

# **XXII КОЛМОГОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**



**The 22nd KOLMOGOROV READINGS**

**ADVANCED EDUCATION AND SCIENCE CENTER**

**PROCEEDINGS**

**of the 22nd International Scientific Conference of students**

**Kolmogorov readings**

**May 2-5, 2022**

**PHYSICS**

**Moscow**

**2022**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
(факультет) — школа-интернат имени А.Н. Колмогорова  
Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова**

**МАТЕРИАЛЫ  
XXII Международной научной конференции школьников  
«Колмогоровские чтения»  
2-5 мая 2022**

**ФИЗИКА**

**Москва  
2022**

Председатель организационного комитета  
XXII Международной научной конференции школьников  
«Колмогоровские чтения»:

**К.В. Семенов**

Редакционный совет сборника тезисов «Физика»:  
**Е.И.Могилевский, К.Д. Сладков(председатель)**

## **МАТЕРИАЛЫ**

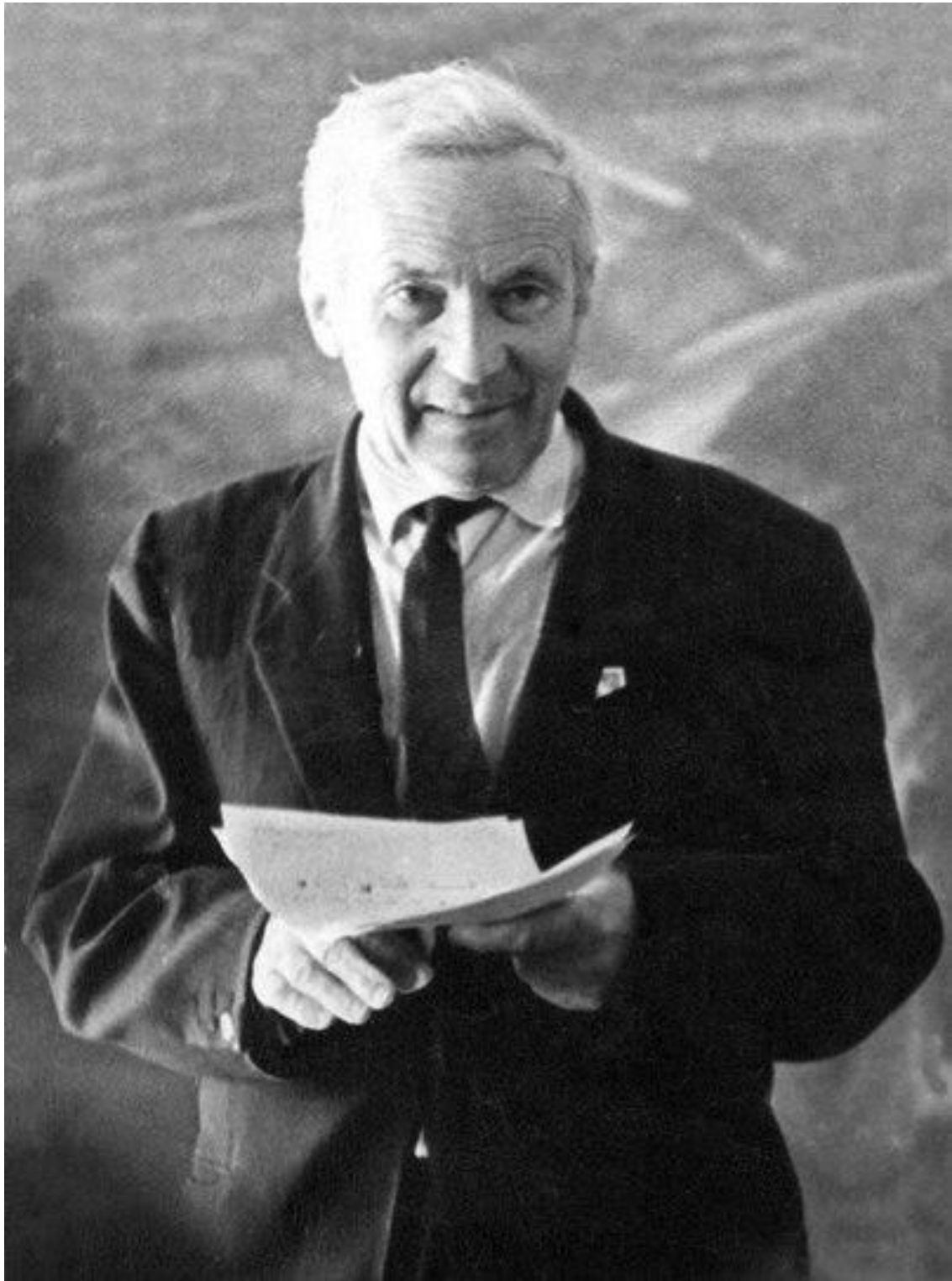
### **XXII Международной научной конференции школьников «Колмогоровские чтения»**

В настоящий сборник вошли тезисы приглашённых докладчиков  
XXII Международной научной конференции школьников  
«Колмогоровские чтения» по секции  
«Физика»

ISBN 978-5-87140-466-9 (секция «Физика»)

ISBN 978-5-87140-467-7

©Специализированный учебно-научный центр (факультет) —  
школа-интернат имени А.Н. Колмогорова  
Московского государственного университета имени  
М.В. Ломоносова, 2022 г.



*Как в спорте не сразу ставят рекорды, так и подготовка к настоящему научному творчеству требует тренировки.*

*А.Н. Колмогоров*

## Оглавление

Study of Heat Distribution Technique for Making Temperature at Each Point Equally. <i>Jantharakanapat T., Sonuch N.</i> .....	7
Hydrogen Sulfide ( $H_2S$ ) detection system in risky areas with real-time display via smartphone. <i>Kitsamret W., Tueanwiradet T., Uttawat T.</i> .....	8
Определение границ применимости brute-force алгоритма в задаче тайминга пульсаров. <i>Андреев Д.Е.</i> .....	9
Шарик на мембране. <i>Джаноев А.А.</i> .....	11
Взрыв капли. <i>Диденко Д.Д.</i> .....	13
Имитационное моделирование пары нагнетающей и добывающей скважины в нефтегазовом пласте. <i>Дягилев Г.Г.</i> .....	16
Аргонная плазма как средство консервации продуктов. <i>Жук А.И.</i> .....	17
Невидимость. <i>Игнатъев Д.Р., Немова Д.П.</i> .....	18
Определение направления течения жидкости тепловым методом. <i>Кузьменко Т.А.</i> .....	19
Универсальный климат-контроль. <i>Лукманов А.Г.</i> .....	20
Исследование поверхностных явлений на примере взрыва капли. <i>Ощепков О.Д.</i> .....	21
Исследование круглой мембраны методом ударного воздействия. <i>Кулак В.В., Сабитова Д.Э.</i> .....	23
Башня из теннисных мячей. <i>Савчук Д.А.</i> .....	24
Исследование влияния параметров системы “биметалл-нагреватель“ на частоту колебаний биметаллического осциллятора. <i>Федорова А.Н.</i> .....	25
Непотопляемый диск. <i>Хмельёв А.А.</i> .....	26
Спектрофотометрические измерения аморфных гидрогенизированных углеродных (а- СН) пленок, полученных в газовом разряде при различных напряжениях смещения. <i>Маслов С.И., Шипулина М.В.</i> .....	27

# STUDY OF HEAT DISTRIBUTION TECHNIQUE FOR MAKING TEMPERATURE AT EACH POINT EQUALLY

**Thitiwat Jantharakanapat and Natchanon Sonuch**

*11grade, Mahidol Wittayanusorn School*

*Nakhon Pathom, Thailand*

Scientific advisor: Jatuporn Puntree, Physics teacher in Mahidol Wittayanusorn School, MSc by Research (Particle Physics)

This research studies the heat distribution of food in a container heated in the microwave oven and aims to develop a container that effectively redistributes spatial temperature concentration after heating by a microwave oven.

First, we inspected the shock wave that emerged in a cup of milk when a boulder dropped from the milk surface. We found a vertical variation of milk temperature in a cup after being heated by the microwave oven. The upper surface temperature is significantly higher than the lower layer. We redesign the container with a more extensive upper surface area than the bottom. Hence, we get the equation of a computer-generated surface, model A, that solves the shock wave problem:  $z = 0,1(-150 + 300(x^2 + y^2) - 75(x^2 + y^2)^2)$ . The next task is to investigate hot spots in the microwave oven; the high-temperature spots occurred from microwave resonating. We found that the hot spot is in the middle of the microwave plate. We can generate the shape with this proviso with a computer-generated surface that equates  $y = \sin(3,5(x^2 + y^2)^{0,5})$  (model B). Both models, A and B, were brought into the heat distribution experiment with controls (cube and hemisphere).

According to the heat spots investigation, we simulate the heat source with a Nichrome wire located normal to the middle of the microwave plate. Cooked rice is loaded in each model with comparable density. It took an hour for heating then took top-view snapshots of each surface with the infrared camera to determine the radial heat distribution profile. Then, passing on all snapshots into analysis with MATLAB. All pictures contain three colour layers; red, green and blue. The number of pixels with respected colour constant defined by MATLAB were plotted and scaled with a temperature map generated by the infrared camera. In conclusion, model A shows the most effective heat distribution result compared to model B and controls.

## References:

- [1] Schiffmann, R. (2017). Packaging for microwave foods. New York: R.F. Schiffmann Associates, Inc.

# **HYDROGEN SULFIDE ( $H_2S$ ) DETECTION SYSTEM IN RISKY AREAS WITH REAL-TIME DISPLAY VIA SMARTPHONE**

**Wiphu Kitsamret, Thanyathon Tueanwiradet and Titat Uttawat**

*11 grade, Mahidol Wittayanusorn School, Nakhon Pathom, Thailand*

Scientific advisors: Somporn Buaprathoom, Physics teacher in Mahidol

Wittayanusorn School, Physics Department, PhD;

Pornmongkol Jimlim, Physics teacher and Head of Physics Department in Mahidol

Wittayanusorn School, PhD

At present, the accident rate as a result of hydrogen sulfide leaking is increasing. Hydrogen sulfide smells like rotten eggs. People inhaling large amounts of hydrogen sulfide will affect differently. When concentrations exceed 200 ppm, for instance, the inhaler can become unconscious and die in a short period. For  $H_2S$  detectors in the current version, users have to take the detector into the risk area. It can be dangerous for them because the gas concentration in the vicinity may exceed the limit. So, our research's goal is to make an innovation that can remotely detect hydrogen sulfide concentration and report the result to warn the users from  $H_2S$  leaking and still be safe to detect it.

Our innovation uses an Arduino microcontroller and some electronic modules. We divided innovation into 3 parts. First, the measurement and processing part has the MQ-136 gas sensor that can detect hydrogen sulfide and determine the concentration. Then, the gas sensor will pass  $H_2S$  concentration data to Arduino Uno R3 which is a microcontroller that processes data and controls all of the systems. Arduino will control the onboard display part. There is an OLED module that displays the concentration of  $H_2S$  and its dangerous level calculated by Arduino on its screen. If the concentration of  $H_2S$  reaches over 100 ppm, the buzzer will alarm the user. On the other hand, Arduino will use the ESP-8266 Wi-Fi module to send the data to Thingspeak.com which is the data channels website. Then, we wrote a mobile application from MIT App inventor to display the concentration of  $H_2S$  that we store in Thingspeak.com and calculate its dangerous level too.

After we made the prototype, we calibrated the MQ-136 gas sensor and our prototype to compare the concentration measured by the MQ-136 sensor to absolute concentration and recheck some fallibility about the system. We used reactions of zinc sulfide and sulfuric acid with a concentration of 1 molar to calibrate this sensor. The sensor will detect and measure the concentration of  $H_2S$ . After we got the result, we plotted a graph about the concentration of  $H_2S$  over time to compute the rate constant of this reaction and compare it to a realistic value and find the error. So, the result shows that the sensor work correctly and the prototype can display and alarm user when the concentration of  $H_2S$  reaches over 100 ppm.



## References

- [1] Cotton, F. A., and Wilkinson, G., *Advanced Inorganic Chemistry*, Fifth edition, John Wiley and Sons, Singapore, (1995).
- [2] Selene J. *HYDROGEN SULFIDE: HUMAN HEALTH ASPECTS*, World Health Organization, (2003).
- [3] Shriver, D. F., Atkins, P. W., *Inorganic Chemistry*, Fifth Edition, Oxford university Press, (2010).

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ BRUTE-FORCE АЛГОРИТМА В ЗАДАЧЕ ТАЙМИНГА ПУЛЬСАРОВ

**Андреев Дмитрий Евгеньевич**

*10 класс, АНО ОШ ЦПМ, г. Москва, Россия*

Научный руководитель: Казанцев Андрей Николаевич,  
высококвалифицированный младший научный сотрудник Пушчинской  
радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН

Радиопульсары, открытые в 1968 г. Энтони Хьюишем и Джосселин Белл, являются очень интересными астрофизическими объектами. Они одновременно сосредотачивают в себе сильные магнитные поля ( $\sim 10^{12}$  Гс), сверхтекучую нейтронную жидкость и ядро из кварк-глюонной плазмы. Благодаря малым размерам ( $\sim 20$  км) и большой массе ( $\sim 2-4 M_c$ ) пульсары имеют колоссальную величину момента инерции, что приводит к высокой стабильности их вращения. За счёт специфических процессов в магнитосфере пульсаров, основной поток радио-квантов исходит с его магнитных полюсов. Всё это приводит к тому, что некоторый удалённый наблюдатель может регистрировать излучение пульсара только в том случае, если один из магнитных полюсов в ходе его вращения направлен в сторону наблюдателя. При этом наблюдатель фиксирует строго периодическое излучение с периодом, равным периоду вращения пульсара, хотя само излучение пульсара непрерывно [1].

Чтобы обнаружить пульсар, необходимо зарегистрировать от него индивидуальные импульсы, найти меру дисперсии, а также его основные астрометрические и вращательные параметры: координаты (прямое восхождение, склонение), период вращения и его первую производную. Для точного определения этих параметров используется метод тайминга (хронометрирования) пульсаров. Суть метода заключается в нахождении таких параметров пульсара, при которых теоретические моменты прихода импульсов (МПИ) на телескоп будут соответствовать реально регистрируемому МПИ. Данный метод базируется на теоретической модели кинематики пульсара.

Тайминг, однако, уже на начальном этапе требует достаточно высокую точность входных параметров пульсара. К сожалению, такую точность не всегда возможно получить в непродолжительных наблюдениях на антеннах с широкой диаграммой направленности[2]. Одним из методов решения проблемы недостаточной точности начальных параметров является метод перебора (brute-force алгоритм), в рамках которого анализируются все возможные комбинации параметров в определённом диапазоне, и определяются те из них, при которых разница теоретических и реальных МПИ (остаточные отклонения) минимальна.

Для проверки возможности восстановления реальных параметров пульсара методом brute-force алгоритма были использованы наблюдения изолированного секундного пульсара B1112+50 на Большой Синфазной Антенне (БСА) из архива Пушинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН [3]. Операции тайминга производились в пакете программ ТЕМРО [4]. Метод перебора и управления операциями тайминга реализован на языке программирования Python. Процесс обработки представлял собой последовательные операции тайминга с постепенно изменяющимися начальными параметрами и разделялся на два этапа: первый этап — для частоты (F0) уточнялись 5 и 6 знаки, прямое восхождение (RA) и склонение (DEC) перебирались в пределах  $1^\circ$ . Второй этап — к перебору первого этапа добавлялся перебор производной (F1) в диапазоне от  $-9eX$  до  $9eX$ , где X — значение, определённое на первом этапе. Был произведён тайминг с перебором начальных параметров в границах: DEC и RA —  $1^\circ$ , F0 — 5 и 6 знаки после запятой.

Результаты анализа тайминга первого этапа показывают, что при переборе параметров мы получаем корректные значения степени первой производной пульсара. При добавлении в перебор F1 удаётся при тех же границах перебора остальных параметров найти единственное решение с малым размахом остаточных отклонений. Такие параметры как RA, DEC и F1 отличаются незначительно от параметров из каталога [5], в то время как разница в частоте начинается в седьмом знаке, что критично даже в тайминге секундных пульсаров. Таким образом этапы перебора, представленные в нашей работе, могут быть использованы для уточнения RA, DEC и F1.

#### **Список использованных источников:**

- [1] Смит, ФрансисГрэхэм, Пульсары/ Пер. с англ. И.Ф. Малова, Ю.П. Шитова; Под ред. А.Д. Кузьмина. - Москва: Мир, 1979.
- [2] Практическая радиоастрономия [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010702 Астрономия / В. К. Конникова, Е. Е. Лехт, Н. А. Силантьев; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Гос. астрономический ин-т им. П. К. Штернберга. - Москва: Изд-во Московского ун-та, 2011.

- [3] БСА (Большая сканирующая антенна) ФИАН. [Эл.ресурс]. URL: [pra0.ru/radiotelescopes/in\\_list\\_BSA.html](http://pra0.ru/radiotelescopes/in_list_BSA.html)
- [4] ПакетпрограммТЕМПО. [Эл. ресурс]. URL: [github.com/nanograv/tempo](https://github.com/nanograv/tempo)
- [5] КаталогпульсаровATNF. [Эл. ресурс]. URL: [atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat](http://atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat)

## ШАРИК НА МЕМБРАНЕ

Джаноев Александр Арсенович

9 класс, ГБОУ города Москвы "Школа № 1554"

Москва, Россия

Научный руководитель: Сладков Клим Дмитриевич, старший преподаватель  
кафедры физики СУНЦ МГУ

Изучается задача о характеристиках звука, извлекаемого в результате падения стального шарика на центр круглой резиновой мембраны. Цель работы — построить математическую модель вибраций мембраны, которая бы позволила объяснить экспериментально наблюдаемую зависимость энергии звука от потенциальной энергии шарика. Задача о характеристиках звука мембран барабанов изучалась ранее [1, 2]. Новизна данной работы заключается в том, что вследствие разницы в параметрах экспериментальной установки получен результат, отличный от рассмотренного в [1, 2].

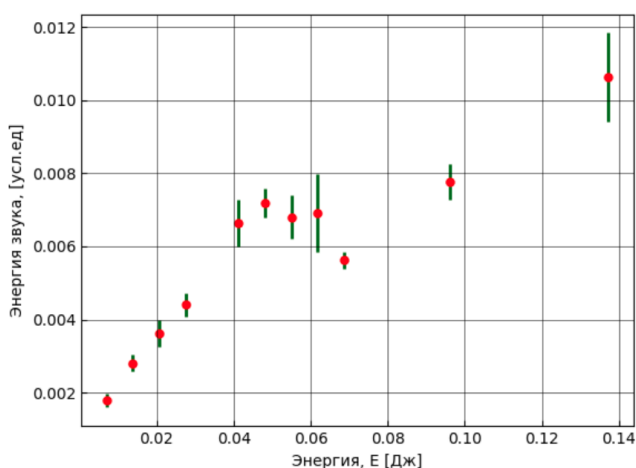


Рис. 1. Зависимость энергии звука от потенциальной энергии шарика

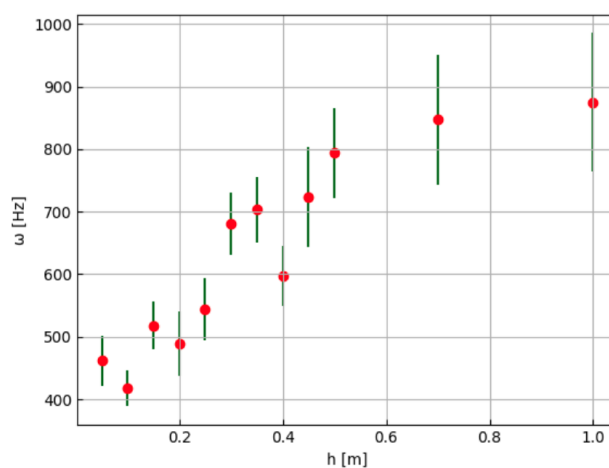


Рис. 2. Зависимость частоты колебаний мембраны от высоты падения шарика

В нашей работе мы исследовали звук, возникающий при ударе стального шарика о резиновую мембрану, натянутую на цилиндрическую банку. Мы изучили, как характеристики звука зависят от существенных параметров экспериментальной установки. Рассматривалось падение шарика на центр мембраны, чтобы избежать влияния высших мод колебаний мембраны. Аудиозаписи проводились с помощью микрофона мобильного телефона.

В ходе исследования использовалась теоретическая модель [3], описывающая колебания мембраны под воздействием центрального удара стального шарика. К моменту соприкосновения шарика с мембраной он обладает кинетической энергией  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ , в которую перешла потенциальная энергия шарика  $E_p = mgh$  поднятого над мембраной на высоту  $h$ . Эта кинетическая энергия идёт на деформацию мембраны с энергией  $E_{def} = \frac{kx^2}{2}$ . Часть этой энергии мембраны идёт на звук, часть — на отскок от мембраны и тепло. Энергия звука амплитуды  $A$  даётся выражением:  $E_s = C \cdot 10^{\frac{-A}{10}}$  [отн. ед.], где  $C$  — константа пропорциональности. Рассчитанные частоты резонатора (банки Pringles):  $\nu_n = 370(2n + 1)$  [Гц],  $n = 0, 1, 2, 3$ . Из закона сохранения энергии  $E_p + E_k + E_{def} = const$  получено уравнение, описывающее колебания мембраны:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), (x, y) \in \Omega \\ u &= 0, \text{ для } \partial\Omega \\ \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} &= A \delta(r) \end{aligned}$$

Решение этого уравнения задаётся функциями Бесселя:

$$u_{mn} = [C_1 \sin(a\sqrt{\lambda_{mn}} t) + C_2 \cos(a\sqrt{\lambda_{mn}} t) - C_{mn}] \cdot J_m(\sqrt{\lambda_{mn}} r) \Phi_m(\phi)$$

$$\begin{cases} J_m(\sqrt{\lambda_{mn}} R) = 0 \\ \omega_{mn} = a\sqrt{\lambda_{mn}}, \end{cases}$$

где  $a$  — скорость звука в мембране,  $R$  — радиус мембраны.

Результаты и выводы.

- Показано, что, как видно на Рис.1, энергия звука растёт при увеличении начальной потенциальной энергии шарика.
- Получено качественное физическое описание и построена математическая модель падения шарика на мембрану, определены её границы применимости;
- Получена общая аналитическая формула, описывающая зависимость колебаний мембраны от параметров системы;
- На основе оконного преобразования Фурье проведён анализ спектра звука, записанного на цифровое устройство;
- Показано, что спектральные пики расположены левее частот стоячих волн в резонаторе, что также позволяет считать адекватным применение выбранной теоретической модели колебаний мембраны, описываемой уравнением (1);
- Полученная зависимость частоты звука от высоты падения шарика, как показано на Рис. 2, свидетельствует о нелинейности колебаний мембраны. Таким образом, для более полного описания рассмотренного явления, следует использовать аппарат анализа нелинейных систем.

## Список использованных источников:

- [1] Thomas D. Rossing Acoustics of Drums // Physics Today 45, 3, 40 (1992) / Andreas Wagner Analysis of Drumbeats — Interaction between Drummer, Drumstick and Instrument // Master's Thesis [Электронноеиздание]
- [2] Thomas D. Rossing, Junehee Yoo and Andrew Morrison Acoustics of percussion instruments: An update // Acoust. Sci. & Tech. 25, 6 (2004)
- [3] А.Н.Тихонов, А.А. Самарский, Уравнения математической физики, 1977 / Д. Джанколи. Физика, том I, (1989)

## ВЗРЫВ КАПЛИ

Диденко Дмитрий Денисович

10 класс, СУНЦ МГУ

Москва, Россия

Научный руководитель: Сладков Клим Дмитриевич, старший преподаватель кафедры физики СУНЦ МГУ

Задачей моего проекта было выяснить свойства капелек, на которые распадается капля смеси вода-спирт при попадании на слой масла. Исследуемое явление состоит из двух частей: расширение капли и образование капелек.

Сначала рассмотрим расширение капли. Назовём фронтом расширения окружность, описывающую границы капли. На фронте расширения коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma$  смеси спирт-вода увеличивается из-за испарения спирта. Разница коэффициентов поверхностного натяжения на границе жидкостей приводит к образованию течения из области с меньшим  $\sigma$  в область с большим  $\sigma$ , и капля расширяется. Это эффект Марангони.

Нужно заметить, что капля будет расширяться только, если параметр  $S$ , равный разнице поверхностного натяжения между маслом и воздухом и суммы поверхностных натяжений на границах смесь-воздух и смесь-масло, больше нуля, так как иначе разности поверхностных натяжений в центре и на

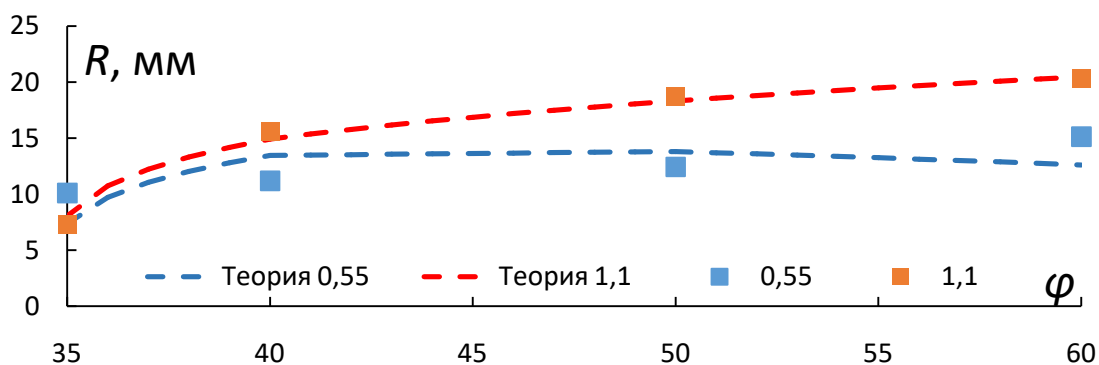


Рис. 1. Зависимость максимального радиуса начальной капли от концентрации спирта

фронте будет недостаточно для расширения капли.

Теперь рассмотрим образование капелек. На фронте расширения  $\sigma$  больше, чем в центре капли, а также толщина слоя капли меньше, чем в центре из-за истончения при расширении и испарении спирта. Когда поверхностное натяжение и толщина слоя капли на фронте достигают критических значений, сила поверхностного натяжения разрывает тонкий слой, и образуется капелька.

Теперь давайте разберёмся, как связать параметры первоначальной капли с параметрами капелек. Можно заметить, что фронт расширения принимает волнообразную форму, причём длина волны (расстояние между местами образования капелек) при одинаковых изначально параметрах постоянна. Из этого мы можем найти количество капелек, образуемых первоначальной каплей. Количество капелек зависит от длины волны, радиуса капли и времени от начала образования капелек до полного разделения капли на капельки.

Я выяснил, что капля расширяется из-за эффекта Марангони, а малые капли образуются, так как сила поверхностного натяжения на фронте расширения капли достигает критического значения и разрывает каплю.

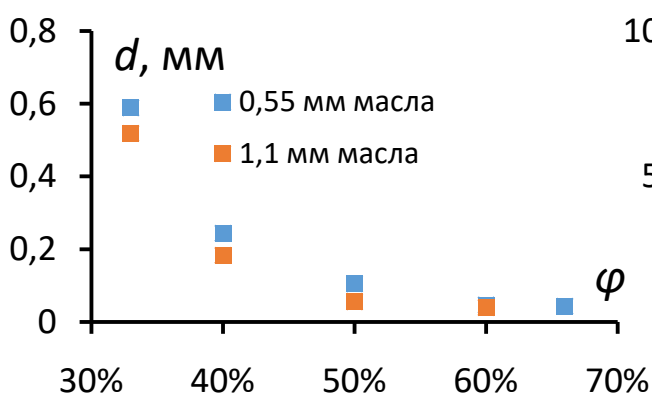


Рис. 2. Зависимость среднего диаметра образовавшихся капелек от концентрации спирта в начальной капле

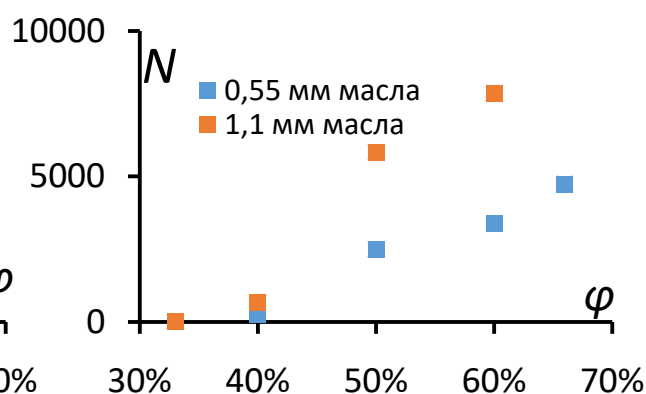


Рис. 3. Зависимость количества образовавшихся капелек от концентрации спирта в начальной капле

концентрации спирта и высоты столбы масла, а их диаметр обратно пропорционален концентрации, и доказал это экспериментально.

### Список использованных источников:

[1] KeiserL. etal. Marangoni bursting: evaporation-induced emulsification of binary mixtures on a liquid layer //Physical review letters. — 2017. — Т. 118. — №. 7.

- [2] Durey G. et al. Marangoni bursting: Evaporation-induced emulsification of a two-component droplet //Physical Review Fluids. – 2018. – T. 3. – №. 10. – C. 100501.
- [3] Hasegawa K., Manzaki Y. Marangoni fireworks: Atomization dynamics of binary droplets on an oil pool //Physics of Fluids. – 2021. – T. 33. – №. 3. – C. 034124.

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРЫ НАГНЕТАЮЩЕЙ И ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ В НЕФТЕГАЗОВОМ ПЛАСТЕ

Дягилев Георгий Георгиевич

11 класс, МБОУ "Политехнический лицей"

г. Мирный, Россия

Научный руководитель: Гончарова Надежда Александровна, учитель физики

Для изучения залежей горных пород после окончания бурения скважин в открытом стволе применяют методы потенциалов самопроизвольной поляризации горных пород, основанные на изучении естественных электрических полей в скважинах. Естественные поля возникают в результате электрической активности диффузионно-адсорбционного, окислительно-восстановительного, фильтрационного и электродного характера.

В данной работе с помощью лабораторной установки была смоделирована пара нагнетающей и добывающей скважины в нефтегазовом пласте.

Лабораторная установка представляет собой бумагу, пропитанную соевым раствором, а два стоящих гвоздя выполняют роль электродов.

Электроды присоединены к источнику постоянного питания низковольтного напряжения. Один из электродов через вольтметр связан с подвижным зондом. Вольтметр показывает напряжение между отрицательно заряженным электродом и точкой в ванне, в которую помещён зонд.

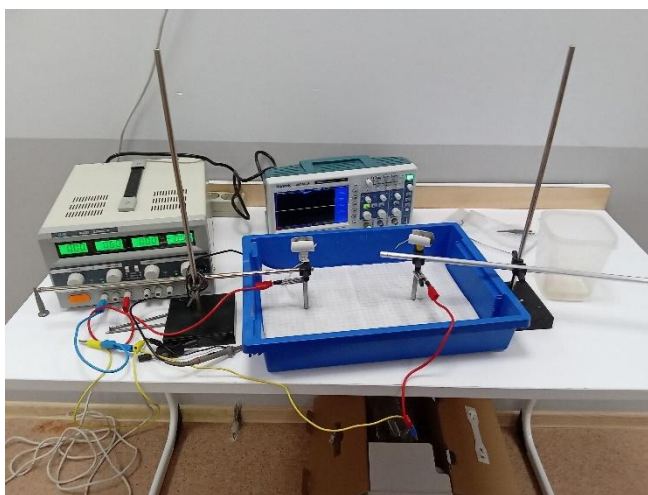


Рис. 1. Лабораторная установка

Было установлено, что электропроводимость среды будет намного меньше электропроводимости вещества электродов. Поэтому, если краевые условия одинаковы, то электростатическое поле и поле токов должны обязательно совпадать. Полученные в работе результаты могут быть использованы при реализации метода, основанного на электродной активности (метод электродных потенциалов), например, при касании электродом породы, обладающей большим электродным потенциалом, разность потенциалов возрастает.



# АРГОНОВАЯ ПЛАЗМА КАК СРЕДСТВО КОНСЕРВАЦИИ ПРОДУКТОВ

**Жук Алёна Игоревна**

*10 класс, ГБОУ города Москвы "Школа № 1502 "Энергия"*

*Москва, Россия*

Научный руководитель: Мухачёв Андрей Яковлевич, учитель физики  
ГБОУ «Школа №1502»

В настоящее время всё более актуальными становятся методы стерилизации продуктов питания при помощи физической нетермальной обработки. В качестве такого метода мы выбрали обработку продуктов неравновесной низкотемпературной аргоновой плазмой. Мы поставили перед собой цель — увеличить срок хранения мясных полуфабрикатов за счёт хранения в специальной инертной аргоновой атмосфере, которая прошла предварительную обработку низкотемпературной плазмой. Аналогичные идеи уже почти 10 лет используются в пищевой промышленности [1,2,3], но наш прибор отличается кардинально простым и дешёвым устройством.

В качестве источника плазмы мы использовали высоковольтный искровой разряд. В камере ионизации помещалась матрица из нескольких последовательных проволочных источников искрового разряда. Через камеру ионизации пропускался аргон высокой чистоты (доля благородного газа в смеси составляет 99,998%). В итоге полученный ионизированный газ поступал в герметичную ёмкость с мясным полуфабрикатом. Мы взяли варёную колбасу, сервелат, мясо курицы и свинину. Для оценки эффективности нашей установки мы разделили все полуфабрикаты на две группы: контрольная, которая стерильно переносилась из заводской в стерильную тару, и опытная, которая аналогичным образом переносилась из заводской тары в стерильную ёмкость, заполненную низкотемпературной аргоновой плазмой.

В результате работы было установлено, что срок хранения продуктов увеличился на срок до 7 суток (при комнатной температуре) при использовании нашего метода.

## **Список использованных источников:**

- [1] Кобзев Е.Н. и др. Перспективы применения низкотемпературной плазмы для биодеконтаминации пищевых продуктов// Пищевая промышленность, 2014.
- [2] Тихонов С.Л. и др. Разработка устройства для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции путем обработки низкотемпературной газовой плазмой //Ползуновский вестник, 2021.
- [3] Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. Использование низкотемпературной плазмы в пищевой промышленности //Инновационные технологии пищевых продуктов и оценка их качества: наука, образование, производство, 2016.

# НЕВИДИМОСТЬ

Игнатъев Дмитрий Романович и Немова Дарья Павловна  
10 класс, СУНЦ МГУ; 11 класс, Школа №1520 им. Капцовых  
Москва, Россия

Научный руководитель: Сладков Клим Дмитриевич, старший преподаватель  
СУНЦ МГУ

В наше время существует множество оптических приборов, созданных как для исследования далёких галактик, так и для детской забавы. В наши руки попал экземпляр линзы Любора, способной сделать любой объект *невидимым* нашему глазу при некоторых условиях. В данной работе был изучен данный эффект *невидимости*, а также влияющие на него параметры наблюдаемого объекта и линзы. Было установлено, что линза Любора является лентикулярным растром и создаёт множество мелких изображений объекта около фокальной плоскости линзы, а рассматриваемый нами эффект обуславливается наличием пробелов между этими изображениями и наложением на них изображений фона, что делает изображение объекта менее контрастным.

В нашей работе как количественная мера *невидимости* рассматривался

контраст изображения. В ходе исследования были выведены зависимости контраста от расстояния между линзой и объектом, размера объекта и угла поворота линзы. Для этого было отснято свыше 50 фотографий двух объектов разного размера, на каждой из которых велось наблюдение

сквозь линзу за объектом с изменением вышеперечисленных параметров. В дальнейшем фотографии обрабатывались в программе Tracker следующим образом: использовался инструмент «Linprofile», с помощью которого выводился график зависимости некой условной световой величины от координаты выбранного пикселя. Из полученных данных мы экспериментально могли найти контраст между изображением объекта и изображением фона. Также была выведена теоретическая зависимость от таких параметров линзы, как радиус кривизны и коэффициент преломления.

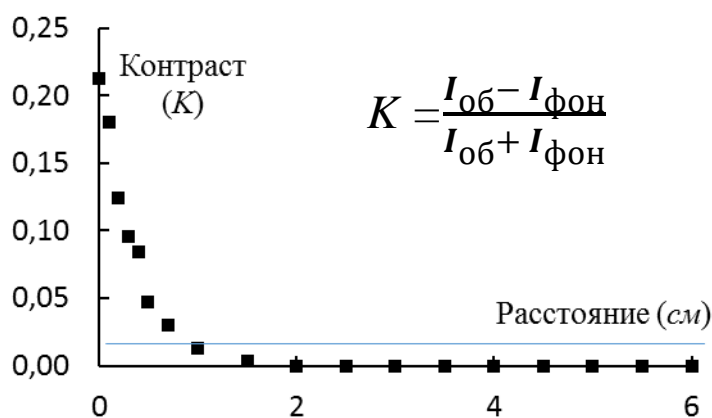


Рис. 1. Зависимость контраста изображения полосы шириной 0,1 см от расстояния между линзой и полосой

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ

Кузьменко Тимофей Артемович

10 класс, СУНЦ МГУ

Москва, Россия

Научный руководитель: Сладков Клим Дмитриевич, старший преподаватель СУНЦ МГУ

Задача заключалась в разработке способа определения направления течения жидкости в непрозрачной трубе без механического проникновения внутрь неё.

Если установить на трубу пару термометров и посередине между ними нагреватель, то их показания будут различаться. Проходя нагреватель, жидкость получает теплоту и поэтому увеличивает свою внутреннюю энергию, а, следовательно, и температуру. При этом чем меньше скорость жидкости (средняя скорость течения её сечения), тем больше теплоты успеет получить жидкость и тем больше она увеличит свою температуру. Разницу

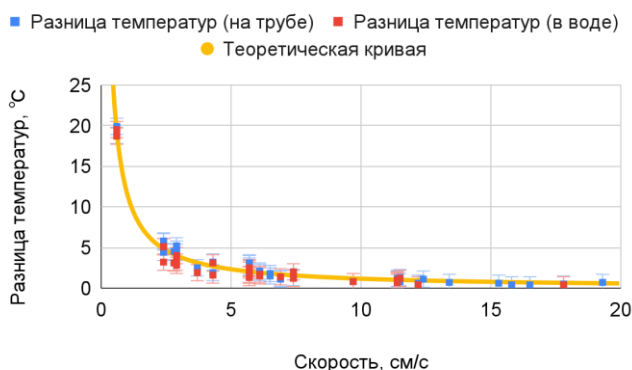


Рис. 1. Зависимость разницы показаний термометров после и до нагревателя от скорости течения жидкости

скорости течения (в пренебрежении эффектом теплопроводности), согласно которой эти величины обратно пропорциональны. Была собрана экспериментальная установка, состоящая из теплоизолированной ПВХ трубы, на которую был намотан греющий кабель и размещены термометры. Также была изучена допустимость пренебрежения распространением тепла по трубе (для ПВХ) (термометр располагался в потоке, его показания сравнивались с показаниями термометра на трубе). По итогам эксперимента была получена хорошая сходимость с теорией и доказана малость влияния распространения

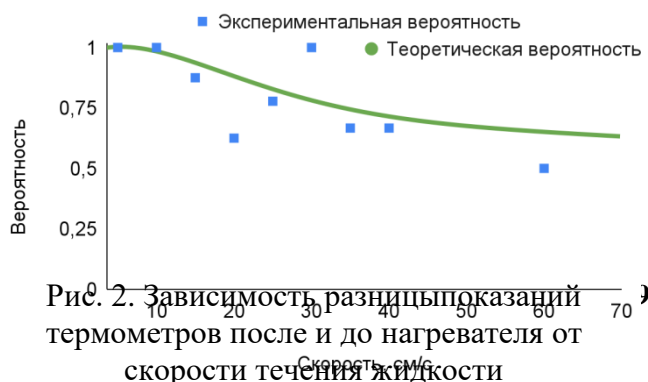


Рис. 2. Зависимость разницы показаний термометров после и до нагревателя от скорости течения жидкости

показаний первого и второго термометров назовём перепад температур, по модулю он равен изменению температуры жидкости после прохождения нагревателя; при этом если разница положительна (показания первого больше показаний второго), то жидкость течёт от первого ко второму, иначе наоборот.

Была выведена теоретическая зависимость перепада температур от скорости течения жидкости. Далее была оценена вероятность верного определения направления течения. Для каждой скорости теорией предсказывается значение

вероятности правильного определения направления течения жидкости. Для каждой скорости теорией предсказывается значение

перепада температур. Однако показания могут отклоняться от него из-за наличия случайной погрешности. То есть для скорости существует распределение вероятности показания определённого значения. Так как показание термометра является случайной величиной, зависящей от множества слабозависимых факторов, можно предположить нормальный вид данного распределения. Площадь под положительной частью графика нормального распределения (математическое ожидание — теоретический перепад, среднеквадратичное отклонение — половина погрешности) и будет вероятностью верного угадывания. Была проведена серия из ~150 измерений, чтобы проверить сходимость теоретической вероятности с реальностью.

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КЛИМАТ-КОНТРОЛЬ

**Лукманов Амирхан Гамидович**

*10 класс, МАОУ «Лицей № 38»*

*Москва, Россия*

Научные руководители: Тукова Надежда Борисовна, учитель физики и астрономии высшей квалификационной категории; Еделев Андрей Юрьевич, учитель физики высшей квалификационной категории.

В настоящее время существует достаточно много систем климат-контроля, используемых в “умных домах”. Но они созданы или одним устройством, или несколькими устройствами, связанными приборами по технологии Bluetooth или Wi-Fi. Другие радиопередатчики не распространены для передачи информации в подобных системах. Кроме того, сами системы являются достаточно дорогими. Решение проблемы передачи информации и “умного управления” освещённостью, влажностью и температурой помещения я предлагаю решить в данном проекте.

Для этого мною используется радиопередатчик nRF24L01+, менее распространённый в системах “Умный дом”. Из известных аналогов данный передатчик выбран потому, что он имеет большую дальность передачи сигнала и большую скорость передачи данных (2 Мбит/с), чем у Bluetooth (1 Мбит/с). Для работы он не требует выхода в интернет. Передатчик дешёвый и имеет защиту от помех на канале связи.

Принцип работы устройства: Головное устройство снимает показатели с датчиков и сопоставляет их с условием, прописанным в программе. При отклонении показаний от условий, головное устройство посылает сигнал

исполнительному устройству. Исполнительное устройство принимает сигнал и в зависимости от сигнала совершает то или иное действие, прописанное в условии (включает реле и светодиод и так далее в зависимости от поставленных конструкторских задач).

Цель работы: Создать связанную систему устройств, работающую на радиопередатчике nRF24L01+, способную в автономном режиме включать и выключать приборы, подключенные к реле: лампы, системы вентиляции, кондиционеры и подобные, пользуясь показаниями фоторезистора и цифрового датчика температуры и влажности, а также информировать об обстановке в комнате посредством дисплея.

Вывод: В результате данной работы была создана действующая модель устройства, предназначенного для автоматизации процессов в помещении таких как: включение/выключение освещения, включение/выключение вентиляции.

Устройство просто в изготовлении, универсально в работе и может использоваться как метеостанция. Кроме того, оповещает о состоянии микроклимата и способно управлять климатическим оборудованием. Устройство имеет малогабаритные размеры и может быть использовано для управления бытовым оборудованием.

#### **Список использованных источников:**

- [1] База знаний Амперки[Эл. ресурс]. URL: <http://wiki.amperka.ru>
- [2] Форум Амперка[Эл. ресурс]. URL: <http://forum.amperka.ru/threads/nrf24l01-побеждаем-модуль.3205>
- [3] КурсNarodStream STM Урок 103. Модули NRF24L01. Часть 1 [Эл. ресурс]. URL: <https://narodstream.ru/stm-urok-103-moduli-nrf24l01-chast1>
- [4][Эл. ресурс]. URL: <https://robotchip.ru/obzor-radio-modulya-nrf24l01/sistema-klimat-kontrolya-dlya-umnogo-doma>
- [5] [Эл. ресурс]. URL: <https://lesson.arduino.ru/page/urok-26-4-soedinyаем-dve-arduino-po-radiokanal-у-cherez-nrf24l01>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВЗРЫВА КАПЛИ**

**Ощепков Олег Данилович**

*8 класс, МБОУ «Политехнический лицей»*

*г. Мирный, Россия*

Научный руководитель: Гончарова Надежда Александровна, учитель физики  
МБОУ «Политехнический лицей»

Распространение и распыление капель лежит в основе многих природных явлений и различных промышленных применений. Поэтому понимание межфазной динамики имеет важное значение для изучения воздействия капель на твердые и жидкие подложки. Для лучшего понимания характеристики растекания и распыления был подробно изучен эффект Марангони, который вызывается испарением из областей, богатых спиртом. В богатой водой области, спирт испаряется быстрее чем вода, поэтому, учитывая геометрию, при которой испарение эффективно в одной области по сравнению с другой можно установить потоки Марангони.

Цель работы — исследовать параметры поверхностного натяжения на примере «взрыва капли».

Исходя из цели работы, мы поставили следующие задачи: пронаблюдать данное явление и провести опыты; вычислить коэффициент поверхностного натяжения в момент отрыва капли для растворов разной концентрации; вычислить радиус получившейся капли для растворов разной концентрации; построить график зависимости поверхностного натяжения от концентрации раствора.

Новизна нашей работы состоит в том, что в стоксовом приближении решены стационарная и нестационарная задачи о движении сферической капли. Мною рассмотрено движение капли «взрыв» и на основании полученных данных построен график поверхностного натяжения от концентрации раствора. По графику зависимости поверхностного натяжения от концентрации можно вычислить величину адсорбции для любой концентрации.

Полученные результаты могут быть полезны при описании поведения капель в химической промышленности. Изучение эффекта Марангони для капель в настоящее время обрело популярность и стало частью исследования в такой области как космическое материаловедение. Дело в том, что в космических условиях эффект Марангони по существу может быть единственным или основной причиной исследования. Так, например, при получении высококачественного стекла для удаления пузырьков из первичного расплава используется специально прикладываемый градиент температур, при этом пузырьки начинают двигаться в одном направлении. Температурный градиент играет немаловажную роль в качестве движущей силы эффекта Марангони. Из этого утверждения мы можем сделать вывод, что мы можем рассчитывать вязкое напряжение на границе раздела двух сред.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КРУГЛОЙ МЕМБРАНЫ МЕТОДОМ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Кулак Владислав Вячеславович и Сабитова Дарья Эдуардовна**

*8 класс, 10 класс, МБОУ «Политехнический лицей»*

*(Саха) Якутия, г. Мирный. Россия*

Научный руководитель: Гончарова Надежда Александровна,  
учитель физики МБОУ «Политехнический лицей»

Исследование колебаний и незамедлительная реакция на разрушительные воздействия имеют не только научную, но и практическую значимость для предотвращения катастроф природного или техногенного характера.

Свободное деформирование круглой мембраны, жестко закреплённой по контуру, отражает основные особенности начального этапа деформирования, а с другой — позволяет достаточно просто проанализировать деформации. Поэтому в качестве объекта исследования выбрана тонкая круглая мембрана.

Цель настоящего исследования — исследование колебаний упругой мембраны методом ударного воздействия. В данной работе было изучено колебание круглых мембран разного диаметра под ударным воздействием шарика. Для этого мы собрали установку, состоящую из стаканов разного диаметра (106 мм, 80 мм, 65 мм) и стального шарика. Шарик опускали с высоты 100 мм и измеряли частоту звуковых колебаний с помощью цифрового осциллографа. Затем рассчитали теоретическим путём частоту и сравнили с результатом эксперимента.

В данной работе мы получили амплитудный спектр колебаний круглой мембраны методом ударного воздействия и сравнили полученные данные с расчётными.

## **Список использованных источников:**

- [1] Звук// Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона 1890–1907
- [2] Журавлев В.Ф., Климов Д.М., Прикладные методы в теории колебаний. Москва “Наука”, М.-1988.
- [3] Широнос В.Г.. Резонанс в физике, химии и биологии. Ижевск. Издательский дом “Удмуртский университет”, 2000/01.
- [4] Араманович И.Г., Левин В.И.. Уравнения математической физики. 1969.
- [5] Орлов Н.С. Промышленное применение мембранных процессов: учебное пособие// Н.С. Орлов. – М.РХТУ им. Менделеева, 2013.
- [6] Что такое мембранная очистка воды [Эл. ресурс]. URL: <https://diesel.ru/article/chto-takoe-membrannaya-ochistka-vody/>
- [7] Экономика мембранных процессов [Эл. ресурс]. URL: [chem21.info/info/930076](http://chem21.info/info/930076)

# БАШНЯ ИЗ ТЕННИСНЫХ МЯЧЕЙ

Савчук Дарья Артемовна

10 класс, СУНЦ МГУ, Москва, Россия

Научный руководитель: Сладков Клим Дмитриевич, старший преподаватель  
СУНЦ МГУ

Устойчивость каких-либо конструкций — важный и актуальный вопрос. Например, при планировании конструкции здания необходимо понимать, будет ли оно надёжным и как долго сможет простоять. Исследования различных способов размещения элементов при построении башни и вопрос устойчивости таких конструкций применимы в различных областях науки и жизни.



В данной работе была исследована устойчивость башни из теннисных мячей, поставленных друг на друга в  $n$  слоёв, в каждом из которых было по три мяча и один сверху, как в [1].

С использованием второго закона Ньютона и уравнения моментов была получена формула для вычисления максимальной величины внешней вертикальной силы  $F$ , которая может оказываться на башню из четырёх мячей, как функции коэффициента трения мячей с поверхностью. Для этой же модели с помощью теоремы о трёх силах была построена геометрическая модель, результатом решения которой стала та же формула, что и в первом случае. Эта же формула была получена в [2],

однако значение

Рис. 1. Фото башни

критического коэффициента трения, при котором башня развалится, отличается от полученного в [2]. Также была построена новая модель для нахождения силы  $F$ , которая может оказываться на башню из семи мячей. Была предложена математическая модель, способная определить максимальную возможную высоту данной башни. Теория была проверена экспериментально путём измерения силы  $F$  для башен на различных поверхностях.

Результатом исследования стал способ создания башен определённого вида из мячей с высоким коэффициентом трения (теннисных мячей). Кроме того, была построена новая математическая модель, описывающая требования к конструктивным свойствам и накладывающая ограничения на коэффициент трения между мячами и поверхностью и между самими мячами.

## Список использованных источников:

[1] Rogava 1, A. Tennis-balltowers [Текст] / AndriaRogava 1 // PhysicsWorld. – 2019. – V. 32, №5.



[2] Cross, R. Two balls stuck by friction on an incline, and a four ball pyramid [Текст] / Rod Cross // Physics Education. – 2020. V. 53, № 5.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ “БИМЕТАЛЛ-НАГРЕВАТЕЛЬ” НА ЧАСТОТУ КОЛЕБАНИЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Федорова Айталипа Николаевна  
10 класс, МБОУ «Политехнический лицей»  
г. Мирный, Россия

Научный руководитель: Гончарова Надежда Александровна, учитель физики  
МБОУ «Политехнический лицей»,

Исследование зависимости частоты электрических колебаний от параметров системы является актуальной технической задачей для разработки устройств перераспределения мощностей электрических и нагревательных устройств.

Целью работы является экспериментально измерить влияние существенных параметров на колебания биметаллического осциллятора.

Биметаллический осциллятор колеблется за счёт нагревания и последующего остывания бипластины, из чего можно сказать, что период колебания, а значит и частота, зависит напрямую от температуры нагрева и изначальной температуры самой пластины, которая зависит от температуры внешней среды.

Для подтверждения этого была изготовлена лабораторная установка, состоящая из биметаллического элемента, нагревательного элемента (нихромовой спирали) и источника питания. Мы проводили два исследования на зависимость колебаний осциллятора от температуры внешней среды и от

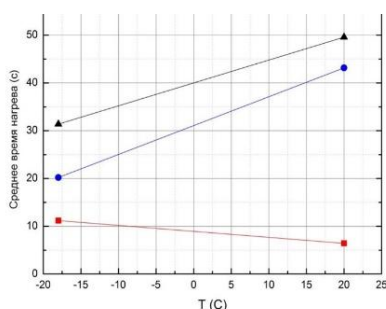


Рис. 1а. График зависимости времени нагрева от температуры внешней среды

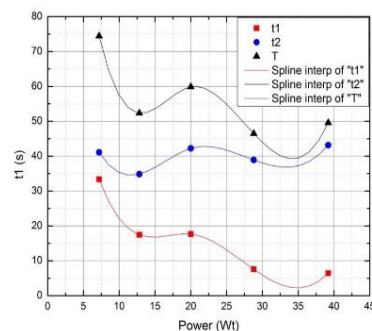


Рис. 1б. График зависимости периода колебания от мощности подаваемого тока

мощности подаваемого тока. В первом случае (рис. 1а) мы измеряли время нагрева и остывания биметаллической пластины при разных температурах окружающей среды. Во втором (рис. 1б), изменяя мощность тока при одинаковой внешней температуре, измерили колебания биметаллического осциллятора.

В результате мы получили графики, показывающие прямую зависимость от температуры внешней среды и от мощности подаваемого тока.

### **Список использованных источников:**

- [1] Ross, David S., et al. Temperature-dependent vibrations of bilayer microbeams // Sensors and Actuators A: Physical 119.2 (2005).
- [2] Alfredo Díaz, Eduardo Rubio. Characterization of Bimetal Displacement of a 35 Ampere Circuit Breaker // International Journal of Scientific Research and Engineering Development (2019).

## **НЕПОТОПЛЯЕМЫЙ ДИСК**

**Хмелёв Аркадий Александрович**

*10 класс, СУНЦ МГУ*

*Москва, Россия*

Научный руководитель: Сладков Клим Дмитриевич, старший преподаватель  
СУНЦ МГУ; Сивцов Михаил Андреевич, лаборант СУНЦ МГУ

Постановка задачи: если поместить металлический диск с отверстием в центре в сосуд с водой, то он утонет. Но если в центр диска направить вертикально струю воды, то его можно удержать на плаву. Объясните это явление и исследуйте, как оно зависит от существенных параметров.

В ходе исследования было использовано 15 дисков из четырёх видов металла, таз, кран с водой, 2 штатива, нитки, весы, грузы, линейка. В ходе эксперимента было выяснено, что диск ни при каких размерах (от 10 до 16 см) не плавает. Оказалось, что диску нужно углубление в центре, чтобы поток оставался в центре, и диск не смещался. Были найдены зависимости глубины погружения диска ( $H$ ) от его радиуса ( $R$ ), плотности ( $\rho_T$ ), толщины ( $h$ ), от силы ( $F$ ), с которой действует на него поток и от плотности жидкости ( $\rho_{ж}$ ), в которой он плавает: 
$$H = \frac{\pi R^2 h \rho_T g + F}{\rho_{ж} g \pi R^2}.$$
 Используя установку с блоками, была

измерена сила потока, а остальное известно либо благодаря линейке, либо от производителей материалов. Опыты только подтвердили выявленную зависимость. Также была оценена максимальная глубина погружения, при которой вода не будет наливаться на диск (конечная формула:  $H_{\text{макс}} = \sqrt{\frac{F}{\rho g \pi R}}$ ) и экспериментальная глубина не превышала её.

Самый удивительный факт, который был обнаружен — это то, что алюминиевые диски плавали без потока, даже если в них проделать огромное отверстие (диаметром в 2см). Предположив, что это происходит благодаря силе натяжения воды был проведён дополнительный опыт в горячей воде, и все эти в прямом смысле слова “непотопляемые” диски потонули, что подтвердило выдвинутую теорию.

В результате была получена зависимость глубины погружения диска ( $H$ ) от его радиуса ( $R$ ), плотности ( $\rho_T$ ), толщины ( $h$ ), от силы ( $F$ ), с которой действует на него поток и от плотности жидкости ( $\rho_T$ ), в которой он плавает и подтверждена экспериментально.

#### **Список использованных источников:**

- [1] А. Лузин, Непотопляемый диск // «Квант» №5 (1998).
- [2] Романенко Е.И. и Черничко М. Н., Исследования гидравлического прыжка в качестве водомера // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 37 (2007)
- [3] Непотопляемый диск GetAClass [Эл.ресурс]. URL: [youtu.be/eP5\\_9eUjfkI](https://youtu.be/eP5_9eUjfkI)
- [4] Гидравлический прыжок [Эл.ресурс]. URL: [youtu.be/YyvQ5Twe0kw](https://youtu.be/YyvQ5Twe0kw)
- [5] Комаров К.А. и Юрасова И.И., Поверхностное натяжение воды // Необратимые процессы в природе и технике, (2012).

## **СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ АМОРФНЫХ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ (a-CH) ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ СМЕЩЕНИЯ**

**Маслов Станислав Игоревич и Шипулина Мария Владимировна**

*9 класс, СУНЦ НГУ*

*Новосибирск, Россия*

Научный руководитель: Чепкасов Сергей Юрьевич

Благодаря своей высокой оптической прозрачности, низкой отражательной способности и высокой твёрдости аморфные гидrogenизированные углеродные плёнки являются важным материалом, применяемым в оптике, в частности в качестве защитных просветляющих покрытий для солнечных элементов на основе кремния [1,2]. Наиболее простым методом их получения является плазменное осаждение из газовой фазы на постоянном токе. Для этого достаточно в некотором вакуумном объеме зажечь газовый разряд между двумя электродами в углеводородном газе или парах жидких углеводородов. В процессе ионизации ионы, из которых формируется пленка, полетят на катод, который может служить держателем подложек.

С точки зрения оптических применений а-СН плёнок важными характеристиками являются такие оптические свойства, как пропускание и отражение света. Эти характеристики определяют с помощью спектрофотометрических измерений на спектральных приборах, называемых спектрофотометрами. Целью работы было измерение спектров пропускания и отражения света а-СН пленок, полученных в газовом разряде в парах этанола на стеклянных подложках при различных напряжениях смещения на держателе.

Методика осаждения: а-СН пленки осаждались на стеклянные подложки в газовом разряде в парах этанола. Давление паров этанола равнялось  $3,75 \cdot 10^{-2}$  торр. Разряд зажигался внутри кварцевой трубки диаметром 40 мм между плоским латунным анодом в виде диска и сеточным катодом из нержавеющей стали. Electroды располагались на расстоянии 190 мм друг от друга. Напряжение разряда составляло 1500 В. Держатель подложек размещался за сеточным катодом на расстоянии 25 мм от него. При диссоциации молекул паров этанола от столкновения с электронами, летящими с катода, образовывались ионы углеводородных радикалов или ионы углерода, летящие сквозь катод на подложку. Осаждение проводилось в течение часа при следующих напряжениях смещения на держателе подложек: 0 В, -50 В, -75 В, -100 В, -125 В и -150 В.

Методика измерения: Спектрофотометрические измерения полученных а-СН пленок проводились на двухлучевом спектрофотометре Shimadzu UV-3600. В нём производится сравнение двух монохроматических пучков, один из которых проходит через исследуемый образец, а другой — через эталон. Для вычитания спектра стеклянной подложки из спектра плёнки в качестве эталона устанавливалась чистая стеклянная подложка.

Результаты и обсуждения: Измеренные спектры пропускания и отражения света а-СН пленок показали, что напряжение смещения на подложке влияет не только на характер спектров, но и на толщину плёнок. Отдельно толщина плёнок в работе не измерялась, однако качественно о ней позволяют судить спектры пропускания. Наименьшим коэффициентом пропускания в диапазоне длин волн от 500 до 3000 нм (около 75%), а, следовательно, наибольшей

толщиной обладает образец, полученный при напряжении смещения  $-75$  В. Наибольший коэффициент пропускания и наименьшую толщину в диапазоне длин волн от  $750$  до  $3000$  нм имеют образцы, осаждённые при напряжениях смещения  $0$  В и  $-150$  В. При этом ширина полосы пропускания плёнки при  $-150$  В самая большая среди всех полученных плёнок. Поскольку напряжение смещения на подложке отвечает за энергию ионов, из которых формируется пленка, очевидно, что напряжение смещения  $-75$  В, в нашем случае осаждения плёнок в газовом разряде, является оптимальным с точки зрения наращивания толщины, т.к. большее количество ионов попадает на подложку. Напряжение смещения  $-150$  В оптимально с точки зрения максимальной прозрачности в широком диапазоне длин волн (от  $500$  до  $3000$  нм). Вероятно, при этом напряжении энергия ионов, летящих на подложку, слишком велика, и одновременно с процессом напыления присутствует процесс распыления растущей плёнки. Отсюда её высокая прозрачность и малая толщина. Также на прозрачность а-СН плёнок может влиять концентрация водорода в плёнках [3], однако специально она не определялась. Анализируя спектры отражения света, можно сделать вывод, что в диапазоне от  $500$  до  $750$  нм максимальным коэффициентом отражением (около  $20\%$ ) обладает образец, полученный при напряжении смещения  $0$  В, а минимальным коэффициентом отражения (около  $6\%$  в диапазоне от  $1600$  до  $2000$  нм) обладает пленка, напылённая при  $-50$  В. Также в областях ультрафиолета и видимого диапазона данный образец имеет несколько минимальных значений коэффициента отражения, вызванных интерференцией света в тонкой пленке. Если же посмотреть на область длин волн от  $2750$  до  $3000$  нм, попадающую в ближний инфракрасный (ИК) диапазон, то видно, что практически все спектры имеют достаточно низкие коэффициенты отражения (около  $7,5\%$ ), и лишь спектр образца, нанесённого при напряжении смещения  $-125$  В, имеет коэффициент отражения несколько выше (около  $10\%$ ). Данная область ИК-диапазона важна, когда речь идёт о солнечных элементах на основе кремния, работающих более эффективно именно в ИК-диапазоне. Покрытие на основе а-СН плёнок позволит защитить солнечный элемент от царапанья мелкими песчинками и снизить отражение (а значит и увеличить пропускание) солнечных лучей от этого элемента в ИК-области.

**Выводы:** Напряжение смещения на подложке во время осаждения а-СН плёнок в газовом разряде в парах этанола оказывает влияние на толщину напыляемых покрытий и характер их спектров пропускания и отражения света. Для получения наиболее толстых плёнок подходит напряжение смещения  $-75$  В, а для получения наиболее прозрачных плёнок в широком диапазоне длин волн (от  $500$  до  $3000$  нм) подходит напряжение  $-150$  В. Снизить коэффициент отражения в диапазоне длин волн от  $2750$  до  $3000$  нм позволяют практически все напряжения смещения, подаваемые в проведённых экспериментах на держатель подложек.

**Список использованных источников:**

- [1] DaSilva, D. S., et al. Application of amorphous carbon based materials as antireflective coatings on crystalline silicon solar cells // J.of A. P. 110.4 (2011).
- [2] Yang, Qinru, et al. Research on the fabrication and anti-reflection performance of diamond-like carbon films // Diamond and Related Materials 111 (2021).
- [3] Baydoğan, NilgünDoğan. Evaluation of optical properties of the amorphous carbon film on fused silica // Materials Science and Engineering: B 107.1 (2004).