создании инструмента для автоматического распознавания.

Методика решения. Основная идея приведённого решения заключается в сочетании классических методов компьютерного зрения и методов машинного обучения. На первом этапе методы, основанные на анализе гистограмм распределения значений пикселей исходного изображения в различных каналах цветовой модели, методы пороговой бинаризации, а также компонентного анализа определяют так называемые ROI — регионы интереса. Основная задача комбинации методов на первом шаге не упустить возможного медведя, сократив область возможного поиска за счёт минимизации гарантированно ложных срабатываний. На втором этапе обученный классификатор, построенный на основе методов глубокого машинного обучения, определяет принадлежность того или иного ROI к классу медведя или фона.

Основные этапы работы программы представлены на следующей схеме:



В качестве основного инструмента для работы с изображениями была выбрана библиотека OpenCV, весь код написан на языке программирования Python.

Результаты. Для оценки результатов работы приведённого решения были посчитаны доля верно обнаруженных медведей (Recall) и доля реальных медведей среди всех срабатываний (Precision).

| Метод                   | Recall, % | Precision, % |
|-------------------------|-----------|--------------|
| Статистический метод    | 81,2      | 0,6          |
| Метод главных компонент | 81,2      | 2,9          |
| Сегментация U-Net       | 81,2      | 2,3          |

При этом вручную в среднем необходимо проверить регионов интереса:

| Метод                   | ROI для проверки, шт. |
|-------------------------|-----------------------|
| Ручная проверка         | 3600                  |
| Статистический метод    | 166                   |
| Метод главных компонент | 35                    |
| Сегментация U-Net       | 44                    |

Выводы. В ходе выполнения работы был создан программный инструмент, который позволяет распознавать белых медведей. Причём время, затрачиваемое на обработку одной фотографии, составляет 8–10 с, что позволяет производить анализ фотографий, отснятых за один налёт, около 2 000 штук, в течение одной ночи перед вылетом самолёта на следующий день. Такой подход позволяет прямо во время экспедиции корректировать планы полёта для сбора более качественной информации о медведях. При этом финальная ручная обработка будет проведена в среднем в 10 раз быстрее (не в 100, поскольку эксперт просматривает, конечно же, не все регионы), за счёт уменьшения количества фотографий и зон на фотографиях, подлежащих проверке.

Кроме основной программы распознавания, были созданы инструменты для проведения экспериментов и отладки параметров, аугментации данных, обработки результатов и их визуализации.

В дальнейшем данное решение может быть адаптировано для распознавания объектов на других низкоконтрастных фотографиях, полученных с камер, установленных на самолёте, например, поиск караванов в пустыне или китов на водной поверхности.

Источники:

1. OpenCV Documentation, <https://docs.opencv.org/4.2.0/>.
2. An, Z., Shi, Z., Teng, X., Yu, X., Tang, W. An automated airplane detection system for large panchromatic image with high spatial resolution. 2014.
3. Bo, S., Jing, Y. Region-based airplane detection in remotely sensed imagery. 2010.
4. Cai, H., Su, Y. Airplane detection in remote sensing image with a circle-frequency filter. 2005.
5. Moranduzzo T., Melgani F. Automatic car counting method for unmanned aerial vehicle images. 2014.
6. Dешпанде М., Face Recognition with Eigenfaces. 2016.
7. Ronneberger O., Fischer P., Brox T., U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. 2015.

# ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО «КОМФОРТ»**

Исмагилов А.В.

*МОБУ Гимназия № 3, г. Мелеуз, Республика Башкортостан, Россия  
igrrb@yandex.ru*

Увлажнители воздуха в помещении исполняют важную функцию: поддерживают уровень влажности на оптимальном уровне 40–70%. Разработано и сконструировано универсальное техническое устройство, поддерживающее комфортный микроклимат в жилом помещении с функциями увлажнения, очищения, обеззараживания воздуха и циркуляции воздушных потоков. Устройство состоит трёх блоков: двухосевого солнечного трекера, накопителя электроэнергии и увлажнителя воздуха. Создано Android приложение для контроля и управления данным устройством. Механизм органично встраивается в систему «Умного дома».

В работе использовано природное капиллярное явление. По лоскуткам ткани, опущенным в воду, поднимается вода, значит, площадь поверхности испарения увеличивается. Также постоянный обдув ткани увеличивает скорость испарения. Таким образом, мощность увлажнителя зависит от количества полос ткани. Чем их больше, тем быстрее происходит процесс увлажнения. В кулере устройства используется простая вода. Кулер управляется программой, заложенной в микроконтроллер. Датчик влажности DHT11 измеряет влажность воздуха в помещении, сравнивает со значением, которое можно задать через встроенную клавиатуру, и если текущее значение меньше требуемого, то включает кулер. Значение задаваемой влажности и её текущее значение выводятся на многострочный OLED дисплей 128x64 пикселя с i2c интерфейсом. Разработан универсальной алгоритм управления всего двумя кнопками. С их помощью можно задать минимальный и максимальный уровень влажности и разные режимы работы. Для повышения функциональности добавлен ультрафиолетовый обеззараживатель воздуха.

Для повышения энергоэффективности питания для кулера используется энергия Солнца с накопителем энергии на Li-Ion аккумуляторах. Также для случаев с длительным отсутствием солнечных дней предусмотрено резервное питание от сети 220 В, которое автоматически включается при разряде аккумуляторов и подаётся до полного заряда.

Наибольший КПД солнечных батарей достигается при перпендикулярном падении солнечных лучей. При использовании двухосевого трекера КПД солнечных батарей, по сравнению со стационарными солнечными панелями, увеличивается на 30% процентов. Принцип их работы заключается в постоянном повороте солнечных панелей вслед за солнцем. Контроллер периодически считывает значения с четырёх датчиков (2 по горизонтали и 2 по вертикали) и сравнивает их. Если значения датчиков одинаковы, значит, панель наведена на солнце. Иначе контроллер

даёт команду на серводвигатель для поворота платформы. Команда на серво работает до тех пор, пока значения с датчиков не сравняются. Но в повседневной жизни использование таких трекеров минимально. Одной из причин является потребление большого количества энергии на удержание нужного положения солнечных панелей под действием внешних факторов. В процессе эксперимента обнаружено, что при вырабатываемой силе тока в 1,2 А, 0,5 А необходимо для удержания солнечных панелей в определённом положении. Такой результат не устраивал.

Решение — использование электромагнитов для фиксации положения солнечных батарей. Солнечные панели закреплены на вертикальную раму, изготовленную из 5 мм фанеры, с помощью крепежей, которые были спроектированы в программе Fusion 360 и напечатаны на 3D-принтере. Рама местами имеет просветы для уменьшения парусности (то есть для уменьшения давления ветра). По центру тяжести вертикальной рамы проходит ось, через которую крепится к горизонтальной раме. К оси закреплена шестерня, которая получает привод от серводвигателя. Для надежного вращения всей рамы и уменьшения нагрузки на серводвигатель, вращающий горизонтальную раму относительно платформы, разработана система из четырёх опорных подшипников, расположенных по краям платформы. Сделаны они в программе Fusion 360 и распечатаны на 3D-принтере. Такое конструктивное решение позволяет небольшому серводвигателю SG90 легко вращать даже массивные солнечные панели, что делает возможным лёгкое масштабирование устройства. При отключённом питании якорь первого электромагнита, натянутый пружиной, через заострённый наконечник фиксирует с заострённым концом вращающую раму по горизонтали, на которую закреплены солнечные панели к основанию платформы, жёстко закреплённой к поверхности здания. Это позволяет удерживать солнечные панели в горизонтальном положении даже при сильном ветре без потребления электроэнергии.

Алгоритм действия программы следующий. Когда солнце меняет своё положение больше, чем заложено в программе, микроконтроллер через силовой ключ включает электромагнит. Якорь освобождает вращающую раму от основания. Далее микроконтроллер включает реле питания серводвигателей, подавая ШИМ сигнал через первый серводвигатель, поправляет положение солнечных панелей перпендикулярно солнцу, отключает первый электромагнит и отключает питание сервомоторов (что так же повышает КПД этой конструкции). Якорь электромагнита под воздействием пружины обратно фиксирует нужное положение. Также микроконтроллер управляет вертикальным положением солнечных панелей перпендикулярно солнцу через второй электромагнит и второй серводвигатель. Это происходит в течение пары секунд и при минимальных затратах энергии.

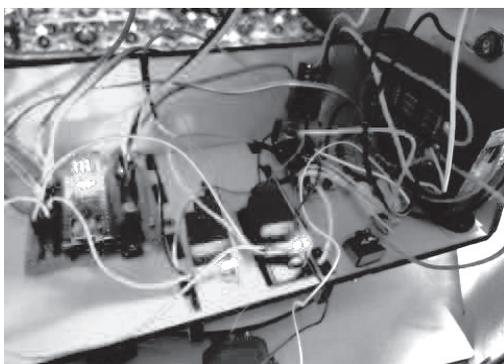
Для бесперебойной работы системы увлажнителя воздуха в ночное время разработана система для сбора и накопления энергии для резервного питания. Система, состоящая из 6 поликристаллических солнечных панелей, способна выдавать до 6 В напряжения и силу тока до 1,2 А. Излишки полученной энергии через диод и повышающий DC-DC преобразователь

подаются в аккумулятор, состоящий из трёх последовательно соединённых LI-ION элементов типа 18650. Для соединённых LI-ION элементов попутно собрано устройство для контактной сварки. Выбор LI-ION аккумуляторов обусловлен высокой ёмкостью на единицу массы и недорогой ценой. Недостатком LI-ION элементов является сложная схема защиты и заряда.

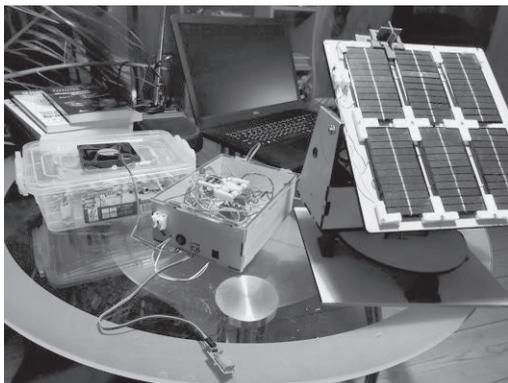
Для сохранения долговечности не следует, во-первых, допускать разряд менее 2,5 В, во-вторых, заряжать напряжением 4,2 В, в-третьих, контролировать ток заряда и разряда, не допускать короткого замыкания. Также при заряде трёх последовательно соединённых батарей надо применять балансир для равномерного заряда каждой банки. Для этих целей была собрана схема. Напряжение на выходе солнечных элементов меняется в зависимости от времени суток и погодных условий от нуля до 6,5 В. Для заряда трёх последовательно соединённых LI-ION элементов нужно напряжение 12,6 В. Поэтому для повышения напряжения мы использовали повышающий DC-DC преобразователь. С выхода аккумуляторов использовали понижающий DC-DC преобразователь 5 В для питания микроконтроллера Atmega 328, серводвигателей SG90, датчика влажности DHT11, дисплея и других элементов электрической схемы.

Полученные навыки при реализации этого проекта, позволяют в дальнейшем легко получить энергосберегающие системы с требуемыми параметрами. Устройство можно использовать в бытовых целях для увлажнения воздуха в жилом помещении, в предпринимательской деятельности в теплицах по выращиванию грибов, помидоров и огурцов, автоматического полива растений, для питания системы «Умного дома», для подзарядки телефонов и ноутбуков, для освещения в ночное время в походных условиях. Также разработана дополнительная плата DC-DC повышающего преобразователя на 25,2 В для зарядки самодельного электросамоката двигателем на 24 В.

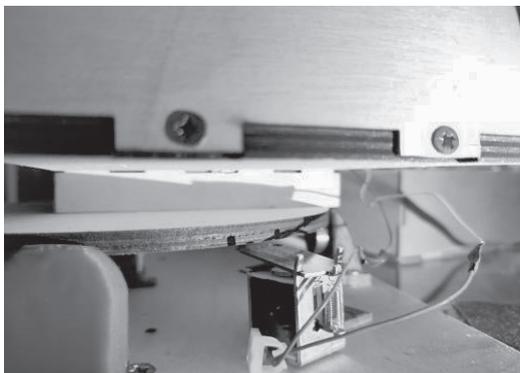
Представленный проект решает проблемы персональной энергетики, энергосбережения, автономных источников энергии и потребительских сервисов.



*Рабочее положение установки.*



*Радиоэлектронное управление.*



*Механизм для устойчивого положения  
установки.*

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

### **СОЗДАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА IOT «УМНЫЙ СКЛАД» НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32, ПЛАТФОРМ «BLYNK» И «THINGWORX»**

Ильин А.А.

*Гимназия № 642 «Земля и Вселенная», Санкт-Петербург, Россия  
Aleksandre.Ilin@yandex.ru*

Проект посвящён разработке программируемого устройства «Интернет вещей» — «Умный склад» для обеспечения автономности складских помещений, хранилищ в ситуации разрыва логистических связей, чрезвычайных ситуаций, когда невозможно обеспечить постоянное присутствие человека.

Целью работы было создание программируемого устройства на базе микроконтроллера ESP32 с возможностью вывода параметров через приложение «Blynk» и промышленную платформу «ThingWorx».

Задачи: разработка модели «Умный склад» — функциональной схемы для подключения всех компонентов к микроконтроллеру: датчиков контроля параметров в помещении склада (влажность, температура, освещённость), датчиков контроля параметров сохраняемого груза (вес, влажность, температура), кулеров для охлаждения продукта, светодиодного модуля.

Методы: программирование в Arduino IDE, применение тензометрии в IoT, изучение способов подключения плат и модулей к ESP32, подключение устройства к приложению «Blynk» и платформе «ThingWorx».

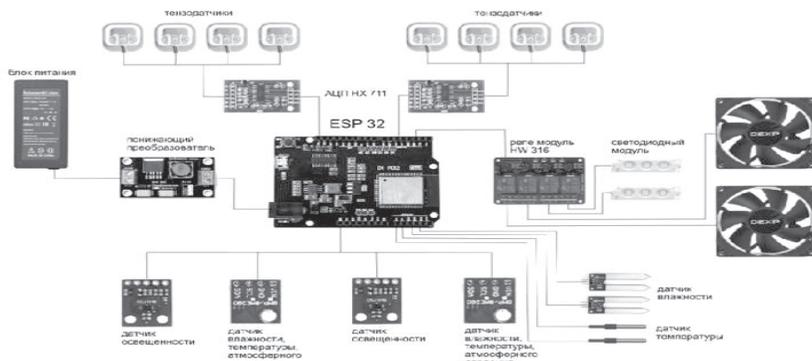
Основные результаты. Была разработана реально действующая модель для применения в складском хранении, разработан программный код. Устройство прошло успешное тестирование и доказало свою работоспособность. Датчики температуры, освещённости и влажности передают информацию на смартфон пользователя. Тензодатчики фиксируют вес груза, находящегося на двух платформах, имитирующих два разных складских помещения. При достижении пороговых значений параметров, передаваемых датчиками влажности и температуры, расположенными на платформах, микроконтроллер запускает кулеры. Таким образом, устройство поддерживает необходимые условия хранения груза в автономном режиме, своевременно информирует пользователя о нарушении режимов хранения, об изменении веса груза на платформах, его состоянии. Произведён расчёт стоимости компонентов изделия.

Варианты применения. Устройство может быть использовано в промышленном складировании и хранении, где необходим контроль вышеперечисленных параметров (зерновые, песок для бетона), на перевалочных терминалах, в агрокомплексах. Подобное устройство расширяет возможности бесконтактной доставки грузов и товаров потребителю за счёт использования тензометрии. В частных хозяйствах устройство может применяться как «умный погреб».

Актуальность проекта. Практичность применения тензометрии в IoT, удобство вывода данных на смартфон пользователя, подключение к промышленной платформе ThingWorx, низкая себестоимость изделия, расширение возможностей человека за счёт использования «умных» устройств.

## Приложения:

### 1. Функциональная схема устройства.



### 2. Вывод данных на мобильное устройство пользователя с помощью приложения Blynk и на платформу ThingWorx.



Температура воздуха в комнате 1



Температура воздуха в комнате 2



Температура объекта 1



Влажность воздуха в комнате 1



Температура объекта 2



Влажность воздуха в комнате 2



Состояние вентилятора в помещении 1



Состояние освещения помещения 1



Включить вентилятор



Включить освещение



Состояние вентилятора в помещении 2



Состояние освещения помещения 2



Включить вентилятор



Включить освещение

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

# **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ ВОДОЁМОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ОБЪЁМА И СКОРОСТИ ПРИВОДНОГО ВЕТРА**

*Бужин Н.И.<sup>1</sup>, Гладских Д.С.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Школа Юного Исследователя Институт Прикладной Физики РАН,  
Нижний Новгород, Россия*

*<sup>2</sup> Научный сотрудник ИПФ РАН, педагог ШЮИ ИПФ РАН*

Актуальность данной работы связана с существенной ролью, которую играют внутренние водоёмы (озёра и водохранилища), протекающие в них процессы и их гидрологические характеристики как в рамках социально-экономического развития регионов, где они расположены, так и как объекты исследования в ряде научных задач. Внутренние водоёмы изучаются в рамках гидрологии, лимнологии (науки об озёрах), экологии, метеорологии и климатологии. Для решения задач активно применяются современные технологии численного моделирования: с помощью физико-математических моделей, реализованных в программном коде, представляется возможным воспроизведение различных природных процессов и последующий анализ этих данных. Одной из наиболее актуальных задач, решаемых в рамках численного моделирования, является параметризация внутренних водоёмов в климатических моделях для оценки двухстороннего влияния озёр, водохранилищ и их экосистем на изменение локального климата.

В водоёмы тем или иным способом могут попасть различные биохимические примеси, и важно знать их распределение по водоёму. Для безопасного использования воды в бытовых нуждах и промышленных целях можно моделировать и прогнозировать динамику распределения примесей.

Существуют различные факторы загрязнения озёр и водохранилищ: как естественные, так и антропогенные. К первым относятся процессы эвтрофикации — цветения воды в результате роста биомассы водорослей, что может приводить к массовому замору рыбы и ухудшению качества воды. Второй важный фактор — загрязнение водоёмов за счёт выбросов с судов. Во-первых, суда загрязняют гидросферу отходами, получаемыми в результате эксплуатации; во-вторых, загрязнение происходит в результате аварийных происшествий (выброс токсичных грузов). Также в озёрах и водохранилищах происходит эмиссия парниковых газов.

Известно, что в Горьковское водохранилище ежегодно попадают удобрения, содержащие нитраты, с прилегающих территорий, что в совокупности с такими факторами, как солнечная радиация и высокая температура, провоцирует бурные процессы цветения. Противостоять этому невозможно, но, оценив влияние характеристик водоёма (размер и приводный ветер) и используя прогностические данные о скорости ветра, можно делать прогнозы о распределении концентрации примесей на разных горизонтах глубины.

Цель работы — с помощью инструментов численного моделирования (физико-математической модели и численных экспериментов) исследовать влияние горизонтальных размеров водоёма и скорости приводного ветра на процессы, протекающие в озёрах и водохранилищах, в частности, вертикальное распределение температуры и биохимических примесей.

В качестве модели была выбрана трёхмерная модель внутреннего водоёма, разработанная в НИВЦ МГУ [1;2] и модифицированная совместно с научным руководителем (добавлен блок расчёта распределения примеси). Модель основана на уравнениях гидродинамики и описывает изменения во времени скорости течений и плотности (которая зависит от температуры и солёности). Уравнения численно реализованы в программном коде. Программный комплекс написан на языке C++, для работы программы пользователем используется конфигурационный файл, в котором задаются основные параметры (размеры водоёма и его глубина, продолжительность расчёта, скорость ветра, начальный профиль температуры, параметры сетки (количество точек по каждому направлению, в которых рассчитываются необходимые характеристики, постоянные коэффициенты). На выходе программа предоставляет одномерные профили необходимых характеристик (распределения температуры, скоростей, кинетической энергии, коэффициентов турбулентной вязкости и теплопроводности), а также двухмерные и трёхмерные поля.

На входе задаётся параболический профиль примеси с высокой концентрацией у поверхности (максимум параболы на глубине 1 метр).

Для численного эксперимента с использованием выбранной модели были выбраны идеализированные водоёмы с прямоугольным сечением, размерами  $1000 \text{ м} \times 1000 \text{ м} \times 10 \text{ м}$  и  $10 \text{ м} \times 10 \text{ м} \times 10 \text{ м}$ , с отсутствием притоков, истоков и солнечной радиации. Единственным источником турбулентности и, как следствие, перемешивания является ветер, дующий в одном направлении с одинаковой скоростью в течение всего времени расчёта. Начальный профиль температуры — линейный (20 градусов у поверхности, 5 градусов у дна). Время расчёта — 7 дней. В качестве скоростей ветра были рассмотрены значения 2 м/с (слабый ветер) и 10 м/с (сильный ветер). Оба значения являются характерными для озёр: например, на Горьковском водохранилище каждый сезон наблюдаются как сильные, так и слабые ветра.

С помощью конфигурационного файла задавали параметры и затем рассматривали полученные одномерные профили таких характеристик, как температура и концентрация примесей. Следует отметить, что во внутренних водоёмах вариации температуры по горизонтали значительно слабее, чем по вертикали, поэтому нас интересовало распределение по глубине. Что касается примесей, то в эксперименте нас интересовало, как будет происходить рассеяние пятна примеси по вертикали за счёт перемешивания.

Результаты расчётов и выводы. Скорость ветра является ключевым фактором перемешивания. Отмечено, что в случае ветра в 10 м/с наблюдались однородные профили уже к концу первых суток, в то время как 10 м/с не является максимально наблюдаемой скоростью ветра

над озёрами и водохранилищами. Что же касается горизонтальных размеров водоёма, то, как видно на графиках, они также играют определённую роль в процессах перемешивания. Чем больше размер водоёма, тем перемешивание происходит быстрее. В рассмотренной модели это обеспечивается параметризацией горизонтального градиента давления, который действует противоположно скорости ветра (поток импульса) и зависит от  $L_x$  — горизонтального размера. Тем не менее, мы полагаем, что в природе подобный эффект вызван скорее тем фактом, что в небольших водоёмах недостаточно пространства для разгона поверхностных волн, индуцируемых ветром и являющихся основным источником перемешивания. Гравитационные колебания (сейши), связанные с градиентом давления, также играют роль в перемешивании, и в модели это отражено.

Подобные исследования представляют интерес при моделировании локального климата территорий, на которых расположены водоёмы. Корректный учёт гидрологических характеристик, среди которых одним из основных является распределение температуры, необходим для параметризации озёр и водохранилищ в климатических моделях [3, 4].

Что касается концентрации примесей, то ввиду широкого использования воды в промышленных и рекреационных целях, а также ввиду существования таблиц предельно допустимых концентраций вредоносных веществ в водоёмах [5], исследование распределения примесей по глубине поможет отследить, пригодна ли будет вода, расположенная на определённых уровнях, для водозаборных станций, и комфортными ли и безопасными будут условия для купания в водоёмах (в случае высокой концентрации веществ у поверхности).

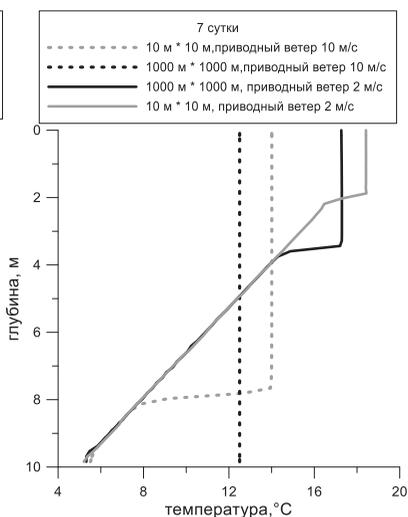
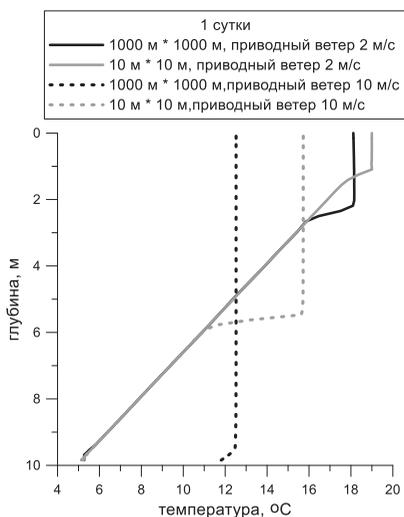


Рис. 1. Температура в первые сутки

Рис. 2. Температура в седьмые сутки.

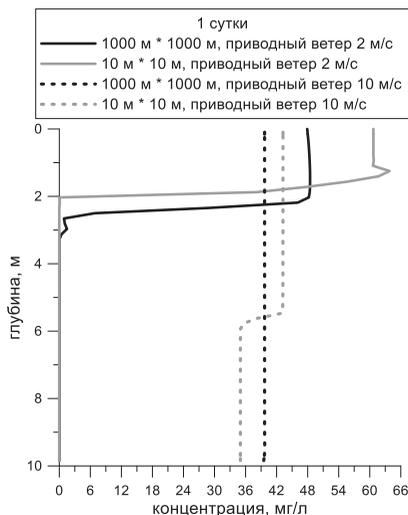


Рис. 3. Концентрация примеси в первые сутки.

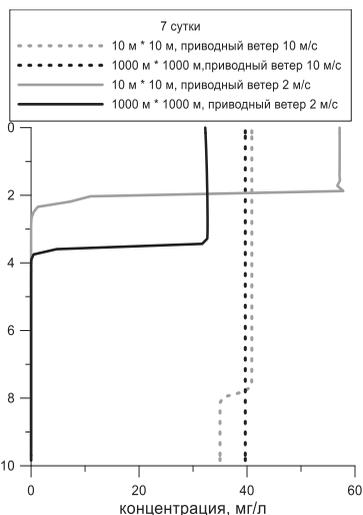


Рис. 4. Концентрация примеси в седьмые сутки.

#### Литература:

1. Mortikov E.V., Glazunov A.V., Lykosov V.N. Numerical study of plane Couette flow: turbulence statistics and the structure of pressure-strain correlations // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2019. V. 34, № 2. P. 119 — 132.
2. Gladskikh D.S., Stepanenko V.M., Mortikov E.V. On the influence of the horizontal dimensions of inland waters on the thickness of the upper mixed layer. // Water Resources. 2019. 18 pages. (submitted).
3. Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. Модель земной системы INMCM4: воспроизведение и прогноз климатических изменений в 19–21 веках с помощью модели земной климатической системы ИВМ РАН // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2013. — Т. 49, № 4. — С. 379–390.
4. Volodin E.M., Mortikov E.V., Kostykin S.V. Simulation of the present-day climate with the climate model INMCM5 // Clim Dyn (2017) 49: 3715.
5. Таблица допустимых концентраций примесей ([http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/usr\\_7954.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_7954.htm))
6. Адаменко В.Н. Климат и озёра (к оценке настоящего, прошлого и будущего). — Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. — С. 264.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ГАЗОАНАЛИЗАТОР «ОБЕРЕГ» С МЕХАНИЗМОМ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ГАЗА**

Исмагилов А.В.

*МОБУ Гимназия № 3, г. Мелеуз, Республика Башкортостан, Россия  
igrrb@yandex.ru*

Основная проблема людей, пользующихся газовыми нагревателями в быту для отопления и приготовления пищи, — вероятность неконтролируемой утечки газа.

Цель проекта. Создать функциональный, надежный, недорогой в эксплуатации механизм, способный непрерывно мониторить работу газовых приборов и в случае необходимости перекрыть подачу газа.

Техническое решение проблемы. Создание механической роботизированной руки, которая крепится поверх штатного вентиля домашнего газопровода, способной повернуть его на 90 градусов и автоматически перекрыть подачу газа в случае аварийной ситуации.

В январе прошлой зимы в нашем доме сломался защитный клапан газового котла, и возникла угроза утечки газа. Оперативно заменить поломанную деталь не представилось возможным. Перед нами стояла сложная техническая задача: мы с раннего утра уходили на работу и в школу, а наш дом оставался без присмотра. В этом году погода сопровождалась сильными ветрами, и пламя в газовом котле часто гасло. Если вовремя не отключить газ, может случиться взрыв.

Чтобы решить данную инженерную задачу, мы сконструировали газоанализатор с исполнительным механизмом на основе микроконтроллера Atmega328, установленный на плате Ардуино UNO, для предотвращения чрезмерного накопления взрывоопасных веществ в воздухе помещений и автоматического отключения бытового газа от газопровода.

Прибор питается от сети 220 вольт через блок питания на 12 вольт, также снабжён резервным питанием. Отличительной особенностью является возможность подключения до 6 датчиков, лёгкость подключения датчиков через стандартизированные разъёмы 4P4C. Но самое главное преимущество нашего технического решения — это монтаж исполнительного устройства поверх существующего штатного вентиля. То есть при внедрении нашего устройства «Оберег» в домашний газопровод не надо ничего менять: оно закрепляется на существующий перекрывающий подачу газа вентиль всего двумя хомутами. И при внештатных ситуациях «роботизированная рука» просто поворачивает вентиль. Для удобства крепления устройство управления и датчики установлены на магнитные застёжки.

Устройство более трёх месяцев использовалось в нашем доме и оберегало нас от несчастных случаев.

Кроме того, мы разработали мобильное приложение на телефон в программе «MITAppInventor». По Bluetooth устройство передаёт данные



**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА  
В ПОМЕЩЕНИИ**

Башаримов Е.А.

*Государственное учреждение образования «Средняя школа № 1  
г. Могилёва»  
vedz.science@gmail.com*

Микроклимат помещения — это комплекс метеорологических условий: температура, относительная влажность, содержание в воздухе твёрдых частиц, содержание CO<sub>2</sub> и других газов, уровень УФ-излучения и атмосферное давление. Обеспечение нормальных условий является необходимым и обязательным условием жизнедеятельности людей, животных и растений. Поэтому измерение показателей микроклимата и наличие устройств для этого является важным.

В ходе изучения литературы было установлено, что метеостанции уже разработаны и выпускаются многими компаниями, производящими бытовую и специализированную технику. При этом такие устройства в основном базовые, с определённым (ограниченным) набором функций и возможностей [3].

Нашей целью стало создание устройства с возможностью расширения функциональности в зависимости от запросов потребителя для использования в различных условиях.

Устройство на базе Arduino [1] может получать информацию об окружающей среде посредством различных датчиков.

В наши цели входило:

- Установить датчики температуры и влажности воздуха, датчик наличия примесей угарного и углекислого газов в воздухе, а также оптимизировать систему под модули датчика атмосферного давления, сенсора концентрации мелких частиц и датчика ультрафиолетового излучения.
- Предусмотреть возможность отображения текущего времени и даты.
- Сделать возможной отправку данных на мобильное устройство при помощи Bluetooth;
- Разработать мобильное приложение для просмотра данных и настройки.
- Осуществить модульность системы с последующим расширением линейки модулей.

Во время работы возникали различные трудности. Например, некоторые библиотеки в коде устройства не могли работать друг с другом, поэтому приходилось их оптимизировать. Также пришлось впервые познакомиться с программой для 3D-моделирования. Сам код занимал слишком много места на устройстве, поэтому приходилось его оптимизировать. При разработке

приложения появлялись проблемы с отображением данных, которые впоследствии были устранены.

В результате проведённой работы мы полностью осуществили свои цели.

Нами было разработано автономное устройство для отображения различных показателей микроклимата в помещении (Рис.1).

Было разработано приложение для мобильных устройств для связи по Bluetooth и удобного просмотра данных (Рис.2).

Осуществлена модульность системы с последующим расширением линейки датчиков.

Установлены датчики, а также налажена их поддержка.



*Рис. 1.*

Необходимость в двух экранах появилась из-за относительно большого количества выводимой информации.

Режимы второго экрана переключаются кнопками «<» и «>» на пульте дистанционного управления. В первом режиме на экране отображаются текущая температура, относительная влажность и качество воздуха. При выбранном втором режиме отображается текущее атмосферное давление и концентрация мелких частиц. При выбранном третьем режиме отображается индекс ультрафиолетового излучения и шкала от 0 до 11. На верхнем экране всегда отображаются текущая дата и время.

Оба дисплея подключены к аналоговым пинам А4 и А5 по шине i2c, а также для изменения адреса одного из них установлена перемычка на задней части. Используются библиотеки «LiquidCrystal\_I2C.h» и «Wire.h».

Датчик температуры и влажности DHT11 [4] подключён к цифровому пину D7, а для его работы используется специальная библиотека «DHT.h». Датчик определяет температуру от 0°C до 50°C с точностью 2% и уровень влажности от 20% до 80% с точностью 5%.

Датчик угарного/углекислого газа подключён к аналоговому пину A0; датчик подаёт аналоговый сигнал, величина которого пропорциональна количеству газа, который он обнаружил. Погрешность зависит от окружающей температуры и влажности.

Логический выход сенсора концентрации мелких частиц подключён к пину A3. Показания датчика рассчитываются при помощи формулы, а также зависят от выходного напряжения.

Барометр подключён по шине i2c, а для его работы в коде используется специальная библиотека «Adafruit\_BMP085\_U.h». Данные выводятся в гектопаскалях, но могут также отображаться в миллиметрах ртутного столба.

Сенсор ультрафиолетового излучения подключён к пину A1, а его показания зависят от выходного напряжения и определяются по значению. Данные выводятся в виде индекса ультрафиолетового излучения.

Модуль часов реального времени DS3231 [2] подключён по шине i2c к аналоговым пинам A4 и A5. Для его работы используется библиотека «iarduino\_RTC.h». Погрешность модуля составляет +/- 4ppm (parts per million).

Bluetooth-модуль подключён к пинам TX и RX. Передача данных происходит по двум каналам.

Приёмник для пульта дистанционного управления подключён к цифровому пину D4. Для его работы используется библиотека «IRremote.h», декодирующая сигнал.

Для питания устройства был выбран аккумулятор типа 18650 на 3,6 вольт. Для его зарядки используется зарядный модуль TP4056. Напряжение на выходе повышается при помощи повышающего преобразователя MT3608.

Также в схеме присутствует зуммер, предназначенный для звуковой индикации происходящего во время работы устройства. Он подключён к цифровому пину D5.

Код-программа для устройства написана на модифицированном языке программирования C++, специально адаптированного для работы с платами Arduino. А приложение для смартфона (Рис. 3) создано в визуальной среде разработки MIT App Inventor и может работать на операционной системе Android.

Корпус для устройства был напечатан на 3D-принтере, а разработан в программе Fusion 360.



Рис. 2.

В «базовой» версии устройство оснащено датчиком температуры и влажности, а также датчиком концентрации газов. Отдельно же можно установить в устройство сенсор мелких частиц, барометр, а также датчик УФ-излучения. В будущих версиях планируется осуществить поддержку также других модулей (датчиков).

#### Литература:

1. Arduino Uno | Аппаратная платформа // Arduino.ru [Электронный ресурс]. — 2020.  
Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>.
2. Подключение RTC часы реального времени DS1302, DS1307, DS3231 к Arduino // IARDUINO [Электронный ресурс]. — 2020.  
Режим доступа: <https://lesson.iarduino.ru/page/podklyuchenie-rtc-chasy-realnogo-vremeni-ds1302-ds1307-ds3231-k-arduino/>.
3. Обзор Bluetooth датчика температуры и влажности для умного дома Xiaomi // IXBT [Электронный ресурс]. — 2020.  
Режим доступа: <https://lesson.iarduino.ru/page/podklyuchenie-rtc-chasy-realnogo-vremeni-ds1302-ds1307-ds3231-k-arduino/>.
4. Датчик влажности и температуры DHT11 // 3d-diy.ru [Электронный ресурс]. — 2020.  
Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-vlazhnosti-i-temperature-dht11/>.

**ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**  
**ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ  
С ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТОНКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Баранов А.В.<sup>1</sup>, Петров Н.Ю.<sup>1</sup>, Серикова В.А.<sup>2</sup>, Шитикова Е.А.<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Новосибирский государственный технический  
университет, Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup>Лицей № 126, Новосибирск, Россия  
n.petrov@corp.nstu.ru*

Как утверждают эксперты, технической основой цифровой экономики будут кибер-физические системы (КФС) [1–3]. Последние сочетают в себе технические компоненты, функционирующие в соответствии с физическими принципами и компоненты, осуществляющие цифровой анализ и управление предыдущими [1].

Начальным этапом нашего исследования стало изучение проблемы использования тонких строительных панелей (ТСП) для звукоизоляции в помещениях. В основе проблемы, в том числе, лежат физические явления проникновения и отражения звука на границах раздела сред. Отношение удельных акустических сопротивлений двух контактирующих сред определяет амплитуды и энергии прошедшей и отражённой звуковых волн [4]. Удельные акустические сопротивления могут быть рассчитаны по известным значениям плотности вещества и фазовой скорости звука в материале панели. Для ТСП такой расчёт затрудняется проблемой определения скорости звука в панели, что связано с малым временем распространения акустического сигнала (порядка 1–3 мкс).

Целью нашей работы является разработка макета КФС, позволяющей в автоматизированном режиме осуществлять диагностику акустических характеристик выпускаемых предприятиями тонких строительных панелей с учётом малого времени распространения акустического сигнала в них.

Нами была разработана электрофизическая установка для измерения акустических характеристик ТСП. Функционирование системы основано, в частности, на прямом и обратном преобразованиях электромагнитного сигнала в акустический. Исследуемая ТСП размещается между излучателем звука и приёмником. В качестве последних элементов в установке используются акустические динамики. На первый динамик подаётся переменное напряжение с генератора звуковых частот. Акустический сигнал, прошедший через ТСП, попадает во второй динамик и преобразуется в переменное напряжение. Малое время запаздывания акустического сигнала в ТСП регистрируется с использованием двухканального цифрового осциллографа (АКТАКОМ АОС-5062), на который подаются электромагнитные сигналы с излучателя и детектора звука.

Фазовый сдвиг выходного сигнала по отношению к входному сигналу позволяет найти время распространения звука в ТСП. При этом необходимо учитывать конечное время распространения звука в воздушных зазорах динамик-панель-динамик. С этой целью производятся два измерения времени запаздывания сигнала: 1) с панелью между двумя динамиками и 2) с двумя динамиками, расстояние между которыми уменьшено на толщину панели по сравнению с расстоянием в предыдущем эксперименте.

Проведённые эксперименты легли в основу методики, позволяющей рассчитать скорость звука и удельное акустическое сопротивление материала ТСП. Был установлен ряд факторов, влияющих на объективность получаемых данных, и определены возможности повышения точности измерения и расчётов. Наиболее существенным оказался факт наличия в сигнале детектора большой «шумовой» компоненты. Перед нами встала задача обработки сигнала с целью выделения основной гармонической составляющей на фоне неустраняемых помех.

В экспериментах задача была решена с помощью функции цифровой фильтрации осциллографа. Использовался цифровой фильтр нижних частот, выделяющий основную гармонику сигнала. Это позволило продемонстрировать возможности предлагаемой методики измерения скорости звука в ТСП.

Следующим этапом исследования стала разработка макета КФС, представляющей собой интеграцию нашей электрофизической установки с компьютером, осуществляющим цифровую обработку сигналов без использования осциллографа и производство необходимых расчётов акустических характеристик. С целью апробации макета КФС файлы с данными оцифровки сигналов осциллографом использовались для обработки в СКМ MathCad. Обработка осуществлялась с помощью написанной программы фильтрации, основанной на преобразованиях Фурье. Использовались две встроенные функции MathCad: READPRN, возвращающая матрицу, в которой каждая строка определяется записью (строкой) анализируемого файла оцифрованного сигнала и FFT, возвращающая матрицу коэффициентов ряда Фурье. С использованием последних определялся фазовый сдвиг основной гармоники выходного сигнала по отношению к входному и вычислялась скорость звука в ТСП. Произведение скорости звука на усредненное значение плотности вещества ТСП позволило сделать количественную оценку значения удельного акустического сопротивления ТСП.

Положительные результаты апробации нашего макета интегрированной измерительной системы с цифровой обработкой данных позволяют утверждать возможность создания автономных КФС, позволяющих в автоматизированном режиме осуществлять диагностику акустических характеристик выпускаемых предприятиями тонких строительств панелей с последующей передачей данных на пункт контроля изделий.

Литература:

1. В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Сиягов. *International Journal of Open Information Technologies*, 4, no. 2, 18–25.
2. E.A. Lee. *Sensors*, 2015, 15, 4837–4869.
3. R.F. Li, Y. Xie, R. Li, and L. Li. *J. Comp. Res. Dev.*, 2012, 49, 1149–1161.
4. B. Zeqiri, W. Scholl, S.P. Robinson. *Metrologia*, 2010, 47, 156–171.

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОДАЖ В МАГАЗИНЕ

Бильданов Р.Р., Куращенко Л.В., Овсяников И.В., Саржанов Т.Н.  
СУНЦ НГУ, г. Новосибирск, Россия  
ravilbildanov@gmail.com

В чередке осенне-зимних распродаж «чёрная пятница» имеет особое значение. В США эта акция занимает лидирующие позиции по показателям прибыли в сегменте интернет-торговли, а также по интенсивности трафика и спроса. Однако «чёрная пятница» и другие подобные ей распродажи стимулируют давки во время проведения. Давки подрывают популярность магазина среди покупателей, а также в давках значительная часть товара становится непригодной для продажи. При особенно масштабных давках может потребоваться капитальный ремонт магазина после «чёрной пятницы». Поэтому является важной задачей планировки магазина так, чтобы в «чёрную пятницу» ему был нанесён минимальный ущерб.

В работе предложена математическая модель ущерба магазину во время «чёрной пятницы» или любой другой подобной распродажи, а также оптимальная планировка и зонирование магазина для «чёрной пятницы» на основе предложенной модели.

Модель развита на основе предложенной в олимпиаде IMMS-20 задачи, поэтому данные по товарам, продаваемым в «чёрную пятницу» и планировке магазина, взяты из предложенных оргкомитетом IMMS для решения этой олимпиадной задачи. Оргкомитет IMMS предлагал решать задачу для условного магазина бытовой техники с общей стоимостью товаров 900 000 долларов.

Для решения задачи определены и проанализированы возможности повреждения товаров во время распродажи. Мы считаем, что функцию ущерба товарам в некоторой точке магазина можно описать следующим образом:  $L(\rho(x, y)) = k_1\rho(x, y) + k_2\rho^2(x, y)$ . Линейный член здесь описывает неаккуратность покупателей, а квадратичный — конфликты между покупателями, кражи и нелинейную составляющую неаккуратности от количества покупателей в данном отделе магазина. Функция  $\rho(x, y, t)$  описывает плотность покупателей в данной точке магазина  $(x, y)$  в данный момент времени  $t$ .

Также предложен способ определения наиболее популярных товаров во время распродажи. Функция для популярности товара Wish определяется как функция от рейтинга товара (есть в данных), скидки на него в распродажу, закупок этого товара на душу населения и его количества в магазине:  $W = \frac{P}{\Sigma P} * \frac{D}{D_{\max}} * \frac{nQ+1}{n(Q+1)} * \log_5 R$  — основание каждого множителя:

$\frac{P}{\Sigma P}$  — относительная величина покупок рассматриваемого товара;

$\frac{D}{D_m}$  — величина скидки относительно максимальной рассмотренной.

$\frac{nQ+1}{(n+1)Q} = f(Q)$  — значимость количества товара.

$\log_5 R$  учитывает рейтинг товара. Такую форму записи мы выбрали, потому что для человека более характерно логарифмическое восприятие согласно закону Вебера-Фехнера. Основание 5 выбрано из-за того, что рейтинг принимает значения от 1 до 5.

На основе предложенного набора товаров сделано разбиение всех товаров на 13 групп для возможности зонирования магазина: кухонная техника, крупная бытовая техника, камеры и наушники, мониторы, пылесосы, принтеры, телевизоры, планшеты, игровые ПК и игровые ноутбуки, консоли, стационарные ПК, видеоплееры, ноутбуки. Получено, что для предложенного набора товаров наиболее популярной в «чёрную пятницу» будет крупная бытовая техника, а наименее популярной — игровые компьютеры и ноутбуки.

В основе нашей модели «чёрной пятницы» лежит агентный алгоритм (агентное моделирование), построенный средствами пешеходной библиотеки AnyLogic и написанными нами функциями на языке программирования Java с отдельными объектами-агентами, чьи индивидуальные характеристики определяют движение всей системы.

Принцип работы агентной модели следующий. Каждый покупатель идёт к стеллажу со своим отдельным товаром, динамически перестраивая путь, чтобы избежать возможных препятствий (давки людей в проходе или столкновения с другим стеллажом) и прийти к товару кратчайшим путём. По прибытии покупатель случайным образом стоит у стеллажа от 0,5 до 3 минут для ознакомления с характеристиками товара [1]. Далее по описанному выше принципу покупатель идёт на кассу, оплачивает товар и покидает магазин. Касса реализована блоком пешеходной библиотеки AnyLogic «сервис с очередями», который имитирует настоящие очереди на кассах со временем обслуживания одну минуту. Прямо пропорционально времени нахождения в отдельной точке каждый покупатель оставляет свой цветной «след» на карте плотности пешеходного потока. Соотнеся градации цвета с численной шкалой, мы находим среднюю плотность потока на каждом участке за всё время распродажи.

Формула для суммарного ущерба:  $L = \rho^2 ST$ , где  $\rho$  — средняя плотность,  $S$  — площадь участка,  $T$  — время распродажи. Линейный член в формуле избыточен, потому что линейная составляющая неаккуратности при сколь угодно большой плотности покупателей вполне просчитываема и уже включена в цену товара. При расчётах можно предположить, что при небольшой плотности покупателей  $L$  будет мало, и поэтому необходимость учёта ущерба в непопулярных отделах магазина будет излишней. Мы сочли, что допустимо считать ущерб товарам на стеллаже пренебрежимо малым тогда, когда плотность ни разу не поднималась выше  $\frac{2}{3}$  от максимума и средняя плотность за всё время не выше, чем  $\frac{1}{2}$  от максимума.

Мы считали, что от данного ущерба  $L$  стеллажу может быть повреждено и в итоге не куплено от  $N_1(L)$  до  $N_2(L)$  товаров. При оценке было получено, что  $N_2(L) = 4 * N_1(L)$  и наиболее вероятно, что повредят  $2 * N_1(L)$  товаров.

Денежный же ущерб магазину составит  $\underline{C}N(L)$ , где  $\underline{C}$  — средняя цена одного товара на стеллаже. Таким образом, общий денежный ущерб магазину будет являться числом из интервала

$$[\sum_{i=1}^l \underline{C}_i N_{1i}(L), \sum_{i=1}^l \underline{C}_i N_{2i}(L)].$$

Предложено три варианта зонирования для изначальной планировки магазина и два альтернативных варианта планировки, для всех вариантов зонирования и планировки рассчитан возможный ущерб магазину.

Ущерб для варианта 1 зонирования составит от 31 000 до 123 000 долларов, причём наиболее вероятен ущерб в размере 62 000 долларов.

Ущерб для варианта 2 зонирования составит от 23 000 до 91 000 долларов, причём наиболее вероятен ущерб в размере 46 000 долларов.

Ущерб для варианта 3 зонирования составит от 33 000 до 130 000 долларов, причём наиболее вероятен ущерб в размере 65 000 долларов.

Ущерб для варианта 1 планировки составит от 29 000 до 114 000 долларов, причём наиболее вероятен ущерб в размере 57 000 долларов.

Ущерб для варианта 2 планировки составит от 12 000 до 48 000 долларов, причём наиболее вероятен ущерб в размере 24 000 долларов.

При разработке вариантов зонирования мы применяли следующие идеи [2,3]:

1. Должно быть несколько кольцевых путей от входа до касс, притом плотность покупателей на каждом пути должна быть примерно одинакова.
2. Мы также исходили из личного опыта, например, телевизоры обычно выставлены на длинные стеллажи, т. к. на них по всей длине выставлены по 1 экземпляру каждой модели, а остальные коробки лежат за ними.
3. Надо увеличивать площадь областей с большим количеством популярных товаров для избежания больших скоплений людей.

По итогам работы с зонированием сделаны следующие выводы:

1. Покупатели толпятся в узких проходах вне зависимости от Wish товаров на соседних стеллажах.
2. В предложенной планировке слишком много стеллажей, что плохо влияет на пропускную способность.

Создавая новые планировки, мы учли наши прошлые наработки и опирались на следующие соображения [2,3]:

- Мы пытались раздробить толпу, чтобы они не толпились в узких проходах, для этого мы сделали большое количество разделительных стеллажей.

- Мы удалили большую часть стеллажей, чтобы увеличить пропускную способность магазина.
- Мы использовали стеллажи с наиболее популярными товарами в качестве аттракторов, чтобы сместить покупателей в нужные нам области.

Литература:

1. Каталевский Д. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. — 2013.
2. Крок Г., Сысоева С.В. Большая книга директора магазина. — 2015.
3. Леви М., Вейтц Б.А. Основы розничной торговли. — 1999.

## **Информатика**

**1. Двас П.Г., Кураленок С.И., Амбросовская Д.В.,  
Вашпанов А.В., Кононов С.И., Малахов Д.А., Григорович В.Д.,  
Гирвиц А.М., Дмитриева В.В.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30»,  
9, 10, 11 класс

### **Разработка системы визуализации трёхмерных сцен для спортивных тренировок**

Работа посвящена визуализации трёхмерных сцен для симуляции тренировок пользователя. Данная система позволяет как спортсменам, так и любителям активного образа жизни ощутить себя на полноценной уличной тренировке не выходя из дома. Для этого требуется тренажёр с возможностью подключения по Bluetooth и персональный компьютер. Во время тренировки можно наблюдать за своими показателями. При наличии подключения к интернету можно проводить совместные тренировки.

Научный руководитель: Галинский В.А.

Место выполнения работы: ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30»

## **2. Рубашкин И.М.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ «Президентский ФМЛ № 239», 10 класс

### **Иерархический алгоритм обучения с подкреплением — C2PRL**

Обучение с подкреплением — область машинного обучения, оптимизирующая взаимодействие «агента» и среды. C2PRL — иерархический алгоритм, состоящий из двух частей: мозга (высший уровень, принимает решения и управляет исполнителем) и исполнителя (нижний уровень, выполняет команды мозга). На практике используются глубокие нейронные сети. Алгоритм был протестирован с помощью библиотеки gym (Atari 2600 игры). Было выявлено, что C2PRL достигает сверхчеловеческих результатов в поставленных задачах.

Научный руководитель: Левин М.К.

Место выполнения работы: ГБОУ «Президентский ФМЛ № 239»

## **3. Синицын А., Каданцев Г.**

Россия, Санкт-Петербург, ЧОУ ОидО «ЛНМО», 11 класс

### **Персистентные гомологии и анализ гистологических данных**

Работа посвящена изучению гистологических изображений при помощи методов топологического анализа данных. Главной характеристикой снимка выбрана персистентная энтропия. Цель — показать, что персистентная энтропия может быть полезна для компьютерной диагностики рака. В работе реализован алгоритм вычисления энтропии, проведён анализ набора

изображений здоровой ткани и колоректального рака. В энтропии снимков здоровой ткани и рака были найдены существенные различия.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Иванов С.О.

Место выполнения работы: ЧОУ ОиДО «ЛНМО»

#### **4. Журавлев С.Г.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 11 класс

##### **Распознавание полярных медведей на аэрофотоснимках**

Работа посвящена распознаванию полярных медведей на снимках, сделанных с самолёта. Основная задача — обнаружить белого медведя на ледяном покрове Северного Ледовитого океана. В работе предлагается подход к решению, основанный как на статистических методах анализа изображений, так и на методах машинного обучения, что позволяет создать инструмент для полуавтоматического распознавания медведей с меньшим (чем ручная проверка) временем работы. Отличительной особенностью предлагаемого решения стало то, что практически ни один медведь не был упущен, в то время как объём данных и время, необходимое для последующей ручной перепроверки экспертом при отсеивании ложных срабатываний, были существенно снижены.

Научный руководитель: Савчук Д.А.

Место выполнения работы: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого

#### **5. Бузин Н.И.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 10 класс

##### **Численное моделирование гидрологических характеристик внутренних водоёмов в зависимости от горизонтальных размеров объёма и скорости приводного ветра**

В работе представлено исследование гидрологических характеристик внутренних водоёмов в зависимости от горизонтальных размеров и скорости приводного ветра. В качестве инструментов выбраны численная модель, написанная на языке C++ и разработанная в НИВЦ МГУ, и серия вычислительных экспериментов. В ходе работы демонстрируется влияние одних параметров (приводного ветра, размеров водоёма) на другие (термический режим, динамику примесей). Основная значимость работы заключается в исследовании характеристик озёр для последующего использования в климатических моделях.

Научный руководитель: Гладских Д.С.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **6. Воронин М.М.**

Россия, Нижний Новгород, ШЮИ ИПФ РАН, 10 класс

### **Разработка метода прогноза молниевых разрядов по радиолокационной отражаемости**

В работе представлен анализ радиолокационной отражаемости при молниевом разряде для последующего создания метода прогноза молний. В качестве инструментов использовались программы, написанные на языках C++ и Python, а также данные сети WWLLN, содержащие информацию о координатах и времени молниевых разрядов, и данные метеорологического радара ДМРЛ-С, содержащие информацию о радиолокационной отражаемости в окрестности Нижнего Новгорода. На основе проведённого исследования можно предположить, что наибольшая вероятность возникновения молниевых разрядов при радиолокационной отражаемости от 35 до 45 дБз, также молниевые разряды возможны при радиолокационной отражаемости от 9 до 57 дБз.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Дементьева С.О.

Место выполнения работы: ШЮИ ИПФ РАН

## **7. Шестакова Д.В.**

Россия, Новосибирск, МБОУ ЭКЛ, 11 класс

### **Статистическое исследование генов методами скрытых марковских моделей**

Как известно, любой геном, помимо кодирующих последовательностей, содержит в себе около 95% избыточной ДНК. Цель работы — создание алгоритма, выделяющего избыточную часть от ДНК. Методом исследования стали алгоритмы скрытых марковских моделей (СММ). В ходе исследования для обучения модели были посчитаны статистические данные, написана программа на основе алгоритма Витерби, с помощью которой была определена последовательность генов суриката. После сравнения её с последовательностью дрозофилы были найдены похожие в них экзоны, что доказывает перспективность применения СММ.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Дедок В.А.

Место выполнения работы: МБОУ ЭКЛ

## **8. Латыпов В.В., Ситников А.Т.**

Россия, Санкт-Петербург, Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПбАУ РАН, 10 класс

### **Машинный анализ русскоязычных текстов**

Исследование посвящено разработке программных инструментов для анализа текстов. Используются такие технологии, как Word2Vec, model stacking, а также самостоятельно разработанные алгоритмы кластеризации и нахождения расстояния между распределениями в пространствах высокой размерности. Слова лемматизируются. Дополнительные обучаемые признаки: распределение длин предложений, словоформы, патерны

предложений, разбор их по составу и др. Модели второго уровня — перцептрон и генетический алгоритм.

Научный руководитель: Филиппов Л.И.

Место выполнения работы: Академический лицей «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова СПБАУ РАН

### **9. Усачёв Н.В., Шифон Я.Н., Кадырова О.А., Скрыбин И.А.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 10 класс

#### **Метод расчёта показателя RWA при неттировании**

Банковское дело требует максимально качественного подхода, в результате которого будет найдено наиболее эффективное решение. В задачу работы входило разделение предоставленного портфеля контрактов на корректные «группы неттирования», минимизирующие значение RWA.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Давыдов М.Н.

Место выполнения работы: СУНЦ НГУ

### **10. Куращенко Л.В., Бильданов Р.Р., Овсянников И.В., Саржанов Т.Н.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 10, 11, 9 класс

#### **Моделирование распродаж в магазине**

В работе предложена математическая модель ущерба магазину во время «чёрной пятницы». Для этого проанализированы возможности повреждения товаров во время распродажи и предложен способ определения наиболее популярных товаров. Использовалась имитационная модель в среде AnyLogic, полученные на её основе данные применялись для расчёта ущерба. Предложено несколько планировок магазина бытовой техники, для всех рассчитан возможный ущерб.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Давыдов М.Н.

Место выполнения работы: СУНЦ НГУ

## **Робототехника**

### **11. Родин Ф.М., Коновалов И.В., Малыш И.И.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 2033, 11 класс

#### **Робот удалённого присутствия**

Большинство роботов, представленных на современном рынке, узконаправлены, имеют высокую стоимость и сложны в обслуживании. Наш гусеничный робот — универсальное простое, дешёвое и надёжное решение. Его корпус собирается из металлических профилей, в ходовой части используются металлические элементы. Он управляется через интернет из любой точки мира и может иметь множество применений, начиная с перевозки небольших грузов и заканчивая работами в опасных зонах, поисками людей под завалами (бортовой тепловизор позволяет различать людей), исследованиями труднодоступных мест (газопроводов, замкнутых подземных пространств и др.).

Научный руководитель: Мухачёв А.Я.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 2033

### **12. Ильин А.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ гимназия № 642 «Земля и Вселенная», 8 класс

#### **Создание программируемого устройства IoT «Умный склад» на базе микроконтроллера ESP32, платформ Blynk и ThingWorx**

Проект посвящён разработке программируемого устройства «Интернет вещей» — «Умный склад» для обеспечения автономности складских помещений. В ходе работы была создана реально действующая модель на базе микроконтроллера ESP32, оснащённая датчиками, осуществляющая вывод данных на смартфон пользователя с приложения «Blynk», а также на промышленную платформу «ThingWorx». Успешно протестированное устройство обеспечивает необходимые условия хранения груза, контролирует его вес и состояние; может быть использовано на складах, перевалочных терминалах, для бесконтактной доставки товаров, а также в качестве «умного погреба».

Научный руководитель: Безверхов И.Н.

Место выполнения работы: ГБНОУ «Академия цифровых технологий»

### **13. Исмагилов А.В.**

Россия, Республика Башкортостан, Мелеуз, МОБУ Гимназия № 3, 10 класс

#### **Многофункциональное энергосберегающее устройство «Комфорт»**

В работе представлено универсальное техническое устройство, поддерживающее комфортный микроклимат в жилом помещении, с функциями увлажнения, очищения, обеззараживания воздуха и циркуляции воздушных потоков. Устройство состоит трёх блоков: двухосного

солнечного трекера, накопителя электроэнергии и увлажнителя воздуха. Создано приложение под Android для контроля и управления данным устройством. Механизм органично встраивается в систему «Умного дома».

Научный руководитель: Исмагилов В.М.

Место выполнения работы: МБОУ ДО СЮТ

#### **14. Башаримов Е.**

Республика Беларусь, Могилёв, ГУО «Средняя школа № 1», 9 класс

##### **Устройство мониторинга микроклимата в помещении**

В работе представлено автономное устройство для измерения показателей микроклимата, таких как содержание CO<sub>2</sub>, содержание в воздухе мелких частиц, УФ-излучение, температура, влажность. Устройство является модульным, то есть некоторые из датчиков можно убрать, а некоторые, наоборот, добавить. Устройство можно управлять с мобильного устройства при помощи разработанного приложения. Также приложение позволяет просматривать показания устройства. Кроме того, устройством можно управлять с помощью пульта ДУ.

Научные руководители: Плетнёв А.Э., Гусев С.В., Сугакевич А.Г.

Место выполнения работы: Лицей МО УВО «Белорусско-Российский университет»

#### **15. Исмагилов А.В.**

Россия, Республика Башкортостан, Мелеуз, МОБУ Гимназия № 3, 10 класс

##### **Газоанализатор «Оберег» с механизмом автоматического отключения газа**

В ходе работы было сконструировано устройство, с помощью которого происходит автоматическое закрытие вентиля крана в случае утечки газа. Данный процесс обеспечивает запрограммированный Arduino UNO: он обрабатывает сигнал, полученный от газовых датчиков. Затем микроконтроллер в случае значительной утечки газа отправляет сигнал на шаговый двигатель, который непосредственно приводит механизм в движение. С помощью Wi-fi модуля возможно дистанционное управление устройством с помощью мобильного приложения, что позволяет определить степень загазованности в помещении и в случае опасности перекрыть вентиль газового крана.

Научные руководители: Исмагилов В.В., Исмагилова Г.Р.

Место выполнения работы: МБОУ ДО СЮТ

### **16. Шитикова Е.А., Серикова В.А.**

Россия, Новосибирск, МБОУ Лицей № 126, 11 класс

#### **Интеграция системы цифровой обработки с электрофизической установкой для определения акустических характеристик тонких строительных панелей**

Цель работы — создание макета кибер-физической системы, позволяющей в автоматизированном режиме осуществлять диагностику акустических характеристик тонких строительных панелей. Спроектированная электрофизическая установка интегрирована с компьютером, осуществляющим цифровую обработку сигналов диагностики. Обработка сигналов производится с помощью разработанной программы фильтрации, основанной на преобразованиях Фурье. Получены положительные результаты апробации системы.

Научный руководитель: Петров Н.Ю.

Место выполнения работы: МБОУ Лицей № 126

### **17. Крук Е., Смирнова Н.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30», 8, 10 класс

#### **Машина для рисования на кофе**

Часто мы видим, как в кафе или ресторанах, где подают кофе, рисуют на нём разные картинки. Мы решили создать устройство, выполняющее подобную функцию, и сделать его максимально удобным для пользователя. Разработка устройства выполнена на основе простейшей схемы ЧПУ станка.

Научный руководитель: Кузовчиков А.И.

Место выполнения работы: ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30»

### **18. Медведев А.А.**

Республика Беларусь, Витебская обл, аг. Новка, ГУО «Новкинская средняя школа Витебского района», 9 класс

#### **Исследование библиотеки opencv для создание системы слежения на базе Arduino Uno**

В мире всё большую актуальность приобретают системы распознавания, или технологии компьютерного зрения. В работе представлена система слежения за одним лицом. Используются плата Arduino Uno, два сервопривода и камера. Программа по системе распознавания лица реализована на языке C++ с помощью библиотеки OpenCV. Все данные программы передаются на плату Arduino, которая с помощью сервоприводов осуществляет поворот камеры в различных плоскостях.

Научный руководитель: Кустова К.В.

Место выполнения работы: ГУО «Новкинская средняя школа Витебского района»

### **19. Меринова Д.Д., Леонтьев М., Хромова А.В., Печень Д.Ю.**

Россия, МО, Одинцовский р., Раздоры, АНОО «Областная гимназия им. Е.М. Примакова», 9, 8 класс

#### **Проект «SchoolEcomonitoring»**

Цель — создание системы «SchoolEcomonitoring» на базе микроконтроллера Arduino, позволяющего измерять содержание вредных примесей в приземном слое воздуха путём обмена данными с зондов и анализаторов воздуха. Ключевые особенности проекта — универсальность и общедоступность в производстве, возможность реализации любой группой школьников.

Научный руководитель: Цин П.Я.

Место выполнения работы: АНОО «Областная гимназия им. Е.М. Примакова»

### **20. Мозер З.С., Пекшиев И.К.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ «Президентский ФМЛ № 239», 7 класс

#### **Робот — исследователь лабиринта**

При землетрясениях, лавинах и других природных катаклизмах разрушаются дома, и под завалами очень сложно найти людей. Роботы это могут сделать быстрее и продуктивнее. Робот должен находить пострадавших в доме (заменённом на лабиринт) и давать им спасательный набор — кубик.

Научный руководитель: Филиппов С.А.

Место выполнения работы: ГБОУ «Президентский ФМЛ № 239»

### **21. Натальчук Д., Ильин Е.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ гимназия № 271, 8 класс

#### **Обучающая бутса**

В футболе важно уметь бить по мячу нужной частью ступни. Для этого мы создали бутсу, помогающую новичку делать различные виды ударов, выбирать которые можно в специальном приложении. При выборе режима на бутсе будет загораться определённая часть светодиодов, показывающая, какой частью ступни надо бить по мячу.

Научный руководитель: Фрейдкин Я.А.

Место выполнения работы: Робототехнический инженерный центр ФМЛ № 30

### **22. Реутович Г.С., Голубков М.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 617, 10, 8 класс

#### **Пишущая машинка Брайля**

В работе представлена электронная пишущая машинка Брайля. Данное устройство переводит и печатает текст на шрифте Брайля, разработанном для чтения слабовидящими (перевод латинских букв и цифр, а также некоторых других символов). Устройство машинки основано на передвижении соленоида, который в требуемых местах выдавливает выпуклости на рабочей области. Движение соленоида является

автоматическим и управляется программой. Требуемый к печати текст передаётся с компьютера. Для передвижения соленоида используется система ремней и направляющих вида Н-ВОТ.

Научный руководитель: Алдошкин А.И.

Место выполнения работы: ГБОУ «СПб губернаторский ФМЛ № 30»

### **23. Турчанин Е., Марюфин И.**

Россия, Санкт-Петербург, ЧОУ «ЧШ ЦОДИВ», 7, 9 класс

#### **Будильник «Рассвет»**

В современных городах людей всё больше заботит работа и карьера, что идёт во вред их психологическому здоровью и безопасности. Мы представляем устройство, которое будет имитировать рассвет и некоторые природные звуки, что позволит сохранять по утрам бодрость и не отдаляться от природы. Также устройство может обеспечивать пожарную безопасность в доме.

Научный руководитель: Фрейдкин Я.А.

Место выполнения работы: Робототехнический инженерный центр ФМЛ № 30

# **XXX САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**

## **Секция БИОЛОГИИ**

### **Жюри секции**

Амосова Людмила Ивановна, к.б.н., СПБАУ РАН

Иванова Татьяна Ивановна, к.б.н., институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, СПБАУ РАН

Петров Пётр Николаевич, к.б.н., МГУ им. М.В. Ломоносова

Глаголева Надежда Сергеевна, ГБОУ Школа № 1543 (Москва)

### **Итоги секции**

<http://www.school.ioffe.ru/readings/2020/results.html#bio>

<https://www.youtube.com/watch?v=C--I2ubs9mQ>

### **ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ**

#### **МОТОРНАЯ АСИММЕТРИЯ ПЕРЕДНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У РЕЧНЫХ БОБРОВ (CASTOR FIBER) ПРИ СОДЕРЖАНИИ В НЕВОЛЕ И В ПРИРОДЕ**

Бабурина Е.К.

*ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербург*

*baburinaevgenia@yandex.ru*

Целью данного исследования являлось изучение влияния условий среды на проявление моторной асимметрии, а именно на предпочтения в использовании левой (правой) передней конечности в различных видах действий у речных бобров (*Castor fiber*).

Материал и методики. Всего проведено 130 часов наблюдений за 42 бобрами Воронежского бобрового питомника в июле 2019 г. с фотофиксацией, также проанализировано 2617 видеозаписей, сделанных сотрудником Воронежского биосферного заповедника А.С. Мишиным с использованием фотоловушек в период с 2014 по 2019 годы. Использована общепринятая методика определения индивидуальных предпочтений млекопитающих по Rogers (2005), с отдельным подсчётом в каждом типе поведения. Частоту выбора сравнивали с использованием биномиального Z-критерия по Siegel (1956). Групповое предпочтение оценивали

с применением *handedness index* по Strauss (1983) в модификации Hopkins (2011), использован одновыборочный критерий Уилкоксона (Wilcoxon, 1945). Также проведена оценка латерализации по однократным наблюдениям по Casagrande (2013) и оценка степени унимануальности с помощью Унимануального коэффициента Малашичева. Использован статпакет Graphpad Prism ver.6.03, Различия считали значимыми при  $p < 0.05$ .

Результаты и их обсуждение. В ходе выполнения работы в период с 14 июля по 26 июля 2019 были проведены наблюдения за 42 бобрами, всего примерно 130 часов. Для подтверждения гипотезы о влиянии длительного содержания в неволе (включающей в себя уменьшение строительной активности) на выраженность мануальных предпочтений у бобров, косвенно подтверждённую данными сравнения шедовых и полувольных бобров, был проведён анализ видеозаписей с 2014 по 2019 годы, сделанных в заповеднике в местах выхода диких бобров. Всего было проанализировано 2617 видеозаписей, любезно предоставленных сотрудником заповедника А.А. Мишиным. В 910 из них зафиксированы движения, относящиеся к исследуемым. Особи были частично идентифицированы по размеру и месту съёмки с помощью сотрудников заповедника. Индивидуальная идентификация осуществлялась при помощи естественных маркеров: путём сравнения индивидуальных особенностей внешнего вида особей, предпочитаемой позы при движении, времени активности и прочего. В связи с территориальностью бобров и разнесённостью автоматических камер, ошибка в индивидуальном причислении различных особей была минимальной. Были выбраны 10 бобров, которых можно было идентифицировать. На индивидуальном уровне предпочтение использовать одну конечность чаще было обнаружено у 17 бобров. При этом у 7 особей обнаружено правостороннее предпочтение, а у 10 левостороннее. Взаимосвязь ИР и УКМ была проанализирована с использованием корреляции Пирсона, причём как для направленности (по всем бобрам:  $r = 0.082$ ,  $P = 0.603$ ; тест с морковью в коробке:  $r = -0.0254$ ,  $P = 0.919$ ), так и для степени асимметрии (по всем бобрам:  $r = 0.13$ ,  $P = 0.355$ ; тест с морковью в коробке:  $r = 0.025$ ,  $p = 0.919$ ; по диким:  $r = -0.444$ ,  $P = 0.231$ ). Во всех случаях корреляция между показателями не выявлена, таким образом, Индекс Рукости и Унимануальный коэффициент Малашичева можно расценивать как две разные характеристики, описывающие мануальную активность бобров. Это даёт нам основание использовать новый показатель УКМ в сходных исследованиях. Также при анализе ИР мы не выявили группового предпочтения одной из конечностей ни в одной из групп (одновыборочный тест Уилкоксона,  $P > 0.05$ ). Анализ с помощью критерия Краскелла-Уоллеса не обнаружил значимые различия ИР между разными категориями,  $H = 3.8$ ,  $P = 0.149$ . Для оценки выраженности латерализации в разных условиях было проведено сравнение показателей АБс-ИР (ИР, взятых по модулю, то есть учитывалась только степень латерализации, но не её направление), с помощью однофакторного дисперсионного анализа, которое показало значимые различия,  $F = 3.55$ ,  $P = 0.037$  (у шедовых бобров медиана составила 0.140, у бобронариумных — 0.330, у диких — 0.415). Таким образом, групповой тренд в отношении

направления латерализации не выявлен ни в одной из групп, однако степень латерализации, выраженная Абс-ИР, выше у бобров, ведущих активную строительную деятельность. Также анализ с помощью критерия Краскелла-Уоллеса выявил значимые различия по УКМ между разными категориями бобров,  $N = 27.9$ ,  $P < 0.001$  (у шедовых бобров медиана составила 61.80%, у бобронариумных — 85.75%, у диких — 93,90%). Пост-хок тест Туки показал значимые различия ( $P < 0.05$ ) между всеми категориями, кроме пары бобронариумные — дикие.

Выводы. 1. У бобров, проживающих в естественных условиях и занимающихся строительной деятельностью, выше степень унимануальности. 2. У бобров, проживающих в естественных условиях и занимающихся строительной деятельностью, выше процент животных с выраженным мануальным предпочтением. 3. Групповой тренд в отношении направления латерализации не выявлен ни в одной из групп. 4. Статус бобра как занимающего промежуточное положение между квадропедальными и бипедальными видами млекопитающих в аспекте латерализации в использовании передних конечностей определен как спорный: подтвержден для бобров в естественной среде обитания и не подтвержден для бобров при содержании в шедях. 5. Европейские бобры могут быть рекомендованы в качестве удобной модельной группы для изучения моторной латерализации в дальнейших исследованиях для выявления связи между успехом в кормодобывающем поведении животных и уровнем латерализованного поведения. Развитая манипулятивная активность и частое использование одной конечности в разнообразных типах поведения позволяют разносторонне исследовать функциональную асимметрию двигательного поведения. Способность и к бипедальной, и к квадропедальной локомоции в перспективе позволяет эффективно исследовать влияние позных и локомоторных характеристик на проявление латерализации. Сравнение полученных данных с неисследованным в настоящей работе бипедальным типом действий бурого медведя позволит протестировать гипотезу о взаимосвязи между бипедальной локомоцией и проявлением латерализации функций передних конечностей, что позволит глубже изучить взаимосвязь между способом локомоции и латерализацией функций конечностей. 6. Унимануальный коэффициент Малашичева является удобным показателем в изучении выраженности мануальной активности. 7. На основании проведенных исследований мы рекомендуем содержание бобров в неволе в помещениях бобронариумного типа, позволяющих животным вести активную строительную деятельность.

Список источников может быть выслан дополнительно, так как занимает большой объем.

## ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

# ОТКРЫТИЕ ПРИЗНАКОВ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА У ЛЁГОЧНЫХ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ

Смолякова М.А.<sup>1</sup>, Чиркин А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственное учреждение образования «Гимназия № 2 г. Витебска»,  
Республика Беларусь

<sup>2</sup>Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
Республика Беларусь  
smolyakova\_2020@bk.ru

Метаболический синдром описан у млекопитающих и человека как проявление на уровне организма результатов неблагоприятных воздействий физического, химического и биологического характера в виде инсулинорезистентности. При этом состоянии страдает ключевой этап использования энергии солнца, аккумулированной в ходе фотосинтеза в связях глюкозы. Цель исследования: изучить возможность выявления признаков метаболического синдрома у двух видов легочных пресноводных моллюсков, отличающихся по характеру транспорта кислорода и обитающих в разных по экологическому благополучию водоёмах.

Метод. Опыты поставлены на 100 лёгочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 50 особей *Lymnaea stagnalis* (прудовик) и 50 особей *Planorbarius corneus* (роговая катушка). Моллюски собирались в летне-осеннем периоде. Забор гемолимфы проводили после взвешивания особей посредством раздражения ноги иглой шприца. Массу моллюсков устанавливали, взвешивая их на весах фирмы «Scout Pro». Определение количественного содержания холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), триглицеридов и глюкозы проводили с помощью стандартных наборов НТПК «Анализ-Х» в лаборатории кафедры химии ВГУ имени П.М. Машерова. Все полученные материалы вводились в электронные таблицы и обрабатывались методом параметрической вариационной статистики по Стьюденту с определением средней величины  $M$ , ошибки средней —  $m$ , а также значений  $t$  и  $P$ . Достоверными считались различия при значениях  $P < 0,05$ .

Результаты. Установлено, что у прудовиков (*Lymnaea stagnalis*), обитающих в озере Дубровское и реке Друть (Чернобыльская зона Гомельской области), выявлены три признака метаболического синдрома — снижение содержания ЛПВП, повышение уровня триглицеридов и массы тела. Два признака метаболического синдрома (снижение содержания ЛПВП и повышение уровня триглицеридов) были выявлены у прудовиков, выловленных в озёрах Будовесть и Афанасьевское («чистая» Витебская область). Для катушек (*Planorbarius corneus*), обитающих в озере Будовесть, характерны три типичных для человека признака метаболического синдрома — снижение содержания ЛПВП, повышение уровня глюкозы и массы тела. У катушек, выловленных в реке Друть и озере Афанасьевском,

были выявлены снижение содержания ЛПВП, повышение уровня триглицеридов и массы тела; для катушек из озера Дубровское было характерно снижение содержания ЛПВП и повышение массы тела.

Обсуждение. Полученные данные представляют интерес для оценки экологического статуса водоёмов методом биотестирования по сравнению с принятым за стандарт озером Селявское. Полученные результаты позволяют предположить также, что изучаемые моллюски возможно использовать как тест-организмы для изучения биологических аспектов развития метаболического синдрома. Эти же организмы в сотни раз дешевле используемых в настоящее время для моделирования млекопитающих и имеют преимущества в связи с этическими аспектами использования млекопитающих. Простота содержания и поддержания аква-культуры моллюсков делает их незаменимыми для стандартизованных испытаний новых субстанций в биофармацевтике.

Представленные данные показывают, что лёгочные пресноводные моллюски могут быть важным компонентом процесса биоиндикации загрязнения водоёмов. Эти относительно простые живые организмы чувствительны к действию неблагоприятных экологических факторов в водных средах обитания и тем самым дополняют исследования химического состава воды. Результатом их использования в биомониторинге создаётся многогранная картина взаимодействия загрязняющих химических факторов с реактивностью биоты на них. Использование двух широко распространенных видов лёгочных пресноводных моллюсков с разными механизмами транспорта кислорода позволяет получить дополнительную информацию о реактивности тканей организмов на химическое загрязнение среды обитания. Лёгочные пресноводные моллюски также могут использоваться для изучения роли экологических факторов в развитии метаболического синдрома. Это дешёвые и доступные тест-организмы для исследования метаболических и молекулярно-генетических механизмов развития метаболического синдрома и удобные для точного дозирования в окружающей их водной среде профилактических и лечебных субстанций.

## ДИПЛОМ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ

### МОРСКАЯ МИСТЕРИЯ

Олейникова П.Е., Статьева Т.В., Харичева А.Н., Жигайло Ю.А.  
АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы, Долгопрудный, Россия  
[oleynikovap@bk.ru](mailto:oleynikovap@bk.ru)

Область исследования: способность *Pyrocystis fusiformis* к биолюминесценции в условиях «Москвариума».

Цель работы: разработать способ демонстрации *P. fusiformis* в аквапространстве «Москвариума».

*Pyrocystis fusiformis* — динофитовые водоросли, способные демонстрировать биолюминесценцию, которая происходит в результате реакции люциферин-люциферазы в тысячах органелл сферической формы, называемых сцинтиллонами. Это производит ярко-синий цвет.

Сцинтиллоны — отдельные цитоплазматические тела (около 0,5 мкм в диаметре), распространённые в основном в корковой области клетки. Они содержат динофлагеллат-люциферазу, основной фермент, участвующий в биолюминесценции динофлагеллятов, и люциферин, производное хлорофилла, тетрапиррольное кольцо, которое действует как субстрат для световой реакции. Свечение происходит в виде короткой (0,1 с) синей вспышки (максимум 476 нм) при стимуляции, обычно из-за механического напряжения. Поэтому при механическом воздействии — например, лодка, плавание или волны — вы можете видеть синий сверкающий свет, исходящий с поверхности моря.

Биолюминесценция *Pyrocystis fusiformis* контролируется циркадными часами и происходит только ночью. Это обусловлено более чем десятикратным увеличением количества люциферазы и LBP (люциферин-связывающего белка) в ходе ночной фазы [2]. То есть, количество сцинтиллонов больше ночью, чем днём, и начинает уменьшаться в конце ночи, во время максимальной биолюминесценции.

Реакция люциферин-люциферазы, ответственная за биолюминесценцию, чувствительна к pH. Люцифераза полной длины и каждый из отдельных доменов наиболее активны при pH 6,3, а при pH 8,0 активность очень мала. LBP связывает люциферин при pH 8,0, но не при pH 6,3. Другими словами, когда pH падает, люцифераза меняет свою форму, что позволяет люциферину, конкретнее, тетрапирролу, связываться. Люциферин активируется и испускает фотон сине-зелёного света [1].

Итак, мы поставили себе задачу исследовать биолюминесценцию *P. fusiformis*, для того чтобы выяснить, как эффективно, а также, конечно, безопасно для самих водорослей продемонстрировать её в условиях «Москвариума».

Условия, при которых мы поддерживали культуру *P. fusiformis*: 23°C, круглосуточное освещение светильниками EasyGrow Panel 125W Pro «Smart

Spectral». При этих условиях мы культивировали водоросли в течение шести месяцев.

Результаты. Изучена динамика роста популяции водорослей при культивировании с частичной заменой воды или разбавлением культуры водорослей в концентрациях 50%, 25% и 12.5%. Оптимальной является частичная замена воды, когда мы удаляем умершие водоросли и концентрация внесённых водорослей составляет 50%. При меньшей концентрации нарастание водорослей идёт медленнее.

Время «условной зарядки» (отношение времени отдыха *P. fusiformis* к времени их работы) для водорослей составило 30–60 минут, если ранее водоросли не были подвержены механическому воздействию, в ином случае — время зарядки составляет более шести часов.

Изучение разных способов активации биолюминесценции показало, что использование ультразвука не вызывает биолюминесценцию. Последствием данного ультразвукового воздействия стало то, что эта часть культуры, при намеченной проверке через две недели, оказалась полностью мертвой. Все внешние факторы после проведения эксперимента оставались неизменными (такими же, как и до самого эксперимента), а значит, они не могли повлиять на жизнеспособность водорослей. Таким образом, мы обнаружили, что частота ультразвука летальна для *P. fusiformis*.

При моделировании использования насоса для перекачивания водорослей установлено, что свечение возникает только в зоне действия поршня и не распространяется на всю толщу воды. Более того, в условиях недостатка кислорода, культура *P. fusiformis* не смогла более оставаться жизнеспособной.

Самым эффективным оказалась вибрация погружённого в толщу воды медного провода на частоте 75 Гц. При данной частоте *Pyrocystis fusiformis* демонстрировали биолюминесценцию диффузного типа со слабым голубоватым нехарактерным оттенком. Мы назвали данный феномен «эффектом звёздного неба». Если же подвергнуть водоросли треку, состоящему сразу из нескольких частот (от 72 до 80 Гц), то возникает совершенно другой паттерн биолюминесценции — цельный, глубокого голубого цвета. Другие частоты (от 200 Гц до 50 Гц) оказались неэффективными.

Спроектирована 3D-модель «Подвесной потолок» как один из возможных способов демонстрации водорослей в условиях «Москвариума». Данный механизм выгоден с точки зрения его очистки. Работая с *P. fusiformis* на протяжении почти полугода, мы заметили, что сосуды становятся грязными в конце каждой недели. Это находится в прямой корреляции с жизненным циклом водорослей — 5–7 дней. Таким образом, изобретённая система фильтра, необходимых пластин, конусовидного потолка и труб сводит к минимуму образование биомассы на поверхности подвесного потолка. Реальная необходимость в очистке поверхности

наступает в соответствии с официальным днём чистки «Москвариума» — последнего понедельника каждого месяца.

#### Литература:

1. L. Wayne Shultz, Liyun Liu, Margaret Cegielski, J. Woodland Hastings. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005.
2. B.M. Sweeney. International Cell Biology, 1981, 807–814.
3. Eddith A. Widder, James F. Case. Journal of comparative physiology, 1981, 43–52.

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДИПЛОМ

за хорошо спланированный и поставленный эксперимент,  
за умение критично и объективно анализировать  
полученные данные

### **ВЛИЯНИЕ AMAUOPSIS ISLANDICA НА ЛИТОРАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Антропова М.Д.

Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии)  
ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербург, Россия  
antropova.m@icloud.com

Материал для исследовательской работы был собран и обработан в ходе ХI Беломорской экспедиции, на территории Кандалакшского государственного заповедника на острове Ряжков в Кандалакшском заливе Белого моря в июле 2019 года. Я предположила, что *Amauopsis islandica*, помимо хищничества, может оказывать и «непотребляющее» воздействие на сообщества.

Цель данной работы — выяснить, каким образом и на какие характеристики литорального сообщества оказывает влияние *Amauopsis islandica*. Садковый эксперимент для сбора материала проводился на литорали в Южной губе о. Ряжков с 7 по 21 июля 2019 года. Было три типа садков — без *A. islandica*, с 1 и с 2 *A. islandica*. При его постановке рядом с каждым садком были взяты пробы грунта, чтобы определить количественный и качественный состав сообщества и его размерные характеристики до посадки *A. islandica*. Садки снимались во время отлива. Обнаруженные организмы подсчитывались, определялись, взвешивались, а моллюски — измерялись. Особи *A. islandica*, которые были найдены в садках, также измерялись и взвешивались. Все преобразования данных, расчёты и визуализация проводились с использованием функций языка статистического программирования R. Для определения влияния *A. islandica* на суммарную численность и биомассу организмов в пробе были построены две регрессионные модели. Для того чтобы оценить схожесть видовых списков в пробах разного типа и разного «времени» (до — взятые при постановке эксперимента — или после — при снятии), для каждой пары сравнения был посчитан коэффициент Жаккара, для всех проб был посчитан индекс биоразнообразия Шеннона.

На основании полученных результатов я сделала следующие выводы:

1. Наличие *A. islandica* сказалось на численности, но не сказалось на биомассе из-за того, что биомасса изменяется медленнее.
2. *A. islandica* оказывает скорее негативное влияние на сообщество; на видовые списки *A. islandica* влияет достаточно заметно только, если в садке их хотя бы двое.
3. Выявленное в ходе работы влияние *A. islandica* является непотребляющим.

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДИПЛОМ

**за тщательный сравнительный анализ при подборе наиболее действенных форм диуретиков для больных с артериальной гипертензией и отёчным синдромом**

### **ВЛИЯНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ НАТРИЯ ХЛОРИДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДИУРЕТИКОВ У КРЫС**

Петрова Е.А.<sup>2</sup>, Кутина А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ГБОУ СОШ № 582 с углублённым изучением английского и финского языков, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия  
liza.vendy47@yandex.ru*

Регуляция объёма жидкости в организме является первостепенной для жизни. Водно-солевой баланс обеспечивает нормальную работу и взаимодействие внутренних органов и систем, а также важен для поддержания жизнедеятельности клеток [1]. У млекопитающих регуляция объёма клетки зависит от концентрации в её цитоплазме ионов калия, а во внеклеточной жидкости — ионов натрия [2]. Регуляция баланса натрия и воды осуществляется нейрогуморальным путём, направлена на изменение как потребления соли и воды, так и их выведение почками. Многокомпонентный комплекс включает в себя регуляцию жажды и солевого аппетита, изменение реабсорбции ионов и воды в почках при участии гормонов нейрогипофиза, ренин-ангиозин-альдостероидной системы, предсердного и мозгового натрийуретических пептидов и др. [1, 5]. В современном мире в связи с изменениями традиций и образа жизни, потребляется больше поваренной соли, чем необходимо организму. Почка здорового человека справляется с выведением избытка натрия хлорида, но при серьёзных заболеваниях сердечно-сосудистой системы, печени и почек может нарушиться водно-солевой баланс. При лечении таких заболеваний применяются диуретики — препараты, усиливающие выведение натрия и жидкости почками за счёт снижения реабсорбции веществ в различных отделах нефрона (в проксимальном извитом канальце, петле Генле, дистальном извитом канальце или в собирательных трубках) [3]. Внедрение диуретиков в клиническую практику снизило интерес к оценке влияния потребления соли на становление и течение сердечно-сосудистых заболеваний. В то же время влияние длительного избыточного потребления NaCl с пищей на эффект диуретиков изучено мало. Целью работы является оценка эффекта диуретиков, действующих в различных отделах нефрона, у животных, находящихся на высокосолевого диете.

Метод. Эксперименты проведены на крысах линии Вистар, находившихся на диете с нормальным (0,4%) и высоким содержанием NaCl (4%). У животных, получавших корм с разным содержанием NaCl, исследовали

влияние на мочеотделение и выведение ионов натрия и калия диуретиков, действующих в различных отделах нефрона: в проксимальном извитом канальце (ацетазоламид, 2.5 мг на 100 г веса внутрибрюшинно), в петле Генле (фуросемид, 1 мг на 100 г веса внутримышечно), в дистальном извитом канальце (гипотиазид, 2.5 мг на 100 г веса внутрибрюшинно) и в собирательных трубках (амилорид, 0.5 мг на 100 г веса внутрибрюшинно). Каждый из диуретиков вводили 10 животным, потреблявшим высокосолевого корм, и 10 крысам на стандартной диете. Количество препарата рассчитывали на 100 г веса животного, выбор дозы был основан на данных литературы и предварительных исследований для определения максимального эффекта у каждого из диуретиков. В контрольной группе крысам вместо препаратов внутримышечно вводили физиологический раствор в объёме 0.1 мл на 100 г веса. Сразу после инъекции крыс помещали в индивидуальные клетки для сбора проб мочи в течение 4 ч. В полученных пробах измеряли концентрацию креатинина, ионов натрия и калия. Параметры функции почек (диурез, скорость клубочковой фильтрации, экскреция натрия и калия) рассчитывали по стандартным формулам. Для сравнения групп использовали непарный критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони на число сравнений [4].

Результаты. Показано, что избыток натрия не полностью экскретируется с мочой: при увеличении потребления крысами NaCl в 10 раз экскреция натрия увеличилась всего в 3,6 раза. При высоком потреблении соли резко снизилась эффективность ряда диуретиков: уменьшился рост мочеотделения при введении фуросемида на 14% и гипотиазид на 64%, наблюдался существенно меньший диурез и натрийурез при действии гипотиазид. В то же время действие ацетазоламида усиливается на высокосоленой диете, а эффект применения амилорида остаётся неизменным. Фуросемид и ацетазоламид вызывают меньшую потерю калия с мочой у животных на высокосолевого диете по сравнению со стандартной, а при действии гипотиазид и амилорида экскреция калия у крыс, потреблявших разный корм, одинакова. Показано, что скорость клубочковой фильтрации у крыс на высокосолевого и стандартной диетах и при действии данных диуретиков не изменялась.

Обсуждение. На основании полученных данных можно сделать вывод, что высокосолевого диета в значительной степени ослабляет эффективность проксимальных и петлевых диуретиков. У пациентов, принимающих препараты для снижения внутричерепного и внутриглазного давления, напротив, экскреция натрия, а также воды может значительно повыситься при высоком потреблении поваренной соли с пищей. Показано, что на действие калийсберегающих диуретиков высокосолевого диета не влияет.

Таким образом, соблюдение низкосолевого диеты является принципиально важным для пациентов, принимающих диуретики для лечения артериальной гипертензии, отёчных синдромов и т. д. Неэффективность лекарственной терапии у них может быть обусловлена высоким потреблением NaCl.

Литература:

1. А. Вандер, Физиология почек. — СПб.: Питер, 2000.
2. А.В. Кутина, Ю.В. Наточин, А.С. Марина, Е.В. Балботкина, Т.А. Каравашкина. Докл. АН, 2016, 469(3), 371–374.
3. А.В. Кутина, Ю.В. Наточин. Экспериментальная клиническая фармакология, 2018, 81(11), 38–43.
4. С. Гланц, Медико-биологическая статистика. — М.: Практика, 1998.
5. Q. Qian. Nephrology, 2018, 23(Suppl 4), 44–49.

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДИПЛОМ

за подробное, многостороннее, сравнительное исследование сообществ Баренцева моря

### **ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ БЕНТОСНЫХ ЛИТОРАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ЯРНЫШНОЙ И ДАЛЬНЕЗЕЛЕНЕЦКОЙ ГУБ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Булавинова В.И., Унтилова А.А

*«Лаборатория непрерывного математического образования БиоТоп»,  
Санкт-Петербург, Россия  
nasta.untik@gmail.com*

На сегодняшний день видовое разнообразие гидробионтов литорали Баренцева моря, в частности района биостанции ММБИ, описано неполно, исследования ведутся, в основном на глубинах [1]. Данные по литоральным сообществам в районе биостанции НИС ММБИ КНЦ РАН «Дальние Зеленцы» с 1948 года [2] обобщены в ограниченном количестве работ [3]. Данные районы весьма перспективны с научной и хозяйственной точек зрения. В районе биостанции находится два затишных, частично изолированных от открытого моря залива — Ярнышная и Дальнезеленецкая губы. Условия среды в Ярнышной губе сильно отличаются от литорали, выходящей к открытому морю. Дальнезеленецкая же губа, согласно литературным данным, является модельной экосистемой, благодаря чему данные о состоянии её литоральных сообществ мы можем экстраполировать на литораль Восточного Мурмана в целом [3]. Изучая эти губы, можно получить данные об изменениях литоральных сообществ, которые влекут за собой изменение климата и антропогенное воздействие на арктические моря.

Целью нашей работы было выявление, описание и изучение зависимости структуры литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ от условий среды.

Для описания структуры литоральных сообществ было взято методом пробных площадок 8 серий проб (5 серий по 9 проб в Ярнышной губе и 3 серии по 5 проб в Дальнезеленецкой). Пробы были взяты с нескольких горизонтов, выявленных с помощью закладки трансект, производившейся на восточной литорали Ярнышной и юго-западной литорали Дальнезеленецкой губы. Проведена полная количественная разборка проб, перед которой они были промыты через 1 мм сито. В каждом сайте были взяты пробы воды для анализа гидрохимических характеристик.

В результате нашей работы была выявлена достоверная зависимость структуры бентосных литоральных сообществ от солёности, рН, характера грунта и прибойности. Были выявлены арктические, бореальные и трансатлантические виды, а также ряд различных видов-доминант по обилию и биомассе. Проведён сравнительный анализ данных за 2018 и 2019 год. Построена карта горизонтов Ярнышной и Дальнезе-

ленецкой губ. Построена предполагаемая трофическая сеть бентосных литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ для каждого из сайтов.

#### Литература:

1. Денисенко С.Г. — Материалы XII научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина», 2010.
2. Гурьева Т.П. — Труды Мурманской Биологической Станции, 1948, 1, 102–122.
3. Генельт-Яновский Е.А., Полоскин А.В., Аристов Д.А., Данилова Ю.А., Коробков А.В., Крапивин В.А., Петрова Е.А., Шунькина К.В. — Материалы 4 международной конференции «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов Европейского Севера», 2005.

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДИПЛОМ

за удачное использование морфометрических данных  
для уточнения диагноза вида

### **МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАЛОИЗВЕСТНОЙ ПУЗЫРЧАТКИ *UTRICULARIA OCHROLEUCA* (LENTIBULARIACEAE) НА СЕВЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ**

Некрасова Д.М., Кравчук А.Е.

Московская школа на Юго-Западе № 1543, Москва, Россия  
dasha.nekrasova.04@mail.ru

*Utricularia* (пузырчатка) — это род водных плотоядных растений, которые ловят своих жертв небольшими ловушками в виде пузырьков, внутри которых находятся железистые волоски. На Северо-Западе России есть пять видов пузырчатки, один из которых (*U. ochroleuca* Hartm.) очень редок. На сегодняшний день известны лишь два надёжных указания этого вида в Европейской части России: одно на юго-западе Карелии, второе на северо-востоке Ленинградской области [1]. *Utricularia ochroleuca* имеет два типа побега (с зелёными и бесцветными листьями). Из *U. ochroleuca* выделяют *U. stygia* Thor, который наиболее надёжно отличается формой цветков [5], но цветёт пузырчатка редко, поэтому основной вегетативный отличительный признак — форма железистых волосков в ловчих пузырьках. Plachno и Adames [4] проанализировали значения углов между короткими лопастями железистых волосков популяций *U. ochroleuca* и *U. stygia* со всего мира. Для *U. ochroleuca* максимальное значение угла между короткими лопастями превышает 120° (обычно превышает 130°), по крайней мере, в 10% железистых волосков, исследованных в популяции. Для *U. stygia* максимальное значение этого угла не превышает 115°.

Некоторые ботаники для разграничения *U. ochroleuca* и *U. stygia* также используют такие признаки, как форма верхушки сегмента листа и число щетинок на этих сегментах, которые менее надёжны из-за их большой изменчивости [2].

Однако углы между лопастями железистых волосков также сильно варьируют в пределах одного вида, их значения для *U. stygia* и *U. ochroleuca* s.str. заметно перекрываются даже в оригинальном определительном ключе Thor [5]. Разные авторы приводят разные значения углов, что частично можно объяснить погрешностями при изготовлении микропрепаратов [2]. Нужно учитывать, что приведённые в литературе данные происходят из разных источников (гербарий из разных географических районов, культивируемые и собранные в поле растения), что также может внести искажение в результаты, поскольку показана зависимость диагностических признаков от условий обитания [3].

Мы провели морфометрию десяти растений *U. ochroleuca*, собранных в оз. Продушное (Лодейнопольский район Ленинградской области). Массовое цветение *U. ochroleuca* во время её сбора позволило нам

проанализировать диагностические признаки цветка. Края нижней губы сильно завернуты вниз, тупоконический шпорец втрое короче губы. Венчик жёлтый, с тёмно-красным оттенком шпорца. Все эти признаки характерны для данного вида по литературным данным.

Мы отбирали по четыре конечных сегмента из разных частей пяти листьев каждого растения, считали число зубчиков на каждом сегменте под микроскопом и фотографировали верхушку сегмента. С тех же десяти растений мы отбирали по десять ловчих пузырьков с зелёного и бесцветного побегов. Мы отрезали пузырьки от побега и измеряли их наибольшую длину. Затем разрезали пузырек на достаточно мелкие части и делали временные препараты, на которых мы фотографировали не менее десяти железистых волосков, находящихся на стенках ловчего пузырька. На полученных фотографиях измеряли углы, которые характеризуют форму железистых волосков и форму верхушки сегмента. Для анализа формы железистых волосков при помощи геометрической морфометрии мы поставили вручную пять меток: четыре на концах лопастей волоска и одну в точке их расхождения. Таким образом проанализировали форму 150 наиболее удачно сфотографированных железистых волосков из более 1300 измеренных. Для проверки адекватности нашей методики мы провели измерения по нашему алгоритму для одного растения *U. minor* L. и одного растения *U. intermedia* Hayne, собранных в окрестностях оз. Продушное.

Углы между лопастями железистых волосков *U. ochroleuca* не коррелируют значимо с длиной ловчего пузырька и не различаются значимо на зелёных и бесцветных побегах. Поэтому мы проанализировали форму железистых волосков всех ловчих пузырьков сразу, не разделяя их по типу побега или размерам. Железистые волоски по форме разделяются на три группы согласно видовой принадлежности растений. Железистые волоски *U. ochroleuca* очень изменчивы по форме — от близких к *U. intermedia* до близких к *U. minor*. По числу зубчиков на конечном сегменте листа все три вида статистически значимо отличаются между собой. У *U. minor* всегда один зубчик (на верхушке конечного сегмента), а у *U. intermedia* — 14–26, у *U. ochroleuca* обычно 4 (реже 3 или 5) зубчиков на конечном сегменте листа.

Доля железистых волосков с углом между короткими лопастями железистых волосков, превышающих 120°, составляет 63–91% у разных растений.

Угол верхушки конечного сегмента листа у *U. minor* статистически значимо не отличается от *U. ochroleuca* — у обоих видов обычно равен 20–30 градусам. Градусная мера угла верхушки конечного сегмента листа у *U. intermedia* обычно составляет 40–50 градусов и значимо отличается от двух других видов.

Мы обнаружили очень высокую внутрипопуляционную изменчивость *U. ochroleuca*, собранной в Ленинградской области, по всем вегетативным диагностическим признакам, включая и форму железистых волосков. Все данные были получены из одной популяции на свежем материале по единой методике. Мы также убедились в том, что форма железистых волосков

не зависит от размера ловушки и типа побега, и отобрали для анализа только те фотографии, где волоски не были деформированы при изготовлении микропрепаратов. Поэтому наблюдаемую изменчивость нельзя объяснить влиянием экологических факторов или разным качеством материала. Мы считаем выделение *U. stygia* из *U. ochroleuca* неоправданным, потому что значения, изученной нами *U. ochroleuca* перекрываются со значениями, данными в литературе для *U. stygia*.

#### Литература:

1. М.А. Зубкова, П.А. Волкова, Л.А. Абрамова. Бюллетень МОИП. Отдел биологический, 2019, 124, 52–55.
2. L. Adamec. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, in press.
3. G. Astuti, L. Peruzzi. Plant Biosystems, 2018, 152, 1214–1226.
4. B. Plachno, L. Adamec. Carnivorous Plants Newsletter, 2007, 36, 87–95.
5. G. Thor. Nordic Journal of Botany, 1988, 8, 213–225.

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДИПЛОМ

за тщательное исследование фауны и биологии  
пресноводных пиявок

### **К ВОПРОСУ О ГИРУДОФАУНЕ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИЯВОК (*ANNELIDA: HIRUDINEA*) КАК ИНДИКАТОРОВ САПРОБНОСТИ ВОДОЁМОВ**

<sup>1</sup>Хижнякова А.С., <sup>2</sup>Карелина А.М., <sup>2</sup>Иванова Е.Е.

<sup>2</sup>*Биологический кружок «Юные Исследователи Природы», Москва, Россия*

<sup>1</sup>*Биологический факультет Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*zbs\_school@mail.ru*

Работа посвящена изучению видового разнообразия и особенностей биологии представителей подкласса Настоящие Пиявки (*Euhirudinida*), обитающих в пресных водоёмах Среднего Поволжья. Большинство представителей этой группы питаются кровью позвоночных, моллюсков и червей, но есть среди них и хищники, которые заглатывают добычу целиком [1]. В настоящее время для регионов Среднего Поволжья известно 13 видов пиявок [2, 4], но этот список нельзя считать полным. Известно, что разные виды пиявок проявляют разную степень чувствительности к содержанию в водной среде органических веществ в определённой концентрации и степени минерализации. В ряде случаев виды одного и того же рода пиявок могут диаметрально противоположно относиться к этому фактору [5]. Однако существующие шкалы сапробности водоёмов с учётом видовой идентификации разработаны лишь для Западной Европы, а их модификации для центра Европейской части России учитывают индикаторный вес таксонов лишь на уровне семейств [5]. Поэтому они не всегда обладают достаточной чувствительностью. Такой подход оправдан тем, что определение организмов до вида доступно только специалистам и более подробные шкалы не находят широкого применения. Учитывая невысокое видовое разнообразие пиявок в отдельных регионах России и достаточную чувствительность представителей этой группы к физико-химическим параметрам водной среды, нами был разработан метод оценки и мониторинга состояния водоёмов с использованием пиявок как биоиндикаторов. Сбор полевого материала проводили в Республике Мордовия на территории Национального парка «Смольный» летом 2018 и 2019 года. В задачи исследований входило: выявить видовое разнообразие пиявок в НП «Смольный» и сравнить с имеющимися данными по сопредельным регионам, провести сравнительную оценку сапробности по шкале Пантле-Букка четырёх старичных озёр в 2018 и 2019 гг., а также разработать шкалу оценки сапробности водоёмов с использованием пиявок.

Материалы и методы. В 2018 году было обследовано 12 водоёмов разного типа: малые реки, старичные озёра и пруды. В каждом водоёме при помощи колышков и верёвки на мелководье закладывали по 10 площадок размером 1×1 м<sup>2</sup>. Место расположения площадок выбирали случайным образом.

На площадках методом ручного сбора отбирали и подсчитывали представителей всех видов пиявок. В 2019 году было выбрано четыре модельных водоёма — старичные озёра в долине реки Алатырь, различающиеся по площади, глубине, характеру грунта и степени зарастания: Дубовое, Митряшки, Полунзерка и Лепёрка. В этих водоёмах провели повторный осмотр мест обитания и субстратов, где с наибольшей вероятностью могли находиться пиявки, и проводили глазомерную оценку частоты встречаемости каждого обнаруженного вида. Количественный учёт пиявок в 2019 году не проводили. Как в 2018, так и в 2019 году для всех водоёмов были сделаны описания, которые включали следующие характеристики: максимальная глубина, показатели рН воды и грунта и общее проективное покрытие макрофитов. Кроме того, на всех водоёмах в каждой серии наблюдений был проведён отлов других групп беспозвоночных методом ручного сбора, а также при помощи лодки и гидробиологического сачка. По результатам этих отловов были вычислены модифицированные индексы сапробности Пантле-Букка для водоёмов Европейской части России [5], которые рассчитывали по формуле:  $I = \sum SJ / \sum J$ , где S — сапробность каждого найденного в пробе индикаторного таксона (от 0 до 4), J — его индикаторный вес (от 1 до 4).

Результаты. В работе впервые представлен список видов пиявок (*Annelida: Hirudinea*) для Республике Мордовия. На настоящий момент этот список насчитывает 9 видов.

Оз. Дубовое и оз. Митряшка относятся к  $\alpha$ -мезосапробной зоне. Оз. Липёрка относится к  $\beta$ -мезосапробной зоне. Оз. Полунзерка в 2018 году относилось к  $\beta$ -мезосапробной зоне, а в 2019 стало  $\alpha$ -мезосапробной зоной. Площадь озёр — 2000 м<sup>2</sup>. Площадь оз. Липёрка — 400 м<sup>2</sup>. Грунт у всех озёр илистый, но у оз. Липёрка — глинистый. Кислотность оз. Дубовое: в 2018 году 7,6 слабо щелочная, в 2019 — 6,1 слабо кислая. Оз. Липёрка — в 2018 году 6,6 слабо кислая. В старичном оз. Митряшки в 2018 году было найдено 6 видов пиявок: *Erpobdella octoculata*, *Erpobdella nigricollis*, *Haemopsis sanguisuga*, *Glossiphonia complanata*, *Helobdella stagnalis*, *Alboglossiphonia heteroclita*. В 2019 году там было найдено четыре вида. Сапробность видов пиявок в 2018 году соответствует сапробности всех пиявок, кроме вида *Glossiphonia complanata*, *Haemopsis sanguisuga*, а в 2019 г. все пиявки, кроме вида *Glossiphonia complanata* и *Haemopsis sanguisuga*, соответствуют сапробности водоёма. В старичном оз. Дубовое в 2018 году было найдено пять видов пиявок: *Erpobdella octoculata*, *Erpobdella nigricollis*, *Glossiphonia complanata*, *Hemiclepsis marginata*, *Helobdella stagnalis*. Сапробность озера в 2018 году не совпадает с сапробностью видов: *Glossiphonia complanata*, *Hemiclepsis marginata*. В 2019 году было найдено два вида: *Erpobdella octoculata*, *Erpobdella nigricollis*. Их сапробность соответствует сапробности оз. Дубовое. В оз. Липёрка в 2018 году было найдено четыре вида пиявок: *Hemiclepsis marginata*, *Dina lineata*, *Helobdella stagnalis*, *Alboglossiphonia heteroclita*. В 2019 году в оз. Липёрка не было найдено ни одного вида пиявок. Сапробность пиявок совпадает с сапробностью водоёма. В оз. Полунзерка в 2018 году не было найдено ни одной пиявки. В 2019 году там была найдена *Hemiclepsis Marginata*.

Сапробность озера не соответствует сапробности пиявки. За два года было учтено девять видов пиявок, относящихся к трём семействам и двум отрядам: *Haemopidae*, *Erpobdellidae*, *Glossiphoniidae*. Наиболее полно представлено семейство *Glossiphoniidae*, включающее пять видов. В 2018 году доминантный вид — *Erpobdella nigricollis*. В 2019 году доминантный вид — *Erpobdella octoculata*. Все найденные виды сопоставимы с Республикой Татарстан и Ульяновской областью. В Республике Татарстан (2009–2016) было найдено тринадцать видов пиявок. В Ульяновской области (2005–2008) найдено восемь видов.

В 2018 году единично встречались виды: *Alboglossiphonia heteroclita*, *Protoclepsis tessulata*, *Dina lineata*, *Glossiphonia complanata*. В 2019 была встречена только *Glossiphonia complanata*. Основной составляющей макробентоса водоёмов в 2018 и в 2019 году являлись виды *Erpobdella octoculata*, *Erpobdella nigricollis*. Также в 2018 году часто встречались *Helobdella stagnalis*, *Hemiclepsis marginata*, *Haemopsis sanguisuga*. В 2019 году была единичная встреча *Hemiclepsis marginata*, *Haemopsis sanguisuga*. Наиболее чувствительными к изменению сапробности оказались виды *Alboglossiphonia heteroclita*, *Protoclepsis tessulata*, *Dina lineata*, *Helobdella stagnalis*. Наиболее чувствительная шкала определения сапробности получается при использовании пиявок, т.к. она требует определение вида. Некоторые водоёмы, сапробность которых определена с помощью других групп беспозвоночных, являются  $\alpha$ -мезосапробными, а организмы, обитающие в них, являются  $\beta$ -мезосапробными.

#### Литература:

1. И.Е. Лукин. Пиявки пресных и солоноватых вод. Фауна СССР. — Санкт-Петербург, 1976. — 484 с.
2. Е.М. Романова, О.М. Климина. Биоресурсы класса *Hirudinea* в зоне Среднего Поволжья: экологическая значимость и перспективы использования. Известия Самарского научного центра РАН. — Самара, 2010. — № 1. — С. 208–211.
3. Н.Е. Рязанова. Методы экологических исследований. — Москва, 2020. — 473 с.
4. П.Р. Токинова, А.Р. Закирова. Состав и распределение пиявок (*Clitellata: Hirudinida*) в пресноводной фауне Татарстана. Российский журнал прикладной экологии. — Казань, 2017. — № 1. — С. 32–36.
5. М.В. Чертопруд. Модификация индекса сапробности Пантле-Букка для водоёмов Европейской России. — Санкт-Петербург, 2006. — С. 1–6.
6. М.В. Чертопруд, Е.С. Чертопруд. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра европейской России. — Москва, 2011. — 219 с.

7. А.А. Ямашкин, Т.Б. Силаева, Л.Д.Альба, Ю.Н.Гагарин, В.Н. Масляев, Г.Ф. Гришуткин, В.Н. Сафонов, В.И. Кранков, Ю.К. Стульцев, В.К. Киревичев, А.А. Свиридов, Ю.Д. Федотов, А.В. Кирюшин, Е.Т. Макаров, В.А. Моисеенко, В.А. Кузнецов, Н.А. Бармин, Н.В. Бучацкая, Г.Г. Чугунов, И.В. Кирюхин. Мордовский Национальный парк «Смольный». — Саранск, 2000. 88 с.

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДИПЛОМ

за попытку применения данных молекулярной биологии  
в исследованиях генетики популяций

### **ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ ГЕНА ДОФАМИНОВОГО РЕЦЕПТОРА *D4* У ПОДРОСТКОВ**

Сафин А.Р.

*СУНЦ НГУ, Новосибирск*

Ген дофаминального рецептора *D4* представляет собой гипервариабельный регион, состоящий из участка размером 48 п.н., повторяющегося от 2 до 11 раз и кодирующего третью цитоплазматическую петлю рецептора. При исследовании структуры гена выявлено, что аллель с 4R повторами является предковым по отношению с 2R и 6R, а аллель с 7R повторами возник в результате редкой мутации 30 000–50 000 лет назад и распространился в популяции в результате позитивной селекции в верхнем палеолите. Ранее было выявлено, что аллель 7R наиболее редко встречается в азиатских популяциях и его роль в этих популяциях выполняет аллель 2R [1, 2]. По одним исследованиям, ассоциация «длинного» аллеля 7R с повышенным «поиском новизны» и экстраверсией, по другим — повышенное значение по шкале «поиск новизны» было обнаружено у носителей аллелей 2R и 5R [3, 4].

В связи с выше изложенным нами были поставлены следующие задачи: изучить ген дофаминального рецептора *D4* у школьников ФМШ славянской (38) и тюркской национальностей (20) и подростков Новосибирска (111); провести анализ между выявленными аллелями, успеваемостью и активным и пассивным образом жизни у подростков ФМШ; провести сравнительный анализ между двумя выборками учащихся ФМШ и выборкой подростков из Новосибирска.

В данной работе были использованы методы: сбор букального эпителия, выделение ДНК и ПЦР.

При исследовании было выявлено 10 генотипов у школьников ФМШ и подростков Новосибирска и 6 у тюрков. Распространённым в трёх выборках был генотип 4R4R с частотой 66%, 60% и 55%, соответственно. Аллель 7R, характерный для европеоидов, был выявлен у подростков Новосибирска и у тюрков. Проведён анализ между аллелями и успеваемостью и пассивным и активным образом жизни у учащихся ФМШ. Ассоциации между аллелями *D4* и успеваемостью подростков ФМШ не обнаружено. Выявлено, что аллель 2R у ребят славянской национальности связан с пассивным, а 5R с активным образом жизни. У подростков тюркской группы 7R выявлен у активных, а 2R у пассивных. При сравнительном анализе обнаружено, что самыми распространёнными аллелями во всех трёх группах являются 2R. Для двух выборок славян 6R, а для тюркской группы 7R.

Таким образом, обнаружено, что аллель с 4R повторами является самым распространённым во всех трёх выборках. По литературным данным, аллели

7R, 2R и 5R могут быть связаны с повышенным «поиском новизны» и экстраверсией [3, 4]. При сравнении двух выборок учащихся ФМШ было обнаружено, что для славянской выборки, а также выборки подростков из Новосибирска наиболее характерны аллели 2R, 5R и 6R, а для тюркской группы 2R и 7R. Статистических различий не обнаружено. Во всех выборках наблюдается соответствие Харди-Вайберга и одинаковые значения по ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности.

#### Литература:

1. Benjamin J., Li L., Patterson C. et al. Population and familial association between the D4 dopamine receptor gene and measures of Novelty Seeking // *Nat Genet.* — 1996. — V. 12(1). — P. 81–84.
2. Matsumoto M., Hidaka K., Tada S. et al. Polymorphic tandem repeats in dopamine D4 receptor are spread over primate species // *Biochem Biophys Res Commun.* — 1995. — V. 207(1). — P. 467–475.
3. Ekelund J., Lichtermann D., Jrvelin M.R., Peltonen L. Association between novelty seeking and the type 4 dopamine receptor gene in a large Finnish cohort sample // *Am J Psychiatry.* — 1999. — V. 156(9). — P. 1453–1455.
4. Ding Y.C., Chi H.C., Grady D.L. et al. Evidence of positive selection acting at the human dopamine receptor D4 gene locus // *Proc Natl Acad Sci USA.* — 2002. — V. 99(1). — P. 309–314.

### **1. Chuekittisak N., Kiattimongkol N., Suwanno J.**

Thailand, Nakhon Pathom, Mahidol Wittayanusorn, 12 класс

**The efficacy testing of inhibiting colon cancer cells with peptides obtained from protein analysis in golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) by bioinformatics methods (Проверка эффективности ингибирования клеток рака толстой кишки пептидами, полученными из белкового анализа яблочной улитки (*Pomacea canaliculata*) биоинформатическими методами)**

The purpose of this study is to study anticancer peptides retrieved from Golden Apple Snail (*Pomacea canaliculata*) for treating colon cancer cells (SW620 and HT-29) with prediction using properties screening and in vitro. As a result, we found the top fourth sequences (G1ori, G1rds, G3ori, and G3rds). G1rds is the best peptide for SW620 while G3rds is the best peptide for HT-29 due to specific properties that create holes on cell membranes. However, they also inhibit the growth of Fibroblasts due to their unique features.

Цель исследования — изучение противоопухолевых пептидов, полученных из яблочной улитки (*Pomacea canaliculata*), для лечения раковых клеток толстой кишки (SW620 и HT-29) на основе прогноза с использованием скрининга свойств и in vitro. Были найдены четыре лучшие последовательности (G1ori, G1rds, G3ori и G3rds).

Научный руководитель: PhD in Clinical Medicine Research Kongsema M., M.Sc. in Biology Noikaew T., Ph.D. in Biology Chumnanpuen Pe.

Место выполнения работы: Department of Zoology, Faculty of Science, Kasetsart University

### **2. Pisutsin P., Juntramin S., Jirajarus N.**

Thailand, Nakhon Pathom, Mahidol Wittayanusorn, 12 класс

**Efficiency of concrete materials made with waste foundry sand treated with fungi (Эффективность бетонных материалов, изготовленных из отработанного литейного песка, обработанного грибами)**

This research aims to evaluate the alteration in properties of concrete consisting of fungal treated Waste foundry sand (WFS) (0, 10, and 20% substitution rate of WFS in sand). The result shows that the most appropriate fungi, which has the highest acid production capability, belongs to genus *Aspergillus*. The finding from the compression test shows that the compressive strength of concrete does not correlate with the amount of WFS in sand in concrete materials and with the presence of fungal treatment in WFS.

Цель исследования — оценка изменения свойств бетона, состоящего из отработанного литейного песка, обработанного грибом (ОЛП) (коэффициент замещения ОЛП в песке 0,10 и 20%). В ходе работы выявлено, что наиболее подходящие грибы, обладающие наибольшей способностью продуцировать кислоту, принадлежат к роду *Aspergillus*. Результаты испытаний на сжатие показали, что прочность бетона на сжатие

не коррелирует с количеством ОЛП в песке в бетонных материалах и с наличием грибковой обработки в ОЛП.

Научный руководитель: Klintong P.

Место выполнения работы: Mahidol Wittayanusorn School

### **3. Sima-Aree A., Meemongkol K., Pintavirooj N.**

Thailand, Nakhon Pathom, Mahidol Wittayanusorn, 12 класс

#### **Adhesion of nitrifying bacteria on bioremediation media from *Pleurotus pulmonarius* mycelium (Прилипание нитрифицирующих бактерий к биоремедиационным носителям из мицелия *Pleurotus pulmonarius*)**

This research studied the ability of *Pleurotus pulmonarius* mycelia in being viable bioremediation media and their degradation properties. The number of nitrifying bacteria that could adhere to the surface of the mycelia and that of the plastic sponge, the control group, were not statistically different ( $P > 0.05$ ). Therefore, it could be concluded that *P. pulmonarius* mycelia are viable media for nitrifying bacteria to adhere to.

В ходе работы изучалась способность мицелия *Pleurotus pulmonarius* выступать в качестве жизнеспособной среды биоремедиации и рассматривались свойства его деградации. Количество нитрифицирующих бактерий, которые могли прилипнуть к поверхности мицелия, и показатели для пластиковой губки (контрольной группы) статистически не различались ( $P > 0,05$ ). Был сделан вывод, что *P. pulmonarius mycelia* является жизнеспособной средой для прикрепления нитрифицирующих бактерий.

Научный руководитель: M.Sc. Biology Sakyim A., Ph.D. I.C. Sang-urai S.

Место выполнения работы: Mahidol Wittayanusorn School

### **4. Амельченко Д., Шеринга А.**

Россия, Санкт-Петербург, ЧОУ «Гете-Шуле», 8, 9 класс

#### **Некоторые особенности гнездования крачек *Sr.* на островах Северных Ладожских шхер**

Летом 2017–19 гг. на территории Ладожских шхер было обследовано шесть луд, на которых находились колонии крачек. Всего в 2019 г. найдено 60 жилых гнёзд, а общее количество яиц 120 шт. В 2017 г. найдено 153 яйца. В 2019 г. сначала заселились луды 1 и 3, находящиеся поблизости. Яйца аномального окраса встречаются редко и, как правило, в многоплодных гнёздах, в 2019 г. среднее количество яиц в гнёздах крачек несколько больше, чем в 2017, а гнёзд меньше, наличие в одном гнезде яиц разного фенотипа является вариантом нормы, чаще встречались яйца с крапинами на коричневом и оливковом фоне.

Научный руководитель: Рясная Е.Н.

Место выполнения работы: ГБУ ДО «Молодежный творческий Форум Китеж плюс»

## **5. Антропова М.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ СОШ № 450, 7 класс

### **Влияние *Amauropsis islandica* на литоральные сообщества в экспериментальных условиях**

Для того чтобы выяснить, как *Amauropsis islandica* влияет на сообщество, был проведён садковый эксперимент. Его результаты показали, что наличие *A. islandica* сказалось на численности, но не сказалось на биомассе (биомасса изменяется медленнее). Было обнаружено, что *A. islandica* оказывает скорее негативное влияние на сообщество. На видовые списки *A. islandica* влияет достаточно заметно только при условии, если в садке хотя бы две особи этого моллюска. Кроме того, было определено, что выявленное в ходе работы влияние *A. islandica* являлось непотребляющим, то есть осуществлялось не за счёт хищничества.

Научный руководитель: Аристов Д.А.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

## **6. Арикова А.И.**

Россия, Калининградская область, Багратионовск, МБОУ «Средняя школа города Багратионовска», 10 класс

### **Увеличение популяции лилии Саранки в Багратионовском районе**

В ходе работы была предпринята попытка увеличения популяции лилии саранки из семян в Багратионовском районе Калининградской области. Произведена высадка стратифицированных семян в пяти местах. Места посадки нанесены на карту с помощью программы Google Earth. Предполагается дальнейшее наблюдение за искусственно высаженными лилиями.

Научный руководитель: Романова И.И.

Место выполнения работы: МБОУ «Средняя школа города Багратионовска»

## **7. Бабкина О.А.**

Россия, Санкт-Петербург, Академическая гимназия им. Д.К. Фаддеева СПбГУ, 11 класс

### **Состояние зоопланктона прудов Кировского района Санкт-Петербурга**

Для оценки загрязнённости водоёмов юго-западных районов Санкт-Петербурга было выбрано двенадцать типичных прудов. Индикатор органического загрязнения — зоопланктон. Для каждого водоёма была рассчитана степень сапробности и сделана оценка разнообразия зоопланктона по индексу Шеннона. Индекс сапробности показал, что среди водоёмов есть чистые и слабозагрязнённые. Индекс Шеннона варьировался в различных водоёмах, что можно объяснить наличием иных факторов, влияющих на благоприятность этих водоёмов для зоопланктона.

Научный руководитель: Полякова Н.В.

Место выполнения работы: СПбГУ

## **8. Бабурина Е.К.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ СОШ № 225, 11 класс

### **Моторная асимметрия передних конечностей у речных бобров (*Castor fiber*) при содержании в неволе и в природе**

В работе изложены результаты исследования асимметрии в использовании передних конечностей у 42 бобров из Воронежского бобрового питомника и Воронежского заповедника. Цель исследования — изучение влияния условий среды на проявление моторной асимметрии, а именно на предпочтения в использовании одной передней конечности в различных видах действий у речных бобров. Проявление такой латерализации оценивали на индивидуальном и групповом уровнях. Было показано, что у бобров, проживающих в естественных условиях и занимающихся строительной деятельностью, выше степень унимануальности и среди них выше процент животных с выраженным мануальным предпочтением. Предложен новый тип тестового задания по форсированному использованию одной передней конечности, адаптированный для крупных грызунов.

Научный руководитель: к.б.н. Гилёв А.Н.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

## **9. Бабурин А.К.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 543, 5 класс

### **Содержание нутрий (*Myocastor coypus*) в городской квартире**

В работе описан бюджет активности и характер манипулятивной деятельности взрослых нутрий при содержании в вольере и на свободном выгуле в городской квартире.

Научный руководитель: Бабурина Н.А.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

## **10. Базыкина С., Гриднева М.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

### **Сеточное картирование флоры Нижне-Свирского заповедника**

Сеточное картирование флоры Нижне-Свирского заповедника позволило выделить две группы квадратов по флористическому составу: богатую видами с водоёмами и антропогенными ландшафтами и бедную видами — болотно-лесную. Найдены новые для Лодейнопольского района Ленинградской области виды растений.

Научный руководитель: к.б.н. Волкова П.А.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

### **11. Бахмарин С.В., Попова И.П.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

#### **Новые данные по фауне жёсткокрылых (*Insecta, Coleoptera*) Нижне-Свирского государственного природного заповедника**

Работа является продолжением исследований жёсткокрылых Нижне-Свирского заповедника. Получены новые данные по эффективности вороночных ловушек для жуков-плавунцов (*Dytiscidae*) в зависимости от приманки. Список видов водных жёсткокрылых заповедника дополнен четырьмя новыми видами, подтверждено обнаружение *Cybister lateralimarginalis* (De Geer, 1774) в Фенноскандии. Расширен список видов наземных жёсткокрылых. Для некоторых видов семейства *Dytiscidae* проанализировано соотношение полов.

Научный руководитель: к.б.н. Петров П.Н.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

### **12. Бекиш А.В.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова», 10 класс

#### **Распространение и относительная численность ротана головешки (*Perccottus glenii Dybowski, 1877*) в водных объектах города Витебска и его окрестностей**

На территории Витебской области единичные находки ротана происходили начиная с 1995 г. Сейчас вид захватывает всё новые территории. Обследовано 26 водных объектов. В 17 из них присутствует ротан, в семи он представлен совместно с другими видами рыб. В девяти водоёмах ротана не обнаружено. Ротан отсутствует там, где список хищников не ограничивается только щукой и окунем. Некоторые хищники при поиске добычи используют обоняние и органы боковой линии. Они способны эффективно регулировать численность ротана. Наблюдения в аквариуме показали, что щука неохотно питается ротаном.

Научный руководитель: Шибанов Г.А.

Место выполнения работы: ГУДО «Витебский областной дворец детей и молодёжи»

### **13. Белов А.Е.**

Россия, Вологда, БОУ ВО «Вологодский многопрофильный лицей», 11 класс

#### **Влияние методов борьбы с борщевиком Сосновского на почвенную мезофауну**

Борщевик Сосновского — опасное многолетнее растение. При борьбе с ним используются различные методы, которые оказывают влияние на почвенную мезофауну, свойства почвы и всех участников трофических цепочек. В работе изучается влияние средств борьбы (химических и физических) с борщевиком на почвенную мезофауну. В ходе исследования было определено, что все выбранные методы прямо или косвенно влияют

на биоразнообразии и биомассу организмов. Наибольшее воздействие оказала механическая перекопка почвы.

Научный руководитель: Зейслер Н.А.

Место выполнения работы: БОУ ВО «Вологодский многопрофильный лицей»

#### **14. Белякова О.Ю., Шведова С.И.**

Россия, Москва, Биологический кружок ЮИП, 6, 7 класс

##### **Чёрный стрижен в период гнездования в Национальном парке «Смоленский»**

На территории Национального парка «Смоленский» (Ичалковский район Республики Мордовия) были проведены наблюдения за двумя гнездящимися колониями чёрных стрижей в искусственных гнездовых — «дуплянках». Был изучен рацион молодняка по останкам насекомых в экскрементах и выявлены различия по успешности размножения чёрных стрижей в различных условиях обитания.

Научный руководитель: Хижнякова А.С.

Место выполнения работы: МГУ имени М.В. Ломоносова, ЮИП

#### **15. Бернацкий В.В.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 2 г. Витебска», 11 класс

##### **Роль склоновых местообитаний в сохранении биоразнообразия наземных моллюсков г. Витебска**

В пределах городов склоны оврагов и речных долин зачастую заняты не благоустраиваемыми зелёными зонами. Именно в пределах подобных местообитаний выявляется наибольшее в черте города количество видов наземных моллюсков. В целом склоны оврагов богаче видами моллюсков по сравнению со склонами речных долин. В то же время именно овраги, как правило, являются местами завоза и расселения чужеродных видов моллюсков.

Научный руководитель: Коцур В.М.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 2 г. Витебска»

#### **16. Булавинова В.И., Унтилова А.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ЧОУ ОиДО «ЛНМО» БиоТоп, 10 класс

##### **Изучение структуры бентосных литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ Баренцева моря**

Структура и биоразнообразие сообществ гидробионтов литорали Баренцева моря описаны неполно. Данные по литоральным сообществам в районе ММБИ «Дальние Зеленцы» с 1948 года обобщены в нескольких работах. Цель работы — изучить зависимость структуры бентосных литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ от условий среды. В результате выявлена зависимость структуры сообществ от солёности, pH, характера грунта и прибойности. Проведён сравнительный анализ данных

за два года. Построена карта горизонтов и трофические сети литоральных сообществ изучаемых губ.

Научный руководитель: Дюмина А.В.

Место выполнения работы: ЧОУ ОидО «ЛНМО» БиоТоп

### **17. Ванюшкина А.А.**

Россия, Калининградская область, Багратионовск, МБОУ «Средняя школа города Багратионовска», 10 класс

#### **Возможные причины аномального роста сосны обыкновенной в Багратионовском районе Калининградской области за 2018–2019 год**

В Калининградской области сосновые леса занимают примерно 17% лесопокрытой площади. У одной из особей сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris*) была выявлена мутация. Осенью 2018 года она дала второй прирост, в котором у растения в пучке были распложены три хвоинки, вместо двух. Цель работы — узнать возможные причины прироста и по возможности вывести новую морфоформу сосны.

Научный руководитель: Романова И.И.

Место выполнения работы: МБОУ «Средняя школа города Багратионовска»

### **18. Викленко И.С.**

Россия, Республика Адыгея, Майкоп, Региональный центр выявления и поддержки одаренных детей «Полярис-Адыгея», 9 класс

#### **Роль полиморфизма G1181C гена TNFRSF11B в развитии рака щитовидной железы у жителей республики Адыгея**

Папиллярный и фолликулярные формы рака щитовидной железы (РЩЖ) являются преобладающими в республике Адыгея (РА) и диагностируются преимущественно в возрастной группе 40–60 лет (у женщин чаще на 63,6%). Полиморфизм G1181C гена TNFRSF11B достоверно не связан с риском развития РЩЖ ( $p > 0,05$ ). Для частотного распределения аллелей и генотипов SNP rs2073618 гена TNFRSF11B в популяции жителей республики Адыгея по сравнению с европейской популяцией характерно увеличение долей G1181G (0,36) и C1181C (0,31) генотипов.

Научный руководитель: к.б.н. Татаркова Е.А.

Место выполнения работы: Региональный центр выявления и поддержки одаренных детей «Полярис-Адыгея»

### **19. Власюк Д.П.**

Россия, Новгородская область, Хвойная, МАОУСШ № 1 им. А.М. Денисова, 10 класс

#### **Характеристика родников-истоков реки Беленькой**

В ходе работы была поставлена цель оценить экологическое состояние родников р. Беленькой и предположено, что родники, являющиеся истоком речки Беленькой, имеют карстовое происхождение. Это говорит

об уникальности территории и возможности присвоения данной территории статуса ООПТ. В результате проведённых исследований был сделан вывод, что данный объект природы имеет определённый интерес в изучении карстовых форм рельефа на территории района и можно ходатайствовать о присвоении статуса охраняемой территории.

Научный руководитель: Коноплева Е.С.

Место выполнения работы: МАОУСШ № 1 им. А.М. Денисова

## **20. Воротникова А.С.**

Россия, Воронеж, МБУДО ЦДО «Созвездие», 10 класс

### **Сравнение выклева и себестоимости различных образцов артемии (*Artemia sp.*) из числа имеющихся в продаже**

В работе рассматриваются и сравниваются различные образцы артемии (*Artemia sp.*) из числа имеющихся в продаже. Определяется наилучший образец по количеству науплий артемии, образец с самой низкой себестоимостью науплий, образец, который проще всего инкубировать аквариумистам, и образец с самой низкой ценой за упаковку и за грамм цист. Исследование позволило проверить характеристики артемии, заявленные производителем, и на основе этого сделать выводы о целесообразности покупки и дальнейшего использования того или иного образца артемии.

Научный руководитель: Блинов М.А.

Место выполнения работы: МБУДО ЦДО «Созвездие»

## **21. Гаврилова Е.О.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 534, 10 класс

### **Изучение роста *Limecola balthica* и *Semibalanus balanoides***

Кальцеин (C30H26N2O13) — флуоресцентный краситель, использующийся в исследованиях, посвящённых скорости роста морских организмов с наружным известковым скелетом, в качестве метки на растущей его части. В качестве объектов исследования массовых обитателей литорали Белого моря, не обладающих периостракумом, выбраны двусторчатый моллюск *Limecola balthica* и усоногий рак *Semibalanus balanoides*. Они помещались в 7% водный раствор C30H26N2O13 на 48 часов, после чего в течение месяца находились в садках на литорали Южной губы острова Ряжков (Кандалакшский залив Белого моря). После изучения объектов под конфокальным микроскопом с длиной световой волны лазера 488 нм были выявлены полосы люминесценции. Это доказывает, что кальцеин может быть успешно применен в исследованиях, посвященных панцирным животным, не обладающим периостракумом.

Научный руководитель: Аристов Д.А.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

## **22. Гайдуков Д.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ Лицей № 244, 8 класс

### **Задачи и перспективы сохранения земноводных рода *Theلودerma* в неволе**

Среда обитания бородавчатых веслоногов — тропические леса Юго-Восточной Азии — находится под угрозой. Одна из возможностей сохранения рода — разведение в неволе. Целью работы стало исследование условий содержания в неволе одного из малоизученных видов — *Theلودerma horridum*. Наблюдение осуществлялось за самцом *Theلودerma horridum*. Наблюдения свидетельствуют о важности водной среды для содержания *Theلودerma*. Составлены рекомендации к содержанию вида в домашних условиях. Содержание *Theلودerma* несложное, что позволяет надеяться на сохранение этих видов в неволе.

Научный руководитель: Кириллова С.В.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

## **23. Гарипов В.Г., Гарипов В.Г., Задойнов А.А.**

Россия, Москва, ГБОУ Романовская школа, 10, 9 класс

### **Поливариантность адаптогенеза древесных растений в условиях техногенеза (на примере Московского промышленного центра)**

Данная работа посвящена комплексному анализу различных параметров надземных и подземных вегетативных органов основных лесообразующих видов Москвы в условиях техногенного загрязнения. Показано, что адаптивный потенциал берёзы повислой реализуется на различных структурно-функциональных уровнях организации. Взаимосвязь адаптивных реакций надземной и подземной частей берёзы обеспечивает высокую устойчивость данного вида к действию загрязнителей.

Научный руководитель: к.б.н. Сейдафаров Р.А.

Место выполнения работы: ГБОУ Романовская школа

## **24. Гвириц Т.М.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 197, 10 класс

### **Структурные особенности макрозообентоса в прибрежной зоне западной части архипелага Берёзовые острова**

Работа представляет собой результат обработки данных, собранных в северо-западной части архипелага Берёзовые острова в июле 2019 года. В работе представлены данные о таксономическом составе, разнообразии и сходстве видового состава в разных точках острова Западный Берёзовый. Также представлены данные о распространении краснокнижного вида *Mysis relicta* и инвазивного вида *Dreissena polymorpha*.

Научный руководитель: Горин К.К.

Место выполнения работы: ГБУ ДО ДДИОТ Выборгского района

## **25. Гиблер А.Е.**

Россия, Тюменская область, Ишим, МАОУ СОШ № 7, 7 класс

### **Изучение видового состава слепней города Ишима и его окрестностей путём применения различных ловушек**

Цель работы — изучение видового состава, численности и особенностей экологии слепней на территории и в окрестностях г. Ишима путём применения различных ловушек для сбора двукрылых. Основные методы отлова: использование «чучелообразной ловушки» К. Скуфьина (Скуфьин, 1951 г.), шаровидной ловушки Павловой (1969 г.), отлов энтомологическим сачком в течение 20 минут (Олсуфьев, 1977 г.), отлов слепней на автомобиле. В результате работы проведена оценка эффективности различных методов изучения слепней. Исследован их видовой состав на изучаемой территории, проведён анализ суточной и сезонной активности.

Научный руководитель: Тарицына Т.В.

Место выполнения работы: МАОУ СОШ № 7 г. Ишима

## **26. Гоголева Д.Н., Долбина Э.А., Ильина У.И., Цику С.Э.**

Россия, Республика Адыгея, Майкоп, Региональный центр выявления и поддержки одарённых детей «Полярис-Адыгея», 9, 10 класс

### **Ассоциация полиморфизма G1181C гена TNFRSF11B с предрасположенностью к ожирению и сахарному диабету II типа**

Изучив частотное распределение аллелей SNP G1181C гена TNFRSF11B для жителей республики Адыгея, мы пришли к выводу о возможности его использования в качестве маркера предрасположенности к ожирению и сахарному диабету II типа ( $p < 0,005$ ;  $\chi^2 = 7,957$ ). При сравнении полученных данных (A=0,52; G=0,48) с европейскими популяциями (A=0,61; G=0,39) установлено, что частота ассоциированной с исследуемой патологией «мутантной» — 1181C аллели выше у обследованных жителей Республики Адыгея, чем в Европе.

Научный руководитель: к.б.н. Татаркова Е.А.

Место выполнения работы: Региональный центр выявления и поддержки одарённых детей «Полярис-Адыгея»

## **27. Гольдштейн М.С., Немчинов Н.М.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ лицей № 214, 9, 8 класс

### **Пространственная дифференциация растительности на склоне долины реки Гольцовка (Мурманская область)**

Работа посвящена изучению пространственной дифференциации растительности на склоне горы в Хибинах в районе верховьев реки Гольцовка (окрестности поселка Имандра Мурманской области). В ходе работ был выделен профиль, идущий вверх по склону и имеющий длину 970 метров. Вдоль профиля были описаны нижние яруса и древостой. На профиле явно выражено три пояса растительности по составу древостоя: лесной пояс,

берёзовое криволесье и горная тундра. Выявлено 6 фитоценозов с их типами микрогруппировок, дано описание выявленных сообществ.

Научный руководитель: Пичугин С.А.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

## **28. Губина Е.Ю.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 10 класс

### **Полиморфизм гена холодового рецептора TRPM8 (rs7593557) в этнических группах Сибири и Дальнего Востока**

В адаптации человека к температуре внешней среды важную роль играют терморесепторы, являющиеся первичным звеном термочувствительности. В ходе работы было проведено исследование гена холодового рецептора TRPM8 по однонуклеотидному полиморфизму rs7593557 у нивхов, коряков, татар и русских. В результате исследований гомозиготы по редкому аллелю А обнаружены у нивхов (33.3%) и коряков (5.8%). По частоте гетерозигот выборки расположились следующим образом: татары (69%), коряки (47%), нивхи (47%) и русские.

Научный руководитель: Губина М.А.

Место выполнения работы: ИЦиГ СО РАН

## **29. Домнина Д.О., Мельник Е.А., Нецветаев В.А.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

### **Поведение цветков трёх видов росянки (*Drosera*)**

Наблюдение за поведением цветков трёх видов росянки в Ленинградской области позволило выявить разные паттерны изменения открытости цветков в зависимости от погоды и от вида.

Научный руководитель: к.б.н. Волкова П.А.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

## **30. Ерофеевский В.В.**

Россия, Воронеж, МБУДО ЦДО «Созвездие», 7 класс

### **Влияние различных видов воды и соли на выклев науплий артемии**

Личинки (науплиусы) артемии — традиционный корм для мальков аквариумных рыб. Мы изучали, влияет ли использование разных видов воды и соли на выход науплий артемии. В опыте использовались три вида соли и два вида воды. Выход артемии оценивался путём измерения высоты столба артемии через 15 минут после отключения воздуха. В ходе исследований было установлено, что в минеральной воде выход науплий артемии выше, чем в водопроводной. Полученные результаты позволят аквариумистам

повысить выход артемии и, как следствие, сократить затраты на выкармливание рыб.

Научный руководитель: Бражникова М.Ф.

Место выполнения работы: МБУДО ЦДО «Созвездие»

### **31. Карелина А.М., Иванова Е.Е.**

Россия, Москва, Биологический кружок ЮИП, 8, 7 класс

#### **К вопросу о гирудофауне Среднего Поволжья и использовании пиявок (*Annelida: hirudinea*) как индикаторов сапробности водоёмов**

В работе представлены обобщенные данные по гирудофауне Среднего Поволжья, а также впервые приводится фаунистический список настоящих пиявок (*Hirudinea: Euhirudinida*) Республики Мордовия. Разработаны методы оценки сапробности водоёмов с использованием пиявок как биоиндикаторов среды обитания в регионах Центра Европейской части России.

Научный руководитель: Хижнякова А.С.

Место выполнения работы: МГУ имени М.В. Ломоносова, ЮИП

### **32. Копцев Д.А., Бакшеев А.И., Кабанов Д.В.**

Россия, Томск, МБОУ Лицей при ТПУ, 10, 9 класс

#### **Исследование и модификация инкапсулированных и не инкапсулированных слоев полиэлектролитов цианобактерий с помощью физико-химических методов и применение их свойств в виде нового способа генерации кислорода**

В результате экспериментов с не инкапсулированными и инкапсулированными цианобактериями были выявлены оптимальные объём кислорода, выделяемый цианобактерии в инкапсулированном и не инкапсулированном состоянии, масса, время, температура, энергия ионизирующего излучения, сняты дифрактограммы на рентгеновском дифрактометре. На основе полученных данных был создан реактор, поддерживающий условия выделения кислорода цианобактериями, рассчитаны параметры электросхемы, отвечающей за условия выделения кислорода цианобактериями, и создано программное обеспечение к ней. Создана ферма для массового выращивания цианобактерий.

Научный руководитель: д.ф.-м.наук Крючков Ю.Ю.

Место выполнения работы: МБОУ Лицей при ТПУ; АНО ДО «Детский технопарк "Кванториум"»; НИ «Томский Политехнический Университет»

### **33. Корбан Е.А.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова»,  
10 класс

#### **Сравнительный анализ экологического состояния некоторых озёр Витебской области методами биоиндикации**

В 2019 году методами биоиндикации проведено сравнение чистоты семи водоёмов Витебской области, в различной степени подверженных антропогенной нагрузке. Обследованы озёра Городно, Островно, Зароново, Полонское, Бернское, Островито, Сорро. Дана оценка чистоты водоёмов по литореофилам и по Майеру. Оба метода выделяют в качестве чистых водоёмов оз. Сорро и оз. Остравито. Наиболее загрязнённым можно считать оз. Полонское (влияние автотрассы, сельхозугодий и большого количества отдыхающих). Остальные четыре озера несут признаки слабого антропогенного загрязнения.

Научный руководитель: Шибанов Г.А.

Место выполнения работы: ГУДО «Витебский областной дворец детей и молодёжи»

### **34. Котова М.Р.**

Россия, МО, Одинцовский р., Раздоры, АНОО «Областная гимназия им. Е.М. Примакова», 9 класс

#### **Изучение закономерности расположения чашелистиков в цветках двудольных растений на примере лютика (*Ranunculus repens*) и герани (*Geranium pratense*)**

Существуют растения, в отношении которых учёные придерживаются разных точек зрения. Например, одни учёные считают цветки лютиков гемициклическими (с круговым расположением чашелистиков и лепестков), другие — полностью спиральными. Это разногласие возникло, потому что вопрос о том, как расположены органы в цветках конкретных растений, довольно редко решался количественными методами. В работе авторы решили восполнить этот пробел, предоставив количественные данные об углах между органами цветков лютика ползучего (как растения, в отношении которого есть разногласия) и герани луговой (цветка, которого все авторы считают циклическим), и получили неожиданные результаты.

Научный руководитель: Переверзева А.Р.

Место выполнения работы: Звенигородская биостанция МГУ им. С.Н. Скадовского

### **35. Крутинская А., Потехина В.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ «Академическая гимназия № 56», 9, 8 класс

#### **Обзор предимагинальных стадий отрядов *Plecoptera* и *Trichoptera* водотоков Тигирекского заповедника (Алтайский край)**

Работа посвящена анализу особенностей пространственного распределения предимагинальных стадий веснянок и ручейников в водотоках Тигирекского

заповедника. Также представлены новые данные по видовому составу и обилию этих групп, приведены виды, впервые отмеченные в водотоках заповедника.

Научный руководитель: Ляндзберг А.Р.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

### **36. Куляшов А.Н., Харлашкина В.О.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ СОШ № 79, 8 класс

#### **Изучение морфологических особенностей эпидермиса комнатных растений**

В ходе работы изучались морфологические особенности эпидермиса комнатных растений методом микроскопии. Для исследований были выбраны растения, относящиеся к семействам Бегониевые, Ароидные, Коммелиновые. Проведённые исследования показали, что наибольшие различия изученных признаков наблюдаются на уровне класса, а наименьшие — на уровне вида растения. Однако, несмотря на сходство в строении устьичных аппаратов, основных клеток эпидермиса и трихом у растений одного вида, нельзя сказать, что эти структуры полностью идентичны. Эпидермис каждого растения имеет свои отличительные признаки, что позволяет использовать их для диагностики растительного сырья.

Научный руководитель: Коростелёва Ю.В.

Место выполнения работы: ГБОУ СОШ № 79

### **37. Леоненко Я.И.**

Республика Беларусь, Витебск, СШ № 5, 10 класс

#### **Видовое разнообразие двустворчатых моллюсков *Unionidae* и *Anodontidae* из нескольких озёр Витебской области**

Озёра Витебской области являются частью природного комплекса Белорусское Поозёрье. Моллюски семейств *Unionidae* и *Anodontidae* являются важным компонентом водных экосистем Республики Беларусь. Были обследованы озёра Шевино, Лётцы, Белое, Добрино, Скрыдлево, Городно. Сбор проводился при помощи бентосного скребка и вручную. Было выявлено четырнадцать видов, относящихся к пяти родам и трём семействам. Установлено, что наибольшим видовым  $\beta$ -разнообразием двустворчатых моллюсков обладает оз. Шевино с коэффициентом 0,17, а минимальное биоразнообразие проявляют озёра Добрино и Городно.

Научный руководитель: Шибанов Г.А.

Место выполнения работы: ГУДО «Витебский областной дворец детей и молодёжи»

### **38. Литвинова А.В., Киселев Л.Ю.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ лицей № 64, 11, 10 класс

#### **Изучение генетического разнообразия *Vaccinium vitis-idaea***

Работа посвящена исследованию морфометрических различий между подвидами *Vaccinium vitis-idaea*. Сбор материала проводился в Мурманской, Ленинградской области, НАО и Урале. Другие образцы были представлены гербариями. Для анализа измерялись следующие параметры: высота куста, длина и ширина листьев, длина до самой широкой части листа; оценивалась видимость боковых жилок на обеих сторонах листьев в баллах. Был произведён кластерный (по морфометрическим параметрам показавший 4 группы) и генетический (по маркеру ITS 5,8S рРНК, не показавший различий) анализы.

Научный руководитель: Пичугин С.А.

Место выполнения работы: ГБНОУ СПбГДТЮ ЭБЦ «Крестовский остров»

### **39. Лихошва В.А.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 11 класс

#### ***Azotobacter* — показатель благополучия состояния среды?**

Большое число бактерий *p. Azotobacter* (А) в почве считают показателем её высокого плодородия. При этом имеются данные об обилии А в нарушенных почвах. В ходе работы изучено шесть вариантов чернозёма с различным содержанием органического вещества (ОВ), связанным со степенью выпашанности почвы. В самом бедном и самом богатом вариантах обрастаний комочков почвы А на среде Эшби не было обнаружено. Причина: в бедной почве — недостаток доступного ОВ, в богатой — высокая конкуренция со стороны аборигенной микрофлоры. Сделан вывод, что обилие А в почве не может быть однозначным показателем её благополучия.

Научный руководитель: д.б.н. Данилова А.А.

Место выполнения работы: МКУ ДО НСР НСО «Станция юных натуралистов»

### **40. Макарова Е.М.**

Россия, Республика Коми, Сыктывкар, ГОУ «КРЛ при СГУ», 10 класс

#### **Структурные изменения вегетативных побегов сосны обыкновенной (*Pinussylvestris* L.) под влиянием атмосферного загрязнения**

Хвойные растения являются хорошим биоиндикатором для оценки загрязнённости атмосферы. В ходе работы изучалась сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.): структурные (морфологические и анатомические) изменения вегетативных побегов сосны обыкновенной под влиянием атмосферного загрязнения выбросами Сыктывкарского лесопромышленного комплекса на двух участках. В ходе исследований было установлено, что с приближением к источнику загрязнения средние морфологические и анатомические показатели на опытном участке снижены. Однако два показателя — охвоенность побега и число устьиц на 1 мм устьичного ряда —

не различаются по участкам, т. е. эти параметры нельзя использовать как индикаторные.

Научный руководитель: Герасименко Н.Л.  
Место выполнения работы: ГОУ «КРЛ при СГУ»

#### **41. Меличева А.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ЧОУ ОиДО «ЛНМО», 9 класс

##### **Пищевое поведение *Nucella lapillus*: губа Ярнышная и Дальнезеленецкая**

Пищевое поведение хищных брюхоногих моллюсков *Nucella lapillus* описано для Норвежского и Северного морей. Однако факторы, определяющие выбор пищевых объектов, специально не исследовались. Нами была предпринята попытка определить, насколько выбор добычи представителями видов *N. lapillus* в р-не НИС ММБИ КНЦ РАН «Дальние Зеленцы» детерминируется обилием и разнообразием пищевых ресурсов. В рамках проведённого полевого эксперимента мы приближённо моделировали ситуацию на литорали в районе исследования — в качестве потенциальных пищевых объектов использовались представители наиболее распространённых видов.

Научный руководитель: Дюмина А.В.  
Место выполнения работы: ЧОУ ОиДО «ЛНМО»

#### **42. Начатой В.А.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

##### **Фауна стрекоз (*Insecta: Odonata*) Нижне-Свирского заповедника и Удомельского района Тверской области и изменчивость крылового четырёхугольника у некоторых видов**

В ходе работы составлен список стрекоз Нижне-Свирского государственного природного заповедника и дополнен список стрекоз Удомельского района Тверской области. На материале видов *Pyrrhosoma nymphula*, *Coenagrion hastulatum* (*Coenagrionidae*) и *Platycnemis pennipes* (*Platycnemididae*) уточнены отличительные признаки семейств *Coenagrionidae* и *Platycnemididae*, используемые в определителях, и предложены новые отличительные признаки, связанные с крыловым четырёхугольником.

Научный руководитель: к.б.н. Петров П.Н.  
Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

#### **43. Некрасова Д.М., Кравчук А.Е.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

##### **Морфологическая изменчивость малоизвестной пузырчатки *Utricularia ochroleuca* (*Lentibulariaceae*) на севере Европейской России**

Морфометрия редкого в России вида *U. ochroleuca* выявила очень высокую внутривидовую изменчивость вегетативных диагностических

признаков. Разделение этого вида на *U. ochroleuca s.str.* и *U. stygia* не оправдано.

Научный руководитель: к.б.н. Волкова П.А.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

#### **44. Нечитайло П.А., Гарский В.А.**

ЛНР, Луганск, ГУ ЛНР «ЛОУСОШ № 18», 11, 7 класс

##### **Комплексное использование различных методов для оценки состояния природно-антропогенных систем (на примере г. Луганска)**

В работе представлено определение показателя стабильности развития по состоянию простых листьев древесных растений г. Луганска методом клиновидной дегидратации, были проведены исследования токсичности водных вытяжек, полученных из листьев (анализировался структурный портрет дегидратированной капли). Проведённое исследование позволило выявить разную степень нарушения стабильности развития у фоновых видов древесных растений, подтверждённую результатами исследования фаций, что может указывать на разную степень устойчивости растений к загрязнению окружающей среды в условиях урбанизированных территорий. Загрязнение природной среды приводит практически у всех изученных древесных растений (за исключением абрикоса) к накоплению токсических веществ и уменьшению количества белка в водной вытяжке.

Научный руководитель: кандидат биологических наук Гаранович И.И.

Место выполнения работы: ЛГ НОУМ

#### **45. Олейникова П.Е., Харичева А.Н., Стасьева Т.В., Жигайло Ю.А.**

Россия, МО, Долгопрудный, АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы, 10 класс

##### **Морская мистерия**

Биолюминесценция — способность некоторых организмов светиться в связи с реакцией люциферин-люциферазы. В ходе работы изучалась способность к биолюминесценции у *Pyrocystis fusiformis*, а также разрабатывалась модель механизма, способного эффективно продемонстрировать эту способность в условиях «Москвиума». Выбранные методы: метод измерения, метод наблюдения, метод эксперимента. Материал для эксперимента — культура *Pyrocystis fusiformis*.

Научный руководитель: к.б.н. Сальникова Е.И.

Место выполнения работы: АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы

#### **46. Папченко А.А., Блейхер С.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ Гимназия № 227, 9 класс

##### **Экологическая тропа по разнообразию растительных сообществ на территории Национального парка «Хибины»**

Цель работы — изучение флоры Хибин и создание экологической тропы. Использовались стандартные методики геоботанического описания.

Рассмотрено восемь площадок 100 м<sup>2</sup>, при описании учитывалось общее проективное покрытие разных ярусов, количество древостоя. Описано четыре зелёномшно-лишайниковых сообщества, одна лишайниковая тундра, два смешанных леса и одно маково-разнотравное сообщество. Созданы аншлаги с информацией о сообществах и ознакомительная информация о местной флоре для туристов.

Научный руководитель: Пичугин С.А.

Место выполнения работы: ЭБЦ «Крестовский остров» ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

#### **47. Петренко Е.С.**

Россия, Воронеж, МБУДО ЦДО «Созвездие», 10 класс

##### **Влияние различных кормов на темп роста молоди чакской рогатки (*Ceratophrys cranwelli*)**

Рогатки — одни из самых распространённых в террариумной культуре лягушек. Обычно рогаток кормят лягушками. Но в домашних условиях обеспечить такое питание сложно и дорого. Поэтому остро стоит вопрос о выборе кормов-заменителей. Изучалась возможность выращивания рогаток на рыбном филе, без использования лягушек в рационе. В ходе работы сравнивалось влияние корма (рыбное филе и лягушки) на темп роста рогаток. Анализ показал, что он практически одинаков. Полученные данные, позволяют рекомендовать рыбное филе в качестве основного корма для рогаток.

Научный руководитель: Блинов М.А.

Место выполнения работы: МБУДО ЦДО «Созвездие»

#### **48. Петрова Е.А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 582, 10 класс

##### **Влияние потребления хлорида натрия на эффективность действия диуретиков у крыс**

Высокое потребление NaCl увеличивает объём внеклеточной жидкости, способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний. Использующиеся для их терапии диуретики усиливают выведение Na и жидкости почками. Эффективность препаратов при избыточном потреблении NaCl изучена мало. Мы исследовали влияние диуретиков на мочеотделение и выведение ионов у крыс, получавших корм с содержанием NaCl 0,4% и 4%. Показано, что при 10-кратном увеличении потребления крысами NaCl экскреция Na с мочой увеличилась всего в 3,6 раза, резко снизилась эффективность фуросемида и гипотиазида.

Научный руководитель: к.м.н. Кутина А.В.

Место выполнения работы: ИЭФБ РАН

#### **49. Сафин А.Р.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 10 класс

##### **Частота встречаемости различных генотипов гена дофаминового рецептора D4 у подростков**

Ген дофаминового рецептора D4 представляет собой гипервариабельный регион, состоящий из участка размером 48 п.н., повторяющегося от двух до одиннадцати раз. Мы изучали ген дофаминового рецептора D4 у школьников ФМШ славянской и тюркской национальностей и подростков Новосибирска. Выявлено десять генотипов у школьников ФМШ и подростков Новосибирска и шести у тюрков. Распространённым в трёх выборках был генотип 4R4R с частотой 66%, 60% и 55% соответственно. Аллель 7R, был выявлен у подростков Новосибирска и у тюрков.

Научный руководитель: к.б.н. Губина М.А.

Место выполнения работы: ИЦиГ СО РАН

#### **50. Седловская П.Ю.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 1 имени Ж.И. Алфёрова», 9 класс

##### **Биоразнообразие планктона некоторых озёр Витебской области и зависимость его видового состава от экологического статуса водоёмов**

Были обследованы озёра Городно, Мелкое, Островно, Липно, Ходцы и Сорро на водосборе р. Западная Двина. Изучены летние зоопланктоценозы прибрежной зоны. Определялись до вида представители отряда *Daphniiformes*. Были выявлены 12 видов дафниеобразных. В пробах отмечено присутствие коловраток, каляноид, циклопов и ракушковых раков. Была рассчитана мера биологического разнообразия по Уиттакеру. Лучшие результаты: озеро Липно 0,78 и озеро Городно 1,0 и Островно 1,0. В озёрах Мелкое, Ходцы и Сорро биоразнообразие несколько ниже — в пределах от 1,29 до 1,8.

Научный руководитель: Шибанов Г.А.

Место выполнения работы: ГУДО «Витебский областной дворец детей и молодёжи»

#### **51. Смолякова М.А.**

Республика Беларусь, Витебск, ГУО «Гимназия № 2 г. Витебска», 11 класс

##### **Открытие признаков метаболического синдрома у лёгочных пресноводных моллюсков**

Метаболический синдром описан у млекопитающих и человека как проявление на уровне организма результатов неблагоприятных воздействий физического, химического и биологического характера в виде инсулинорезистентности. Сходные признаки выявлены нами у прудовика и катушки. У указанных моллюсков выявлены три признака метаболического

синдрома. Признаки метаболического синдрома пресноводных моллюсков могут быть использованы для биоиндикации состояния водных объектов.

Научный руководитель: д.б.н. Чиркин А.А.

Место выполнения работы: ГУО «Гимназия № 2 г. Витебска»

## **52. Соколов А.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ школа № 197, 9 класс

### **Муравьи семейства *Formicidae* в заказнике Берёзовые острова**

В работе представлены данные об исследовании муравьёв рода *Formika* в заказнике Берёзовые острова в период с 10.07.19 по 22.07.19. Обнаружены 7 видов муравьёв. Муравьи родов *F. cinerea*, *F. lugubris* являются наиболее распространёнными, наименее распространённые — виды *F. Pressilabris*, *F. sanguinea*, *F. suecica*. Основные различия колоний муравьёв — видовой состав и размеры купола муравейника. Изучено 9 комплексов, выявлены внутривидовые связи.

Научный руководитель: Горин К.К.

Место выполнения работы: ГБУ ДО ДДЮТ Выборгского района

## **53. Соллертинская В.Е.**

Россия, Вологда, БОУ ВО «Вологодский многопрофильный лицей», 10 класс

### **Исследование влияния глифосатсодержащего гербицида на растения**

Глифосат — самый используемый гербицид за всю историю сельского хозяйства. В большинстве исследований не рассматривается отсроченное действие данного гербицида, а имеющиеся результаты рознятся. Поэтому интерес представляет поведение глифосата в воде и почве после обработки участка гербицидом. Посредством лабораторного и полевого экспериментов было установлено, что глифосат приводит к сокращению биоразнообразия и имеет отрицательные последствия для возобновления роста растений на обработанной территории, были выявлены пути проникновения гербицида в растение.

Научный руководитель: Зейслер Н.А.

Место выполнения работы: БОУ ВО «Вологодский многопрофильный лицей»

## **54. Суглобова Е.А.**

Россия, Воронеж, МБУДО ЦДО «Созвездие», 9 класс

### **Отбор семенного материала желудей дуба черешчатого (*Quercus robur*) по морфометрическим параметрам**

Дуб — один из основных объектов искусственного лесовосстановления, поэтому очень важно отбирать высококачественные жёлуди на семена. Как альтернатива водному тесту изучался способ отбора желудей с помощью портативных электронных весов, электронного штангенциркуля и калькулятора. Материал для экспериментов — жёлуди, собранные в разных точках. Были измерены масса желудей, их длина и диаметр. Рассчитано

значение коэффициента  $k = m/(1*d^2)$ , позволяющее судить о качестве жёлудя. Если оно  $\geq 0,65$  можно сделать вывод, что отобран качественный жёлудь.

Научный руководитель: Блинов М.А.

Место выполнения работы: МБУДО ЦДО «Созвездие»

### **55. Торбина А.Ю.**

Россия, МО, Одинцовский р., Раздоры, АНОО «Областная гимназия им. Е.М. Примакова», 10 класс

#### **Оптимизация системы модульного клонирования для использования при получении трансгенных растений**

Технология «Golden Gate» («Золотые ворота») стала переворотом в мире молекулярной биологии. Её появление значительно облегчило создание трансгенных растений. Однако созданные на основе этой технологии коммерческие наборы содержат в себе недоработку, мешающую исследователям быстро получать результаты: в таких наборах отсутствуют терминаторные последовательности. В своей работе мы постарались решить эту проблему.

Научный руководитель: Переверзева А.Р.

Место выполнения работы: АНОО «Областная гимназия им. Е.М. Примакова»

### **56. Трунова П.В.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

#### **Новые данные по фауне чешуекрылых (*Insecta: Lepidoptera*) Нижне-Свирского государственного природного заповедника и изменчивость размеров *Aglais urticae* (Linnaeus, 1758)**

В ходе работы изучалась фауна чешуекрылых окрестностей р. Гумбарка на территории Нижне-Свирского заповедника. Измерились представители вида *Aglais urticae*. Была проанализирована их изменчивость, дополнен предварительный список чешуекрылых заповедника, составленный по материалам 2017–2018 гг. Представлены следующие семейства: *Papilionidae* (1 вид), *Hesperiidae* (3 вида), *Pieridae* (6 видов), *Lycaenidae* (5 видов), *Nymphalidae* (21 вид), *Arctiidae* (2 вида), *Geometridae* (4 вида), *Pterophoridae* (1 вид), *Zygaenidae* (1 вид).

Научный руководитель: к.б.н. Петров П.Н.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

### **57. Тутубалина Н.А., Лепкова С.Я., Зюбина Е.П.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1543, 9 класс

#### **Предпочтения при повороте в лабиринте у муравьёв вида *Formica polyctena* (Forster, 1850)**

В работе исследовалось влияние различных факторов на поворот муравья к гнезду или от гнезда. Муравьёв помещали в лабиринт с перпендикулярной развилкой и фиксировали направление их поворота и условия, при которых

муравей был запущен. Муравьи, запущенные ближе к гнезду, чаще шли от него, а запущенные дальше от гнезда — к нему. Муравьи, взятые с дорожки, чаще поворачивали к гнезду, муравьи, взятые не с дорожки — от него. Муравьи, запущенные в лабиринт одновременно, чаще шли в одну и ту же сторону.

Научный руководитель: Глаголева Н.С.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1543

## **58. Фёдорова С., Егоров В., Солдатова С., Солуянова С.**

Россия, Москва, ГБОУ Школа № 1950, 10, 9 класс

### **Применение регуляторов роста растений на пшеницу в различных стрессовых ситуациях**

В работе изучалось влияние регулятора роста растений стифун и его модификаций на пшеницу в условиях засухи и при борьбе с некоторыми грибковыми заболеваниями. Объекты исследования — пшеница сорта Башкирская 26, яровая пшеница сорта Казахстанская 10, озимая пшеница Альбина-45. Показано, что стифун снижает негативное влияние абиотических и биотических факторов на пшеницу. Это выражалось в увеличении массы урожая, снижения числа заражённых растений.

Научный руководитель: Батраев Р.А.

Место выполнения работы: ГБОУ Школа № 1950

## **59. Хорунжева К.К.**

Россия, Новосибирск, СУНЦ НГУ, 11 класс

### **Разработка алгоритма поиска ортологичных групп генов**

На основании существующих методов кластеризации DBscan и MCL был разработан алгоритм выявления ортологичных групп генов у организмов. После такой кластеризации в одной группе у нас оказываются гены с неизвестными нам функциями и гены с известными функциями. Мы можем предположить, что функции генов, о которых мы ничего не знаем, аналогичны функциям генов, о которых есть данные. Новый алгоритм показывает более высокое качество кластеризации, чем DBscan и MCL по отдельности.

Научный руководитель: Константинов Д.К.

Место выполнения работы: СУНЦ НГУ

## **60. Христофорова А.А.**

Россия, Воронеж, МБОУ гимназия им. академика Н.Г. Басова, 10 класс

### **Новая экологическая проблема: лекарственные средства в окружающей среде**

Проведено исследование по определению эффективности удаления диклофенака из сточных вод очистных сооружений в условиях эксперимента и произведена оценка возможной токсичности препарата для живых

организмов. Диклофенак — стойкое к окислению вещество, не используемое микроорганизмами в качестве питательного субстрата. Для живых организмов диклофенак в дозе 1 г/л является токсичным веществом, и его попадание в окружающую среду окажет негативное воздействие на животный и растительный мир водоёмов.

Научный руководитель: Стефаненко Т.В.

Место выполнения работы: МБОУ гимназия им. академика Н.Г. Басова

## **61. Царева Н.И.**

Россия, Нижний Новгород, ГБОУ «Лицей-интернат "ЦОД"», 10 класс

### **Видовое разнообразие трутовых паразитов берёзы повислой как показатель экологических условий лесных насаждений пригорода городского округа г. Бор**

Грибы-макромицеты с древности являются частью биоразнообразия живых организмов. Они влияют на продуктивность и санитарное состояние лесных биогеоценозов. Мы изучили видовой состав и биоразнообразие трутовых паразитов, произрастающих на берёзах в окрестностях города Бор. В работе использовалась маршрутная методика. В ходе исследования был определён видовой состав и выявлены наиболее часто и редко встречаемые виды, а также их экологические особенности произрастания.

Научный руководитель: Овчинникова С.В.

Место выполнения работы: ГБОУ «Лицей-интернат "ЦОД"»

## **62. Цой А.Г.**

Россия, Санкт-Петербург, ГБОУ лицей № 82, 11 класс

### **Рецептор IL-11Ra и лиганд PD-L1 как потенциальные мишени в терапии рака молочной железы**

В ходе исследования был проведён анализ литературных данных и предложен вариант таргетной терапии рака молочной железы. Предлагается разработать лекарственный препарат на основе биспецифичного моноклонального антитела, блокирующего рецептор IL-Ra и лиганд PD-L1. Механизм действия данного антитела — снижение пролиферации опухолевых клеток опосредованной экспрессией ИЛ-11 и восстановление способности иммунной системы эффективно распознавать и уничтожать опухоль путём блокирования лиганда PD-L1.

Научный руководитель: Дзись-Войнаровская А.А.

Место выполнения работы: ГБОУ лицей № 82

### **63. Шебеко А.В., Ковешникова Д.А.**

Россия, Москва, Биологический кружок ЮИП, 8 класс

#### **Особенности онтогенеза пестрянки жимолостной (*Lepidoptera: zygaenidae*) и лжепестрянки обыкновенной (*Lepidoptera: erebidae*)**

В ходе наблюдений процессов размножения и развития потомства двух трудноразличимых, но не родственных видов бабочек — пестрянки жимолостной (*Zygaena lonicerae*) и лжепестрянки обыкновенной (*Zygaena lonicerae*) авторам работы удалось выявить различия, касающиеся репродуктивной способности имаго, и провести сравнительный анализ морфофизиологических особенностей этих видов на стадии яйца и гусеницы.

Научный руководитель: Хижнякова А.С.

Место выполнения работы: МГУ имени М.В. Ломоносова, ЮИП

### **64. Юрков В.Г., Обморнов М.В.**

Россия, Москва, Биологический кружок ЮИП, 8, 7 класс

#### **Дереворазрушающие макромицеты Национального парка «Смольный»**

В работе впервые для Национального парка «Смольный» (Ичалковский район Республики Мордовия) представлен список видов дереворазрушающих макромицетов, насчитывающий 32 вида афиллофороидных грибов. Установлено, что большинство видов грибов данной группы макромицетов развиваются на валежных стволах лиственных пород деревьев. Выявлены виды-паразиты дуба, осины и берёзы, а также виды — индикаторы малонарушенных лесных биоценозов.

Научный руководитель: Хижнякова А.С.

Место выполнения работы: МГУ имени М.В. Ломоносова, ЮИП

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |            |
|--|------------|
| ДОМ ПУСТ, И ПУСТОТА СГУЩАЕТСЯ.....                 | 3          |
| Обращение оргкомитета.....                         | 11         |
| Вступительное слово председателя оргкомитета ..... | 12         |
| <b>Секция ФИЗИКИ .....</b>                         | <b>15</b>  |
| Жюри секции.....                                   | 15         |
| Итоги секции.....                                  | 15         |
| Лауреаты секции.....                               | 15         |
| Аннотации участников.....                          | 104        |
| <b>Секция МАТЕМАТИКИ .....</b>                     | <b>124</b> |
| Жюри секции.....                                   | 124        |
| Итоги секции.....                                  | 124        |
| Лауреаты секции.....                               | 124        |
| Аннотации участников.....                          | 140        |
| <b>Секция ИНФОРМАТИКИ .....</b>                    | <b>146</b> |
| Жюри секции.....                                   | 146        |
| Итоги секции.....                                  | 146        |
| Лауреаты секции.....                               | 146        |
| Аннотации участников. Заседание Информатики.....   | 181        |
| Аннотации участников. Заседание Робототехники..... | 185        |
| <b>Секция БИОЛОГИИ .....</b>                       | <b>190</b> |
| Жюри секции.....                                   | 190        |
| Итоги секции.....                                  | 190        |
| Лауреаты секции.....                               | 190        |
| Аннотации участников.....                          | 213        |