

№3 • 2019

ISSN 0039-7067

# СВЕТО ТЕХНИКА

Специальный  
выпуск

Для детей и их родителей

**Мираж. Как это работает?**



**Свет — это луч  
или волна?**

**Фотоаппарат  
своими руками**



**12+**

# ОТ РЕДАКЦИИ

---

## Друзья!

**П**риветствуем вас на страницах 3-го номера журнала «Светотехника» для детей и их родителей! Продолжаем раскрывать интересные, яркие и часто загадочные истории, связанные со светом, который в масштабах Вселенной продолжает находиться на зыбкой грани между научной истиной и волшебством.

Журнал «Светотехника», на базе которого выпускается наше издание, – это научно-техническое издание. Его читатели – учёные и специалисты, чья деятельность связана со светом. Нам было не так просто сходу перестроиться на язык детской и молодёжной аудитории. И к этому выпуску мы шли путём проб и ошибок: старались глубже вникнуть в ваши потребности и подобрать наиболее интересные для вас форматы. Надеемся, что этот номер сделает нас ближе друг к другу!

Мы приглашаем вас в очередное увлекательное путешествие по страницам журнала! В этом номере мы вместе с главным редактором «Светотехники» Владимиром Павловичем Будаком, д.т.н., профессором, продолжим узнавать природу света. Вместе с нашими героями, Светознайкой и профессором Люксом, посетим экспозиции главной светотехнической выставки страны. Создадим фотоаппарат из подручных средств. Окунёмся в волшебство света, создающего оптические иллюзии. Попробуем себя в роли детектива и постараемся с помощью света определить, из чего состоит атмосфера Земли. Вспомним, как свет с давних пор создавал ощущение праздника. Узнаем о том, что такое цветопередача, которая создаёт образы предметов такими, как мы их видим. Присоединимся к увлечённому диалогу двух известных учёных о лампочке и её роли в истории человечества, узнаем о её предках и о современном источнике света – светодиодах. И, конечно, послушаем Светознайку. Он поделится одним из тех открытий, которые сделают окружающий мир более понятным для ваших младших братьев и сестёр.

Познавайте! Делитесь идеями и впечатлениями! Направляйте в редакцию вопросы и отзывы о публикациях! Предлагайте темы для обсуждения! Присылайте свои статьи, заметки, интересные решения! Вместе мы сделаем наш журнал лучше, интереснее, увлекательнее!

## УЧРЕДИТЕЛИ:

Академия электротехнических наук РФ  
Всесоюзный научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ)  
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Шеф-редактор**

Ю. Б. Айзенберг, д.т.н., проф., академик АЭН РФ

**Главный редактор**

В. П. Будак, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.com

**Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии**

Р. И. Столяревская, д.т.н.; stoly@l-e-journal.com

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ****Председатель редакционной коллегии**

Г. В. Боос, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва

С. Г. Ашурков, к.т.н., Москва

Л. Бедокс (Lou Bedocs), Thorn Lighting Limited, Великобритания

**Технический директор**

Т. Берген (Tony Bergen), Photometric Solutions International, Австралия

Л. Билунд (Lars Bylund), Bergen's School of architecture, Норвегия

П. Р. Бойс (Peter R. Boyce), Lighting Research Center, США

В. ван Боммель (Wout van Bommel), Philips Lighting, Нидерланды

А. А. Богданов, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», С.-Петербург

Н. В. Быстрянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург

Л. П. Варфоломеев, к.т.н., Москва

Н. Василев (Nicolay Vasilev), Sofia Technical University, Болгария

Д. Вейтч (Jennifer Veitch), National Research Council of Canada, Канада

А. А. Григорьев, д.т.н., НИУ «МЭИ», Москва

С. Дарула (Stanislav Darula), Academy Institute of Construction and Architecture, Словакия

П. Дехофф (Peter Dehoff), Zumtobel Lighting, Австрия

У. Джулиан (Warren G. Julian), University of Sydney, Австралия

О. Е. Железникова, к.т.н., МГУ им. Н. П. Огарёва, Саранск

П. П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва

А. А. Коробко к.т.н., МСК «БЛ ГРУПП»

Э. Миллс (Evan Mills), Lawrence Berkeley Laboratory, США

Л. Г. Новаковский, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф»

Й. Оно (Yoshi Ohno), NIST Fellow, (Президент МКО в 2015–2019 гг.), США

А. Т. Овчаров, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск

Л. Б. Прикупец, к.т.н., ВНИСИ им. С. И. Вавилова, Москва

В. М. Пятигорский, к.т.н., ВНИСИ

им. С. И. Вавилова, Москва

Л. Р. Ронки (Lucia R. Ronchi), Higher School of Specialization for Optics, University of Florence, Италия

А. К. Соловьёв, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва

К. А. Томский, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург

Ф. Хенгстбергер (Franz Hengstberger), National Metrology Institute, ЮАР

А. Г. Шахпарунянц, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С. И. Вавилова, Москва

Н. И. Щепетков, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва

**РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА****Генеральный директор**

Н. С. Шерри; sherri@bl-g.ru

**Старший научный редактор**

Е. И. Розовский; lampstech@mail.ru

**Научный редактор**

С. Г. Ашурков; ashurkov@l-e-journal.com

А. Ю. Басов; basov@bl-g.ru

**Выпускающий редактор**

П. А. Федорищев; fedorishchev@gmail.com

**Зав. редакцией**

М. И. Титаренко; titarenko@l-e-journal.com

**Стилист английской версии**

М. Д. Виноградова

**Секретарь редакции**

Е. А. Булгакова; bulgakova@l-e-journal.com

**Дизайнер-верстальщик**

А. М. Богданов

**Контент-менеджер**

Е. С. Серый

**КОРРЕСПОНДЕНТЫ ЖУРНАЛА В ДРУГИХ СТРАНАХ****Аргентина**

Пабло Икстайна (Pablo R. Ixtaina), Национальный технологический университет Ла-Платы;

**Франция**

Георг Циссис (Georges Zissis), университет Тулузы;

**Индия**

Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar), университет Джадавпур;

**Словения**

Грега Бизяк (Grega Bizjak), Люблянский университет;

**Турция**

Тугсе Казанасмаз (Tugce Kazanasmaz), Измирский технологический институт; Эрдал Шехирли (Erdal Sehirlil), университет Кастамону;

Ренгин Юнвер (Rengin Unver),

Технический университет Йылдыз (Стамбул)

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

**129626**, Москва, проспект Мира, 106, ВНИСИ, оф. 327.

**Тел.** +7 (495) 682-58-46;

+7 (495) 682-19-04.

**Тел./факс:** 7(495)682-58-46.

**E-mail:** info@l-e-journal.com

**Интернет:** <https://l-e-journal.com/>

**Электронная версия:** [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Перепечатка статей и материалов из журнала «Светотехника» – только с разрешения редакции.

За содержание и редакцию информационных материалов ответственность несет источник информации.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей.

## ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

Большая прогулка по «умному городу» . . . . . 4

Свет – это луч или волна? . . . . . 8

## ИСТОРИЧЕСКАЯ МИНИАТЮРА

Праздничные огни . . . . . 12

## ПЫТЛИВЫЕ УМЫ

Лампочка, но не Ильича . . . . . 16

## ИЗ ЖИЗНИ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ

Рассвет современной оптики . . . . . 24

## ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Свет для изучения атмосферы Земли  
из космоса . . . . . 32

Решаем вместе . . . . . 38

Камера-обскура . . . . . 40

## СВЕТ И ПРИРОДА

О важности цветопередачи . . . . . 44

Оптические иллюзии . . . . . 48

Мираж. Как это работает? . . . . . 54

## ЭКОНОМИКА ОСВЕЩЕНИЯ

Энергия Солнца в космосе и дома . . . . . 56

## ПРОВЕРЬ СЕБЯ

Подумай и реши . . . . . 58

Светотехническая викторина . . . . . 60

## СТРАНИЧКА ДЛЯ МЛАДШИХ БРАТЬЕВ И СЕСТЁР

Из детских воспоминаний Светознайки. . . . . 62

Эксперименты со светом . . . . . 64

Поэтическая пересменка . . . . . 66

## СВЕТ ПРЕОБРАЖАЕТ

Свет – дирижёр настроения . . . . . 68

Как создать сказочную крепость  
с помощью света? . . . . . 70

## ВИРТУАЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Проектируем с профессором Люксом . . . . . 72

## КОНКУРС

Внимание! Разыскивается автор. . . . . 76

Краткий словарь терминов . . . . . 78

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «СВЕТОТЕХНИКА» ДЛЯ ДЕТЕЙ И ИХ РОДИТЕЛЕЙ

### Руководитель проекта

Н. С. Шерри

### Главный редактор

А. Ю. Басов

### Выпускающий редактор

С. С. Боровинских

### Художник

А. Г. Лукашова

### Журналист-корректор

Н. И. Смагин

Сдано в набор 18.11.19. Подписано в печать 06.12.19.

Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печ.л. 10,00. Тираж 999 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Группа Компаний Море» 101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

# БОЛЬШАЯ ПРОГУЛКА ПО «УМНОМУ ГОРОДУ»

**Привет! Может быть, ты не знал, в Москве ежегодно проходит главное событие для всех светотехников России! Это международная выставка освещения, систем безопасности, автоматизации зданий и электротехники – Interlight Russia | Intelligent building Russia. Здесь дизайнеры, архитекторы, урбанисты, проектировщики, инженеры, электромонтажники и интеграторы общаются и обмениваются идеями.**

**И** зюминка последней выставки – «Умный город», воплотивший решения, которые полвека назад были на страницах фантастических романов. А сегодня это реальность! Это технологии, позволяющие настроить городскую среду под личные потребности, нужды, настроение. Школа, парк, двор – любая локация может быть выстроена под тебя! И всё это с помощью мобильных устройств, в том числе твоего смартфона! Участники выставки собрали лучшие решения, создающие комфортную среду вокруг нас и помогающие коммунальным службам «нести свою вахту» для общего удобства и безопасности. В результате получился настоящий Smart city.

Звучит круто, не правда ли? Как говорится, лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать, поэтому приглашаем тебя на виртуальную экскурсию по городу будущего, впрочем, теперь уже настоящего!

Например, стенд компании ГК «Мегаполис» специализируется на праздничном оформлении про-

спектов и площадей, мостов, деревьев и фасадов зданий. Особенность экспозиции – технологии дополненной реальности, позволяющие взаимодействовать с окружающей средой через смартфон или планшет. Теперь горожане могут участвовать в создании новогодней подсветки своего дома, двора, улицы, делать её именно такой, какая им по душе, и увидеть, как это будет выглядеть до того, как проект будет реализован. А компания Günsap Elektrik представила сервис создания собственного дизайна выключателей или розеток, в том числе с USB-разъёмом, через мобильное приложение. Фишка компании Multitek Elertronik – «интернет вещей», когда к всемирной сети подключены не только телефон и компьютер, но, например, люстра или холодильник.

Давайте подробно остановимся на одном из самых интересных и больших (400 квадратных метров!) стендов – МСК «БЛ ГРУПП» (рис. 1).



1

Это настоящий, «живой» город, где есть улицы, зоны отдыха, парки, мосты, тоннели, собственный аэропорт и даже небольшой музей. Только магия здесь творится благодаря высоким технологиям. Весь стенд работает по принципу «Умного города» – каждый светильник управляется с помощью мобильного приложения, а электронная скамья считает число отдохнувших на ней. Но не всё сразу, давай прогуляемся не спеша.

Предлагаю стартовать с уличного освещения. Переступив порог стенда, ты словно попадаешь на аэродром – ещё немного, и авиалайнер пролетит над твоей головой, ероша волосы. Неудивительно, ведь создатели смоделировали взлётно-посадочную полосу, чтобы показать, какие нужны сигнальные огни, чтобы чётко очерчивать взлётную полосу, но не слепить пилота. Каждый мог оказаться за штурва-



ют футбольные поля, хоккейные стадионы и другие спортивные объекты. У тебя над головой прожекторы (рис. 4) – именно благодаря их мощному, но деликатному свету теннисист чётко видит жёлтый мячик, а футболист правильно рассчитывает расстояние до ворот.



лом авиалайнера благодаря виртуальному симулятору. Кстати, подними голову. Ты только что вошёл в тоннель – здесь важно обеспечить безопасность участников дорожного движения (рис. 2). А полностью автоматизированные системы управления освещением! Они не только управляют светом, ведут поламповый контроль, но и способны создавать разнообразие цвето- (свето-) динамических сценариев, которые так украшают города. Это центральная экспозиция, похожая на пункт управления полётами, и именно отсюда осуществляется дистанционное управление и контроль над всеми объектами, даже если они находятся за тысячи километров.

Держим курс налево, сыграем в хоккей. Конечно, здесь нет настоящей хоккейной площадки со льдом и клюшками, а просто установлен стол для любимого многими аэрохоккея (рис. 3). Он здесь не просто для развлечения (хотя, не будем лукавить, и для этого тоже), а чтобы продемонстрировать, как освеща-



А теперь представь, что ты едешь по городу на электросамокате, и в самый неподходящий момент он разряжается. Что делать? «Умная опора» подзарядит твой личный транспорт и предоставит ещё целый ряд услуг (рис. 5).

И это не всё! Например, эти два светильника держатся на опорах с встроенными солнечными батареями (рис. 6). А значит, что энергию они получают напрямую от Солнца.

Нам пора, впереди следующий стенд, который разместился совсем близко – прямо через дорогу! Безопасно перейти на другую сторону импровизированной проезжей части поможет «умный» светильник со встроенным светофором. Загорелся зелёный сигнал светофора, и яркость светильников увеличилась. Теперь «зебра» отлично видна как пешеходу, так и водителю. Переход завершён, пешеходам загорелся красный свет, а яркость светильников уменьшилась. Вот и экономия электроэнергии на деле! (рис. 7).



5



6



7



8

Отдохнём на скамеечке (рис. 8), подстроив её цвет под своё настроение, подзарядим телефон, не вставая с места, приглушим свет, идущий от рядом расположенного светильника с помощью своего смартфона! Романтика! Ничто не мешает расслабиться, да и безопасно – тревожная кнопка под рукой.

Настало время перейти ко второму стенду. Здесь тебя встретят «шеренги» садово-парковых светильников, которые украсят практически любой ландшафт, а также настоящий арочный мост. Наверняка ты не раз замечал, что ночью мосты превращаются в сказочные конструкции, переливаясь миллионами огней, которые отражаются в воде. Здесь ты

можешь вблизи рассмотреть, как это получается. Всё просто – это архитектурная подсветка (рис. 9), которая выгодно подчёркивает детали конструкции. Кстати, она тоже полностью управляема! День города? Новый год? Выбирай – торжественная атмосфера готова. А ещё есть цветовая навигация. Ещё издали по цвету контура моста можно понять уровень его загрузки и вовремя сменить маршрут, чтобы не застрять в пробке.

Посмотри в противоположный конец стенда. Здесь настоящая теплица со свежими зелёными растениями. Но как же это связано со светотехникой? Непосредственно! Ведь каждому растению нужен



Чтобы наглядно показать, как работает внутреннее освещение, создатели стенда организовали своего рода «кукольный домик», где различные типы интерьера исполнены в миниатюре. Смотри (рис. 12), здесь есть спальня, учебный класс, рабочее место и даже операционная. «Умное» освещение позволит выбрать правильный свет, комфортный именно для тебя.

Уверен, ты бывал в Третьяковской галерее, Эрмитаже или каком-нибудь другом музее. На выставке Interlight Russia | Intelligent building Russia 2019 был собственный уголок шедевров (рис. 13).



свет, а в теплице он создаётся благодаря специальным светильникам, которые делают овощи такими же сочными, вкусными и яркими, как с обычной грядки. Это целая система, которой можно управлять даже из другого города, обеспечивая нужный климат, полив и спектр освещения (рис. 10 и 11).

Завершим экскурсию стендом внутреннего освещения. Здесь всё не так масштабно, однако именно внутреннее освещение является нашим ежедневным спутником: благодаря ему мы работаем, учимся и просто живём в комфортной обстановке.



Главная задача музейного освещения – найти баланс между правильной презентацией экспоната, чтобы был понятен замысел автора, и сохранностью экспоната. Ведь свет способен и разрушить!

На этом наша экскурсия не заканчивается. Если тебя заинтересовал наш рассказ, то более подробную информацию ты сможешь получить, просмотрев ролик «Светлые решения для "Умного города"».

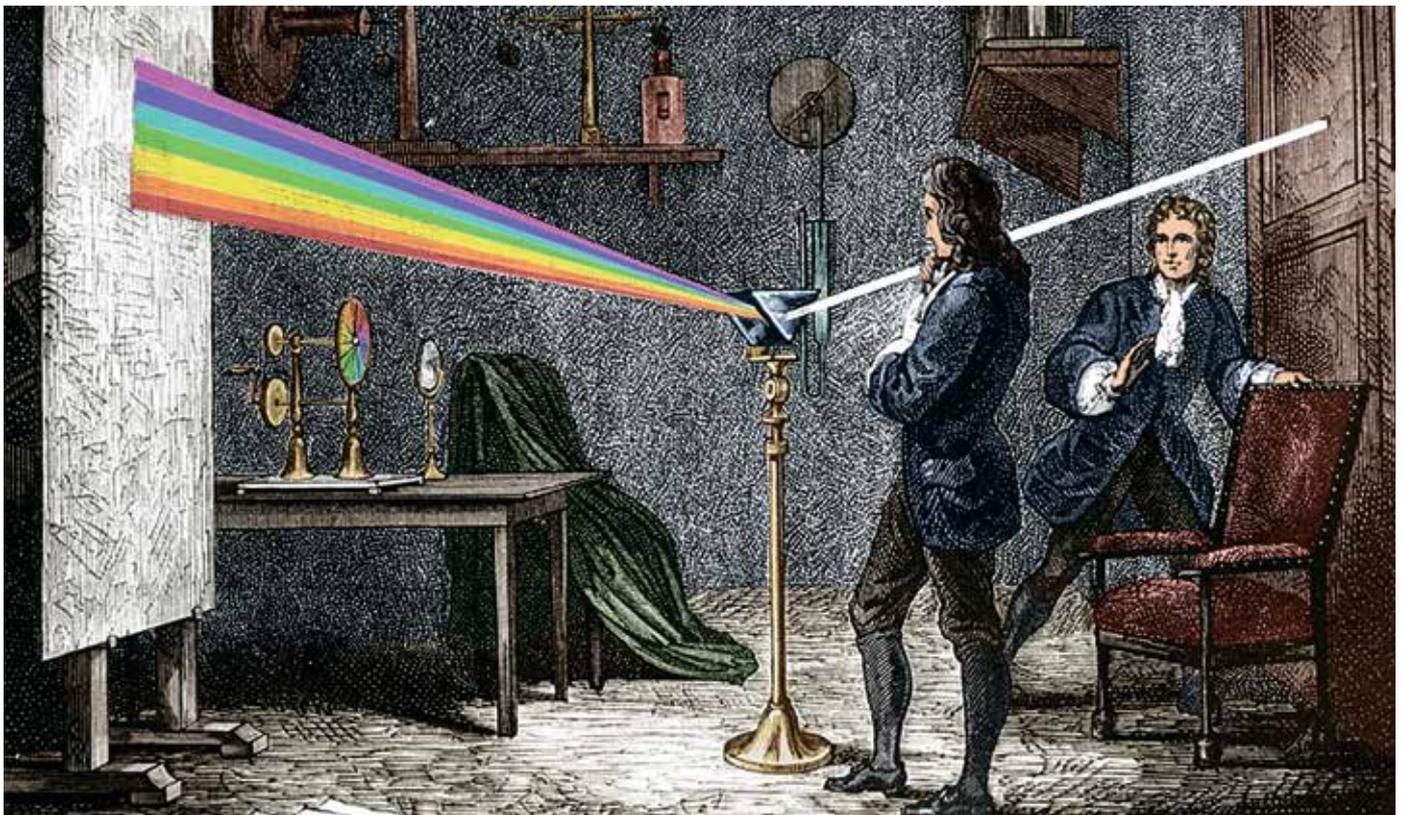


# СВЕТ – ЭТО ЛУЧ ИЛИ ВОЛНА?

**Владимир Павлович Будак, главный редактор журнала «Светотехника», профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ», продолжает раскрывать перед нами природу света. В прошлом выпуске он подробно рассказал историю исследования света с античности до XVII в. Новая статья отметит научные изыскания от Исаака Ньютона до Джеймса Максвелла. Вас ждут интересные факты, увлекательные эксперименты, а главное – столкновение двух подходов к природе света – волновой и лучевой теорий.**

**П**родолжаем раскрывать природу света – развиваем тему, поднятую в предыдущем номере. Новая эпоха в развитии светотехники началась, когда возникло два подхода к природе света – лучевая и волновая теория. Согласно первой, которая была предложена арабским учёным Ибн аль-Хайтамом (965–1039), разработана английским учёным Исааком Ньютоном (1642–1727) и немецким учёным Иоганном Кеплером (1571–1630), лучи представляли собой траектории, по которым свет перемещался в виде мелких частиц (корпускул). А ряд современников И. Ньютона и И. Кеплера, о которых мы расскажем ниже, считали, что свет – это волна.

Возникло противоречие – настоящая развилка теорий. Сначала развивалась именно лучевая. Например, И. Ньютон в трактате «Оптика» высказал гипотезу, что свет движется через эфир\* – прозрачную и неосязаемую среду, о существовании которой впервые заговорили ещё древние греки. Кстати, трактат «Оптика» был одной из первых монументальных научных работ, написанных на национальном языке (английском), а не на латыни. В этом видна социальная значимость деятельности учёного, который старался сделать науку максимально доступной для своих соотечественников.



*Дисперсия света. Опыт И. Ньютона*

\* Эфир – существовавший в античной мифологии образ бесплотной среды без цвета и запаха. Согласно античным представлениям, по этой среде перемещались потоки энергии, в том числе и свет. Эфир воспринимался в Средневековье как полноценное природное явление, что нашло отражение и в лучевой теории. Лишь позднее учёные осознали, что эфир не существует.

## Белый превращается в 7 цветов радуги и наоборот

В своём трёхтомнике «Оптика» Исаак Ньютон обобщил и проанализировал как результаты собственных экспериментов, так и опыты других учёных. Его интересовало, как солнечный свет превращается в различные цвета. В предыдущем номере вы могли узнать, как возникает радуга. Учёный создал эффект радуги с помощью стеклянной призмы. Опыт проходил так: через небольшое отверстие в стене свет проходил в помещение и попадал на призму, отражался от неё на противоположную стену и раскладывался на

7 цветов радуги. Теперь подобное явление называют дисперсией света\*\*, но заслуга открытия принадлежит именно английскому учёному. Такой эксперимент

проводили и раньше, но именно И. Ньютон догадался, что семицветную полоску можно направить на другую призму. В итоге все цвета соберутся обратно в белый, что очень похоже на детский конструктор.

На основе полученных результатов учёный создал красочную модель, которую называют «Цветовой круг Ньютона». Она представляет собой круг, центральная часть которого белая, а внешняя разделена на

7 секторов по цветам солнечного спектра. При быстром вращении этого круга цвета сливаются в белый.

**ОПЫТ №1. Кстати, вы можете провести похожий эксперимент в домашних условиях. Для этого вам потребуется кулер – устройство для воздушного охлаждения компьютера, который крепится на боковой крышке корпуса, и цветной диск, как на картинке. Установите диск на кулер и подключите к сети. Возможно, потребуется подключить блок питания к кулеру, но в этом вам помогут взрослые. Диск начнёт вращаться. От того, насколько вам удастся разогнать диск, зависит эффект, который вы получите. Рекомендуем в целях безопасности разместить вашу экспериментальную установку в прозрачной пластмассовой коробке.**



Цветовой круг И. Ньютона

## А может свет – это волна?

Другие учёные вдохновились опытами Ньютона и стали их развивать. Постепенно накапливались факты, которые указывали, что свет не всегда представляет собой частицы, послушно и равномерно следующие по траектории, которую образует луч. Первым заметил необычные свойства света английский физик Роберт Гук (1635–1703). Он наблюдал за тем, как свет отражается от тонких мыльных плёнок на поверхности воды и обратил внимание, что на плёнке возникает динамичная радужная игра. Учёный предположил, что свет действует, как волна: сначала отражается от нижней границы плёнки, а затем встречается с новой волной у верхней границы плёнки. Возникал эффект, похожий на то, как в бушующем море сталкиваются две волны.



\*\* Дисперсия света – это разложение света в спектр, обусловленное зависимостью показателя преломления от частоты электромагнитного излучения.

Впоследствии это явление назвали интерференцией света<sup>\*\*\*</sup>. Явление интерференции Р. Гук подробно рассмотрел в своей книге «Микрография», в которой высказал гипотезу, что свет является волной.

Параллельно было открыто иное не менее интересное явление – поляризация света. В 1669 году датский физик Рasmus Бартолин совершил важное открытие, любуясь кристаллом исландского шпата (кальцита). Он увидел, что падающий на кристалл свет расщепляется на два луча. Первый луч идёт прямо сквозь кристалл, а второй отклоняется в сторону. Учёный попробовал повернуть кристалл в различных направлениях и обнаружил, что поворачиваются оба луча, прошедшие через него. Но объяснить это явление ему не удалось.



Интерференция света



Р. Гук

Это сделал Христиан Гюйгенс (1629–1695), нидерландский физик, астроном, изобретатель, который принципиально расширил зарождающуюся волновую теорию. Он предположил, что волны света распространяются в прозрачной среде – эфире по схожему принципу с колебанием частиц звуковых волн.

**ОПЫТ №2. Вы можете провести похожий опыт в домашних условиях. Возьмите миску или иную ёмкость, только не стеклянную, а непрозрачную. Налейте в неё воду и растворите одну каплю лака для ногтей. Установите настольную лампу над миской так, чтобы свет падал вертикально вниз, примерно на расстоянии 15 см от воды. Вы увидите, как переливаются тонкие полоски различных цветов.**

Эта идея возникла на основании опытов Олафа Ремера (1644–1710) – датского астронома, который первый в мире измерил скорость света. Оказалось, что она составляет немыслимые цифры – 300000 км/сек. Как же может материальный объект перемещаться с такой скоростью?

## А как движутся волны света?

Гюйгенс предположил, что световые волны могут быть не продольными, а поперечными, то есть двигаться не только прямо, но и вбок. Иными словами, каждая точка среды, до которой «докатилась» волна, сама становится источником новой, вторичной волны. Эта модель движения волн была впоследствии названа принципом Гюйгенса. Представьте, как ведут себя морские волны: они постоянно в движении, лёгкая зыбь сменяется девятым валом. Свет – точно такая же постоянно меняющаяся форма материи.



Х. Гюйгенс

<sup>\*\*\*</sup> Интерференция света — пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких световых волн.



Принцип Гюйгенса



Ж. Фуко

На этом примере мы видим важный принцип организации научного мышления. На основе аналогий из жизненного опыта появляется гипотеза, которая проверяется в ходе эксперимента. Если ей удаётся подтвердить свою истинность, то она возводится в ранг теории.

С новых позиций волновой теории Гюйгенс сумел объяснить и явление преломления. Когда волна встречает препятствие на своём пути, она становится вторичной, как бы отражаясь от него. Соответственно меняется и скорость волны, сопротивляясь препятствию, она начинает распространяться в других направлениях – по сферической траектории. Именно в этом и состоит ключевое различие с лучевой теорией.

Противоречие между волновой и лучевой теориями усилилось, когда в ходе экспериментов выяснилось, что скорость света получается разной. В волновой теории скорость была меньше из-за упругости среды, сквозь которую проходил свет. Среду тогда, как вы помните, называли эфиром, и в этом эфире свет словно тонул, с трудом пробиваясь вперёд.

А с точки зрения лучевой теории скорость света была выше, потому что частицы света (корпускулы) притягивались частицами вещества и как бы разгонялись.

Важную роль для разрешения этого спора волны и луча сыграл эксперимент Жана Фуко (1819–1868), французского физика, механика и астронома. Он первым в мире измерил скорость света в воде. Она оказалась в полтора раза меньше, чем в воздухе. Этот факт стал серьёзным аргументом в пользу волновой теории. Если свету сложнее пройти через воду, которая является более плотной средой, чем воздух, значит, похоже, он действительно ведёт себя как волна.

Следующий важнейший шаг в определении природы света произошёл в 1900 году. К этому моменту всё понимание физики (и, в том числе, оптики) основывалось на классической механике и термодинамике. А главным авторитетом в мире науки считались

уравнения Джеймса Максвелла (1831–1879), британского физика, математика и механика, которые описывали в том числе и поведение электромагнитных волн. Но здесь вдруг впервые прозвучали серьёзные сомнения в корректности волновой теории, которая к рубежу 19–20 веков явно взяла верх. В научной статье Уильям Томсон (1824–1907, лорд Кельвин), шотландско-ирландский физик и механик, сказал, что «в стройной волновой теории есть 2 облачка» – необъяснимых парадокса. Его догадка стала одним из самых потрясающих по точности прогнозов за всю историю развития научной мысли.

Во-первых, из уравнений Максвелла вытекало, что скорость света не зависит от системы координат. Сейчас абсурдность этого очевидна каждому. Представьте, автомобиль едет по дороге. Вдруг сидящий в салоне пассажир подбрасывает какой-нибудь предмет, например, мячик. И сам пассажир видит, и со стороны видно, что подброшенный мячик не смещается назад против направления движения автомобиля, а летит так, будто его подбросил неподвижно стоящий человек. А, если верить уравнениям Максвелла, мячик должен был бы откинуться назад.

Во-вторых, несмотря на стройную структуру волновой теории, никто не мог получить излучение чёрного тела. С позиций волновой теории получалось, что при бесконечном уменьшении длины волны её энергия должна стремиться к бесконечности. Хотя это казалось ещё более абсурдным, чем независимость скорости света от системы координат, долгое время никто не мог найти ошибку в расчётах, которые казались безупречными...

Но всё же однажды это случилось, и эти два «облачка-парадокса» превратились в мощные тучи, которые разразились невероятной грозой научного прорыва и снесли классическую механику вместе с волновой теорией! Об этом удивительном открытии мы расскажем в следующем номере журнала!

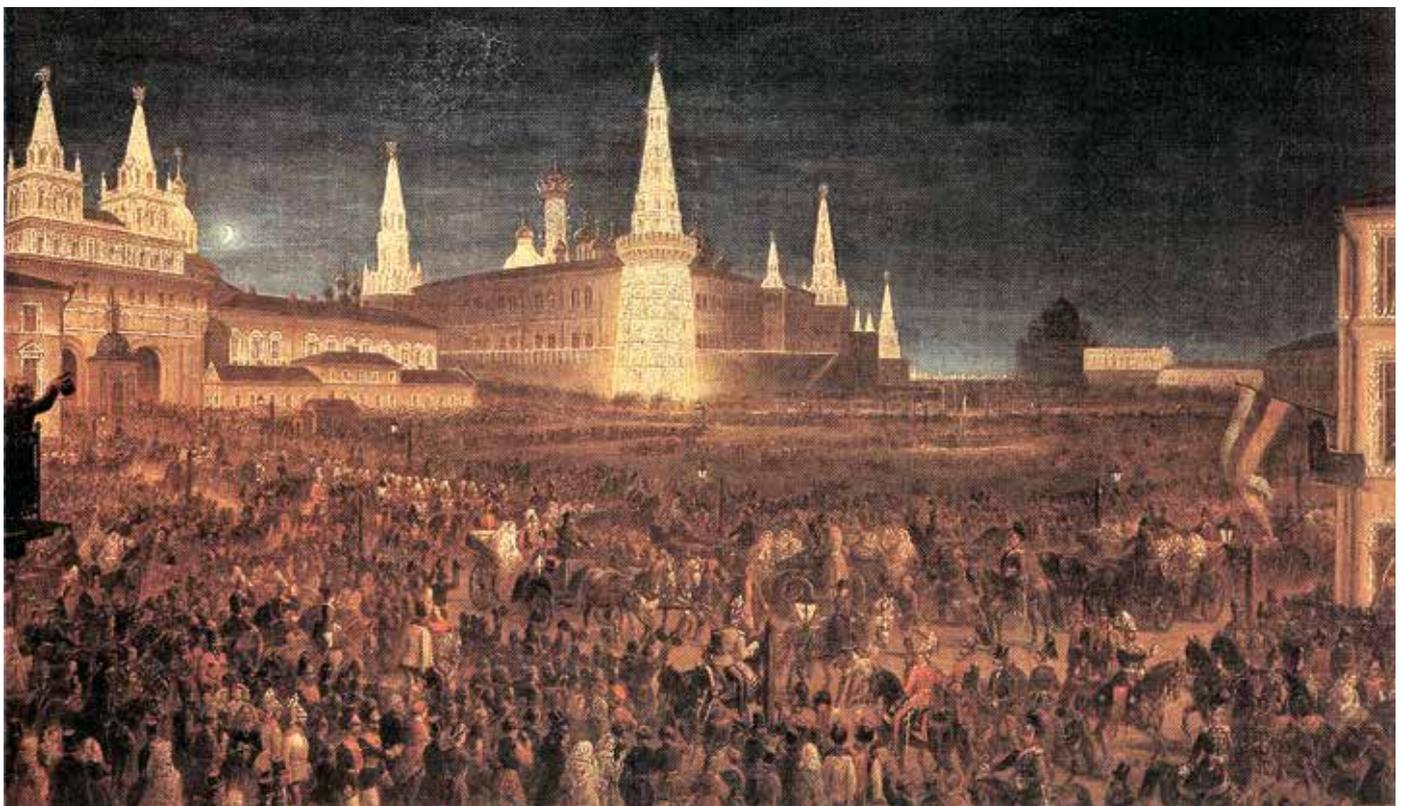
## ПРАЗДНИЧНЫЕ ОГНИ

Сегодня в больших городах жизнь не затихает даже глубокой ночью. В Москве пешеходы могут прогуливаться по вечерним улицам при ярком свете электрических фонарей, любясь разнообразными световыми эффектами. С появлением светодиодов декоративное освещение стало ещё более разнообразным: летом можно увидеть разноцветные светящиеся цветы, переливающиеся разными красками кроны деревьев, а зимой на улицах появляются нежно-голубые снежинки, коньки, Снегурочки, Деда Морозы. Но если заглянуть на несколько столетий назад, то станет очевидным, что наши предки тоже любили в праздники устраивать световые представления. О том, как выглядела праздничная иллюминация Москвы несколько веков назад, рассказывает директор музея «Огни Москвы» Наталья Потапова.

Когда ещё не было постоянного уличного освещения, и горожанам приходилось пользоваться факелами и переносными фонарями, по особо торжественным случаям устраивались фейерверки и иллюминации. Известно, что осенью 1602 года улицы и площади Кремля были украшены яркими кострами, разведёнными на высоких жаровнях. Очевидцы утверждали, что в Кремле ночью было светло, как днём. Таким образом москвичи встречали молодого датского принца Иоанна, за которого царь Борис Годунов собирался выдать замуж свою дочь Ксению.

Большим любителем световых потех был Пётр I. Император понимал, что с помощью фейерверков можно воздействовать на широкий круг зрителей. Как писал Пётр I: «Лутчеш те миллионы на ферверк издержаны были ... нечто б дивное и памяти достойная вещь была и народ в тот час великой плезир имел». С помощью световых зрелищ рассказывали о военных событиях, о баталиях и победах. Например, в 1697 году в Красном Селе около Москвы фейерверк было решено посвятить победе под Азовом.

Пётр I испытывал очень большой интерес к пиротехнике, поэтому в 1704 году был устроен фей-



Иллюминация Воскресенских ворот и Кремля в 1856 году



Статуя Юпитера и четыре аллегорические картины.  
Гравюра фейерверка 1 января 1704 года

ерверк, посвящённый победному выходу России к морю. Была изготовлена фигура 20-метрового двуглавого орла – символа российского государства, на крыльях которого в одной из лап помещались щиты с изображением Белого, Азовского и Каспийского морей. Нептун в колеснице подвёз и передал в свободную лапу орла щит четвёртого, Балтийского моря. «Его царское величество находил отменное удовольствие быть между инженерами и участвовал сам в работании самой большой машины. Она представляла двоеглавного с распростертыми крыльями орла, который левою ногою бросал горизонтально ракеты в рог полумесяца, что и происходило весьма удачно» – сообщает один из современников.

Раньше в России Новый год отмечали осенью, 1 сентября. Но с введением григорианского календаря в 1699 году этот праздник стал зимним. Во время него устраивали великолепные фейерверки. Они знакомили зрителей с западной культурой. В 1704 года на сцене стояли позолоченные

статуи античных богов Юпитера, Марса, Паллады, Виктории. К каждой фигуре прилагались пояснительные тексты, в которых сообщалось, что «Юпитером древние языцы знаменовали первейшую и начальную всемогущую власть», а Афина-Паллада является «богиней воинского искусства и иных честных премудростей».

В послепетровское время количество фейерверков увеличилось. «Огненные представления» стали давать в царские праздники: Дни рождения, именины, коронации. Несмотря на увеселительный характер, относились к устройству фейерверков очень серьёзно. Их составление поручили Академии наук. В устройстве праздничных зрелищ принимали участие математик Христиан Гольдбах, профессор «древностей и истории литературной» Христиан Крузиус, профессор Михаил Васильевич Ломоносов. С помощью фейерверков народ мог получить новые знания. Например, в 1735 году при помощи пиротехнических средств было представлено строение мира по Копернику. Центральной фигурой стало Солнце, вокруг которого вращались фигуры других планет.

Искусство фейерверков в XVIII веке достигло небывалых высот. Академик Август Шлёцер отмечал, что «русские фейерверкеры и без того уже славились тем, что довели своё искусство до такого со-



Фейерверк и иллюминация 25 апреля 1742 года в Москве во время коронации императрицы Елизаветы Петровны



*Виды на башни Кремля с конструкциями для иллюминации. Подготовка к коронации императора Александра II (1856 год)*

вершенства, какого не знали в остальной Европе. В особенности много слышал я о том, что они изобрели способ придавать огню цвет, чего долго добивались за границею, но ещё не нашли.

Фейерверк – дело опасное, так как приходится работать с пиротехникой и порохом. Поэтому занималось их организацией артиллерийское ведомство. В канцелярии главной артиллерии и фортификации существовала специальная лаборатория по изготовлению фейерверочных огней. Их состав был разнообразен: «верховые» – летящие, «водяные» – плавающие, «низовые» – наземные ракеты, фонтаны, колёса, шутихи, свечи и многие другие фигуры.

Фейерверк – это настоящий световой спектакль, о начале которого население оповещалось специальным сигналом. Он представлял собой целую серию взрывов или залпов, получаемых с помощью пороховых ящиков. Затем шёл ряд декораций, составленных из подвижных или статичных фигур. Их горение продолжалось несколько минут, после чего наступал антракт, во время которого запускались ракеты, зажигались бенгальские огни и падающие звезды. Этот салют продолжался, пока подготавливали к сожжению следующую декорацию. Заканчивался фейерверк большим букетом, состоящим из запуска множества помпфейерных батарей и ракет в таком количестве, чтобы украсить место спуска несметным



*Иллюминация Собора Василия Блаженного во время коронации императора Александра II в 1856 году*

количеством горящих звездочек и огненных линий. В самом конце фейерверка зажигали большое количество цветных огней по всей территории, на которой проходило представление.

Кроме фейерверков в праздничные дни устраивали также иллюминации. В то время вместо электрических ламп использовали разноцветные шкалики – стаканчики, в которые наливали масло и опускали фитиль. Шкалики расставляли на деревянных каркасах, повторяющих архитектурные формы зданий. Писатель Иван Шмелёв в своей книге «Лето Господне» описывал, как его отец готовил иллюминацию храма: «Из амбара носят в больших корзинах шкалики, площадки, лампы, шары, кубастики – всех цветов. У лужи горит костёр, варят в костре заливку. Василь Василич мешает палкой, кладёт огарки и комья сала, которого «мышь не ест». Стаканчики стоят на досках, в гнездышках, рядками, и похожи на разноцветных птичек. Шары и лампы висят на проволоках».

Чтобы украсить весь храм до самого верха, искали смельчака, который не побоится подняться



*Шкаликовая иллюминация в Москве в 1883 году по случаю коронации императора Александра III*

выше купола и расставить шкалики. «Перед Казанской толпа, на купол смотрят. У креста качается на верёвке чёрненькое, как галка. Это Ганька, отчаянный. Толкнётся ногой – и стукнется. Дух захватывает смотреть».

Чтобы устроить иллюминацию правительственных зданий, требовалось множество рабочих. Так, в 1856 году для зажжения 27000 шкаликов, установленных на Сухаревой башне, наняли 549 человек. Свои дома горожане украшали в праздничные дни сами – выставляли в окна горящие свечи. Во время посещения Москвы императором Александром I «весь город был иллюминирован и так по всем местам освещён, что едва ли был хотя один тёмный переулок; не токмо достаточные люди, но и бедные старались на перерыв друг друга каждый превзойти в освещении дома». Также в праздничные дни вдоль тротуаров расставляли площадки с горящим салом, которые давали «обычно чада и вони больше, чем огня». У детворы было забавное развлечение – перетаскать площадки ближе к своему дому.

В XIX веке практически перестали устраивать фейерверки. Но зато с появлением газового освещения распространилась мода на иллюминирование садов и парков искусственными цветами, освещёнными газом и испускающими каскады воды. С развитием новых источников света световые представления изменились, поэтому продолжение следует.



# ЛАМПОЧКА, НО НЕ ИЛЬИЧА

**Ты знаешь, что такое лампочка? Мы уверены, у тебя есть ответ на этот простой вопрос, но истина, как известно, рождается в диалоге. Поэтому кандидат физико-математических наук Сергей Муравьев и доцент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» Андрей Ольчак решили побеседовать об этом простом, но очень важном изобретении.**

**С. Е. Муравьев.** Здравствуйте, уважаемые читатели! Сегодня мы хотели бы поговорить об «осветительных» технологиях, или, говоря просто, о лампочках. Ведь человечество много сделало для их разработки.

**А. С. Ольчак.** Я бы поставил вопрос даже шире. Каждое поколение людей что-то внесло в общую копилку наших знаний и возможностей. Например, 20–40 годы XIX века дали нам железную дорогу, 90-е годы XIX века – первые автомобили и производство электроэнергии. А что даст человечеству поколение нулевых-десятых годов XXI века? Наверное, все наши достижения пока ещё рано оценивать. Но одну вещь, которую будут использовать наши потомки через 100, 200 и 1000 лет, сделало наше и предыдущее поколения. Это светодиоды.

**М.** Согласен. Но давайте поговорим не только о светодиодах, а вообще об освещении, о лампочке. Кстати, в СССР – её называли не иначе как лампочкой Ильича (в честь В.И. Ленина). Конечно, Ленин лично не делал лампочку, но существенный скачок в развитии страны произошёл в 20-е годы благодаря электрификации СССР, которую провели именно большевики. И это после революции и гражданской войны! Поэтому благодаря им в жизнь многих людей вошли осветительные технологии. Но мы будем говорить не о политиках, а об инженерах – о лампочке Яблочкова, Лодыгина, Эдисона...

**О.** Сергей Евгеньевич, а как люди освещали дома до электрических лампочек?

**М.** До начала XIX века это был открытый огонь. Свечи, лучины, потом появились керосиновые или



*Современное городское освещение*



Газовые уличные фонари



Лучина для освещения дома

масляные лампы. Кое-где в европейских городах было и уличное освещение – газовые фонари.

**О.** А что, газ уже добывали?

**М.** Нет, конечно. Использовали так называемый светильный газ – смесь водорода, метана и угарного газа, полученную при термической обработке древесины или нефти, а позже природный газ – метан. Причём были целые отрасли промышленности, выпускавшие соответствующее оборудование. Например, Вы знаете, что такое «светец»?

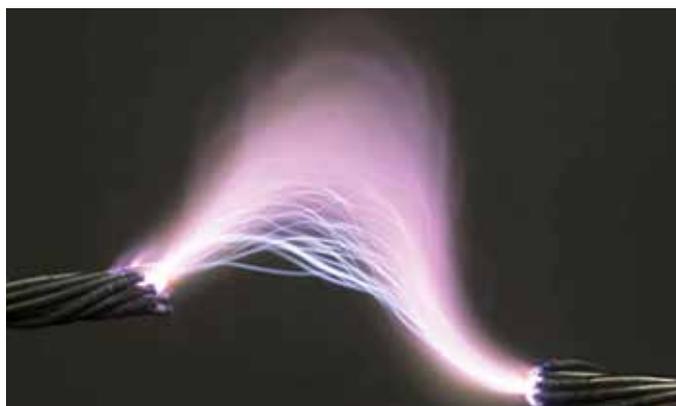
**О.** Да, слышал. На Руси так называли держатели для лучины – тонкой деревянной щепки, которая горела и освещала дома. Ведь их кто-то делал! И свечи, и лучины, и тот же светильный газ. Наверняка, в этой сфере крутились заметные деньги, ведь людям был нужен свет, и они готовы были за него платить.

**М.** Да! Но вернёмся к лампочкам. Интенсивные исследования электрических явлений в XVIII веке привели к открытию в самом начале XIX века электрической дуги – ярко светящегося ионизованного газа между двумя электродами. Первым её наблюдал, по-видимому, наш соотечественник академик Василий Петров, затем англичанин Хэмфри Дэви. В качестве источника электропитания использовался так называемый «вольтов столб» – батарея из цинковых и медных кружков (Петров использовал более 4000 пар таких «электродов»), а до этого использовали конденсаторы – «лейденские банки» – заряженные с помощью трения.

**О.** Сергей Евгеньевич, скажите два слова о дуге, не думаю, что все наши читатели знают, что это такое.

**М.** Очень интересное явление. Если в воздушном промежутке между проводниками, к которым приложено электрическое напряжение, появятся свобод-

ные электроны, и напряжение будет больше 5–10 вольт, электроны ионизируют атомы воздуха (отрывают при столкновениях атомные электроны), возникает ионизованный газ – плазма и устойчивый ток. А при рекомбинации электроны переходят на нижние атомные уровни и излучают свет в оптическом диапазоне. Интересным является также процесс поджига дуги (нужен искровой разряд), поэтому при электросварке (где используется дуга) мастер сначала уменьшает промежуток между электродами, проскакивает искра, дающая первичную ионизацию и нагревание для выхода электронов из катода



Электрическая дуга

(наверное, вы видели, что сварщик при включении электросварочного аппарата как бы постукивает

электродом по детали). Ну а потом разогрев происходит до температуры выше 5000 градусов. А при больших токах – и до 50000!

**О.** Ну и почему же этот принцип освещения не получил распространения, тем более что КПД по отношению к выходу света у такой лампы существенно выше, чем у лампы накаливания (у которой значительная доля энергии уходит не в свет, а в тепло)?

**М.** При дуговом разряде быстро выгорают электроды. И дуга гаснет. Нужно было придумать конструкцию, которая могла бы их приближать друг к другу по мере сгорания. Первую дуговую лампу сделал Фуко, а электроды сдвигал «руками». А вот первую конструкцию, где электроды не нужно было двигать, придумал русский инженер Павел Николаевич Яблочков. Его решение было до гениально просто – не надо двигать, давайте расположим электроды параллельно и разделим таким диэлектриком, который бы не давал загореться дуге сразу на всей длине электродов, но сгорал бы вместе с электродами! В 1875 году эти лампы (под названием *Lumière russe* – русский свет!) освещали центральные улицы в Париже, а в 1877 году на всемирной выставке (там же в Париже) освещали российский павильон и произвели фурор, а затем освещали улицы и других европейских городов.

переменным, а разогретые проводники будут светиться!

**О.** И этот принцип освещения был тоже испробован на заре электрической эры, в начале XIX века. Это правда?

**М.** Фактически да. Первым лампу с платиновой нитью накала сделал англичанин Уоррен Де Ла Рю в 1840 году. Потом было много других попыток. Можно назвать бельгийца Жобара, немца Гёбеля, англичанина Свана. Попытались сделать лампу более надежной, долговечной и дешевой. В 1872 году русский изобретатель Александр Николаевич Лодыгин запатентовал лампу накаливания с угольным стержнем в качестве светящегося электрода.

А потом пришло время Томаса Эдисона, который в 70–80 годы XIX века провел тысячи опытов, перепробовав 6000 комбинаций веществ, израсходовав на это (по его словам) 100 тысяч долларов, удешевляя лампочку накаливания. И хотя Эдисон ничего и не изобрёл, он сделал лампу накаливания долговечной и доступной по цене.

**О.** Я что-то слышал забавное о публичной демонстрации его лампочек...

**М.** Да, сохранились свидетельства о том, как Эдисон показывал сразу трём тысячам зрителей, как он осветил свой дом и прилегающие улицы.



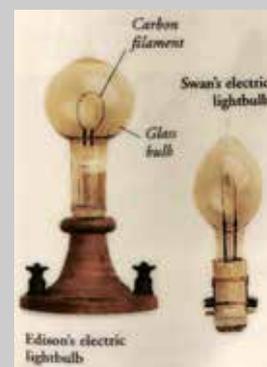
П. Н. Яблочков



«Свеча Яблочкова»



Лампа Т. Эдисона



**О.** А почему же этот тип освещения сейчас не используется?

**М.** Всё-таки электроды за несколько часов сгорали. И, кроме того, нужен постоянный ток, который труднее получать. Вот тогда инженеры вспомнили, что разогрев проводников можно осуществлять любым электрическим током – хоть постоянным, хоть

**О.** И что, все три тысячи человек зашли к нему в дом и посмотрели, как там всё освещается? Я ему сочувствую!

**М.** История умалчивает... Информация о трёх тысячах участников есть, а все ли зашли к нему домой, не знаю. Но вернёмся к его работе. Это был поиск наиболее оптимальной конструкции: материалов,

цоколя, патрона (которые почти в неизменном виде дошли до нас). В качестве светящегося элемента Эдисон использовал обугленные бамбуковые волокна (а потом более дешёвые хлопковые). Из лампочки откачивался воздух, и она запаивалась вместе с электрическими контактами и вставлялась в цоколь. Эдисон довёл продажную цену лампочки до 22 центов (от десятков долларов). Работала лампочка Эдисона 800–1000 часов – 40–50 дней непрерывной работы! Промышленность выпускала такие лампочки 30 лет почти без изменений.

**О.** Сергей Евгеньевич, я слышал такой анекдот. Якобы на пресс-конференции, посвящённой изобретению лампочки, один журналист спросил Эдисона: «Вы сделали 2000 экспериментов, и только в двухтысячном нашли, как делать лампочку, а в остальных терпели неудачу. А каково это, терпеть неудачу 1999 раз подряд?». «Молодой человек, – ответил Эдисон, – я отнюдь не ошибался две тысячи раз, создавая эту лампочку. Я просто нашёл 1999 способов, как не следует делать лампочку». Это правда?

**М.** Не знаю. Но по сути – несомненно правда. Труд инженера – это постоянный поиск того, как надо делать, и постоянные находки того, как делать не надо.

**О.** А производители свечей, масляных и газовых ламп вот так просто и сдали свои позиции? Не верится...

**М.** Вы правы, Андрей Станиславович! После появления свечи Яблочкова производители масляных и газовых ламп предприняли атаку на электрическое освещение. Во-первых, были проведены десятки исследований, в которых «доказывалось», что электрическое освещение вредно. Например, в одной из таких работ писалось: «Для жилых помещений газовое освещение является самым приятным, удобным и дешёвым. Электрическое освещение, возможно, найдёт применение для отдельных больших комнат и в парадных квартирах, но это будет таким редким исключением, что излишне обращать на него внимание. Никогда электрический свет не нанесёт ущерба газу, масляным лампам и свечам». А во-вторых, предприняли попытки улучшения газовых ламп. В 1885 году австрийский инженер Ауэр фон Вельсбах предложил новую газовую горелку («ауэровский колпачок»). Это был сетчатый колпачок из марли, пропитанный солями металлов. В момент зажигания марля сгорала, а соли образовывали твёрдый остов. Этот остов уже не горит, а накаляется горящим газом и ярко светит. Получи-



Австрийский инженер  
Ауэр фон Вельсбах



«Ауэровский колпачок»

лась газовая лампочка накаливания, но разогретая не током, а горящим газом. Сила света газовых горелок увеличилась в несколько раз, а газа потребляли они в шесть раз меньше, чем прежние горелки, и стоило такое освещение гораздо дешевле ламп Эдисона. Но фон Вельсбах сам же и «похоронил» свой колпачок. Он предложил одну из первых конструкций лампы накаливания с металлической нитью, в качестве которой он взял тугоплавкий осмий. Потом его коллеги использовали ещё более тугоплавкий вольфрам и создали до сих пор существующую фирму – ОСРАМ (ОСмий-вольфРАМ).



А. Н. Лодыгин



Лампа накаливания  
Лодыгина

**О.** А Лодыгин? Он ведь тоже использовал вольфрамовую нить?

**М.** Да, Вы правы! Александр Николаевич Лодыгин также использовал вольфрамовую нить. У вольфрама температура плавления – 3400 градусов (а чем выше рабочая температура лампы, тем боль-

ше доля видимого света в излучаемой лампочкой энергии). Сначала это было очень дорого, но уже в XX веке были существенно усовершенствованы технологии производства вольфрама, и лампы стали дешёвыми и долговечными.

**О.** А почему всё-таки лампы перегорают?

**М.** Лампа перегорает потому, что испаряется вольфрам (ведь он работает при огромной температуре). Испарившийся вольфрам оседает на стенках колбы, уменьшая её прозрачность. Это повышает температуру внутри, нить становится тоньше, а потом разрушается. При перегорании нити может даже вспыхнуть дуга, температура внутри резко повысится, лампа взорвётся. Так что и процесс перегорания лампочки очень непростой.

**О.** А как работают галогенные лампочки?

**М.** Удивительное изобретение! Они тоже являются лампами накаливания, но наполнены они галогеном – бромом или йодом, который вступает в реакцию с вольфрамом при температуре около 250 градусов. Размер лампы (а она совсем маленькая) подбирается так, чтобы стенки колбочки имели именно такую температуру. Вольфрам, испарившийся со спирали, вступает в реакцию с галогеном с образованием газообразного галогенида вольфрама. В результате стенки не загрязняются, а соединение вольфрама с галогеном разлагается при температуре 2000 градусов – около спирали. То есть вольфрам переносится назад, «заживляя» спираль. Галогенные лампы служат гораздо дольше (их время работы может достигать десятков тысяч часов – годы!).

Ещё одно достоинство галогенных ламп состоит в том, что они работают при более высокой температуре, чем обычные лампы накаливания, обеспечивая более высокий КПД по свету. Но есть у них и недостаток. Они чрезвычайно чувствительны к загрязнениям стенок колбы, их нельзя брать руками. Поверхность в местах контактов пальцев со стеклом покрывается жиром, он сгорает, свет через эти участки проходит хуже, они перегреваются, и лампа выходит из строя.

**О.** Наверное, именно поэтому галогенные лампочки сейчас помещают внутрь стеклянной колбы?

**М.** Да, именно так.

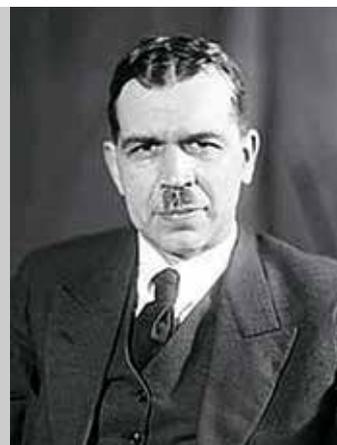
**О.** А как работают энергосберегающие лампы?

**М.** Энергосберегающая лампа ведёт своё происхождение от ламп дневного света. Помните длинные белые трубки в советских учреждениях, и каждая третья противно мерцает?



*Энергосберегающие лампы*

Принцип работы такой. Длинная трубка, в которую впаяны два электрода. С одного из них благодаря нагреванию (это делается при включении лампы) выходят электроны, разгоняются электрическим полем и ионизируют атомы ртути, которые входят в состав газа (аргон и пары ртути). При рекомбинации ионов ртути и электронов атомы излучают электромагнитные волны, главным образом, невидимый глазом ультрафиолет (98%). Но стенки колбы покрыты веществом – люминофором, который светится под действием ультрафиолета (природа – возбуждение атомных электронов с последующим каскадом переходов и излучений). Сам ультрафиолет задерживается стеклом и практически не выходит из лампы. Впервые люминесцентный эффект продемонстри-



*С. И. Вавилов*

ровал Эдисон, а первую лампу такого типа сделал американский изобретатель Эдмунд Гермер в 1926 году. Кстати, надо сказать, что очень много люминофор исследовал советский физик Сергей Иванович Вавилов. В его лаборатории были созданы разные типы люминофоров и изучены их свойства.

У энергосберегающей лампы нелинейная вольтамперная характеристика, поэтому для устойчивой работы необходим «балласт», который берёт на себя излишек напряжения. Необходим также механизм запуска. В современных энергосберегающих лампах и балласт, и механизм запуска электронные.

**О.** Сергей Евгеньевич, я опять про себя любимого. У меня дома есть лампы, которые включаются сразу, а есть, которые разгораются постепенно. И ещё. Цвет лампы может сильно меняться – от холодно-белого до тепло-жёлтого.

**М.** Действительно, есть два типа пусковых устройств, но закон не обязывает производителя указывать, какой в этой лампе. Поэтому проверить можно только после того, как купишь. Что касается цвета (или, как говорят, цветовой температуры), то всё зависит от состава люминофора – можно подобрать и холодный, и тёплый.

**О.** А они не вредные? Наверное, такие исследования есть. Но, боюсь, там много «заказного» – в интересах тех или иных производителей?

**М.** В Интернете можно найти много всякого ... С точки зрения света – энергосберегающие лампы не вредные. Там стоят электронные преобразователи, которые делают мигания лампы очень быстрыми и абсолютно невидимыми. И, кстати, насколько я знаю, у этих ламп (в отличие от ламп накаливания) есть гарантия, и их можно поменять, если они быстро выходят из строя. И работают они дольше, а потребляют в десять раз меньше энергии при том же световом потоке. Но стоят дороже. Но главное – требуют аккуратной утилизации. Если разбить колбу, то пары ртути выходят наружу, а это сильный яд. Думаю, поэтому человечество рано или поздно должно будет от них отказаться. С точки зрения света здесь всё хорошо, но с точки зрения экологии – чревато...

**О.** Нам осталось рассказать о последнем типе существующих сегодня лампочек – светодиодах, с которых мы и начали наш разговор.

**М.** Существует большой класс веществ, обладающих промежуточной между проводниками и изоляторами проводимостью – полупроводники. Благодаря небольшому количеству носителей заряда проводимостью полупроводников можно управлять с помощью добавления примесей. Можно изготовить полупроводники, в которых ток переносится в основном электронами (полупроводники n-типа), а можно сделать так, что электрический ток создают перемещающиеся по телу полупроводника так

называемые «дырки» – вакантные места, на которых мог бы быть электрон, но его там временно нет (полупроводники p-типа). Если осуществить контакт полупроводников двух типов, то в области контакта ток может течь только в одну сторону, когда и электроны, и дырки движутся к контакту, и там происходит их рекомбинация – электроны заполняют «дырки». При рекомбинации электроны теряют энергию и испускают электромагнитное излучение – свет!

**О.** А когда это явление было обнаружено? После создания чистых полупроводников, в 50-е годы?

**М.** Удивительно, но гораздо раньше! И здесь не обошлось без российских инженеров. В 1923 году советский инженер Олег Лосев в контактах металл-карбид кремния увидел слабое свечение. Конечно, никакой теории полупроводниковых переходов ещё не было, да и самого этого термина тоже. Но свечение было. Настолько заметное, что Лосев запатентовал принцип создания твердотельного источника света с низким напряжением (1927 год). Ну а затем пришла эра настоящих полупроводниковых приборов, и были созданы светодиоды, способные излучать достаточно ярко.

«Отцом» светодиодных технологий стал американский изобретатель Ник Холоньяк, родители которого эмигрировали в США в начале XX века из Закарпатья. В 1962 году он получил красное излучение на p-n-переходе арсенида галлия-фосфида. И ещё Холоньяк создал дешёвые и надёжные полупрово-

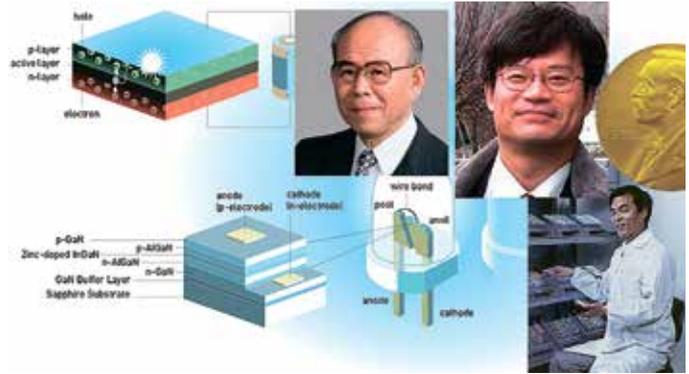


О. В. Лосев

дниковые лазеры, без которых немислим ни один супермаркет! Считыватели штрих-кодов, бытовые сканеры и многое-многое другое дало человечеству это замечательное изобретение. Холоньяк много раз номинировался на Нобелевскую премию, но не сложилось... Впрочем, ещё не вечер! Несмотря

на почтенный возраст (91 год) Холоньяк работает в своей лаборатории в Иллиноиском университете.

А потом американец Джордж Крафорд придумал дешёвый жёлтый светодиод. И к разработке светодиодов подключились крупнейшие электротехнические корпорации – Дженерал Электрик, Хьюлид Паккард, АйБиЭм. До 70-х годов светодиоды были очень дороги – 200 долларов и выше за одну маленькую светодиодную лампочку. Но в 1971 году американский исследователь Жак Панков (Яков Евсеевич Панчешников, уроженец города Чернигова) разработал технологию производства дешёвых синих светодио-



Японские исследователи Исама Акасаки, Хироси Аmano и Судзи Накамура, создавшие синий светодиод



Ж. И. Алфёров



Светодиод



Светодиодная лампочка

дов. Здесь, конечно, надо отметить и Жореса Ивановича Алфёрова, получившего Нобелевскую премию за создание гетеро-структур – чередующихся слоёв полупроводников разных типов, позволяющих эффективно излучать свет. А в начале 1990-х японские исследователи Исама Акасаки, Хироси Аmano и Судзи Накамура изобрели очень дешёвый синий светодиод и получили Нобелевскую премию в 2014 г. Теперь мы можем получать «светодиодный свет» любых цветов и оттенков.

У современных, массово выпускаемых промышленностью светодиодов световая отдача выше, чем у галогенных ламп накаливания, срок службы — 50000 часов. Для лабораторных образцов были сообщения о сроке службы в миллион часов (120 лет!) непрерывной работы со световой отдачей в десятки раз выше люминесцентных ламп. Похоже, что светодиоды в ближайшие десятилетия вытеснят с рынка и тепловые, и разрядные источники света. Кроме большого срока службы, светодиоды имеют много других достоинств: высокую надёжность, устойчивость к внешним факторам (окружающей температуре, влажности, механическим нагрузкам), малые габариты, высокий коэффициент ис-

пользования светового потока, полную экологическую безопасность из-за отсутствия ртути и стекла. И светодиоды всё активнее входят в нашу жизнь – создав качественно новые источники света. А для ностальгирующих по «лампочке Ильича» инженеры придумали светодиодные лампы, внешне очень похожие на лампы накаливания.

**О.** Так чья же всё-таки у нас теперь лампочка?

**М.** Всех! Петрова, Дэви, Яблочкова, Эдисона, Лодыгина, Ауэра, Лосева, Вавилова, Холоньяка, Алфёрова, Накамуры, и ещё многих не названных нами изобретателей. И все они дали человечеству свет. Причём такой, что его уже почти невозможно улучшить! КПД светодиодов по свету близок к единице, что означает, что энергия в них тратится только на свет, а совсем без затраты энергии свет получить в принципе невозможно. А ещё долговечность, экологичность... Можно предположить, что наши потомки (в том числе и очень далекие) будут использовать в качестве источников света светодиоды, изобретённые в конце XX и начале XXI веков. И с благодарностью вспоминать наше поколение, которому есть что предъявить суду истории!



# Кафедра «Светотехника» НИУ «Московского энергетического института»

Учеба на кафедре «Светотехника» –  
дорога из тьмы невежества к свету знаний

Кафедра «Светотехника» научила меня  
правильно подходить к решению  
поставленных задач!



Для меня кафедра «Светотехника»  
– это не только место обучения,  
но большая и дружная семья

**ОТКРОЙ  
МИР СВЕТА  
ВМЕСТЕ С НАМИ!**

**ЖДЕМ ТЕБЯ НА КАФЕДРЕ «СВЕТОТЕХНИКА»  
НИУ «МЭИ»!**

# РАССВЕТ СОВРЕМЕННОЙ ОПТИКИ

**Главный редактор журнала «Светотехника» Владимир Павлович Будаков продолжает исторический экскурс, посвященный развитию одного из самых увлекательных разделов физики – оптики.**

**В** предыдущем номере в статье «Первый оптик на земле» мы многое узнали о жизни и творчестве Альгазена (Абу Али аль Хайсам). Главное его достижение заключалось в том, что он объяснил сущность зрения – продемонстрировал, как человек видит окружающий мир. Ему удалось отделить свет от зрения, показать, что он состоит из лучей. Он же разъяснил, что есть источники света, например, солнце или факел, которые его излучают, а все окружающие предметы отражают. Далее он показал, что изображение окружающего мира формируется в глазу аналогично изображению в камере-обскуре. Результаты своих исследований он изложил в семитомной работе «Китаб аль-Маназир», которая была переведена на латынь как «Opticae Thesaurus» (Сокровище оптики) Alhazeni в 1270 году. Однако его работа осваивалась Европой почти 400 лет. Такой долгий путь теории объясняется состоянием и развитием оптических приборов того времени. Технологию иногда называют служанкой науки. Однако это близкие и необходимые отношения, дополняющие друг друга.

Первые оптические приборы были разработаны для астрономических наблюдений, необходимых для сельского хозяйства, религии, государственного управления – составления календарей. Древние получали важнейшие данные с помощью инструментов, которые по современным меркам можно считать грубыми. Тем не менее, эти наблюдения позволили провести измерения звездных позиций, определить размер земли, вывести высоту атмосферы. Это позволило людям понять, как свет проходит через атмосферу, раскрыть тайны радуги, цвета облаков и неба, изучить формирование изображений с помощью линз и зеркал.

Однако этих данных было недостаточно, чтобы дать полное описание того, что подразумевается под светом. Его природа настолько тонкая, что исследователь должен соединить свою изобретательность с инструментами высокой точности, чтобы наблюдать все мелкие нюансы, присущие свету. Для дальнейших исследований требовались инструменты, способные к гораздо большей точности измерений.

Несомненно, старейшим оптическим инструментом был простой гномон (по-древнегречески – указатель), который состоял из шеста, возведённого вертикально в земле (рисунок 1). Направление

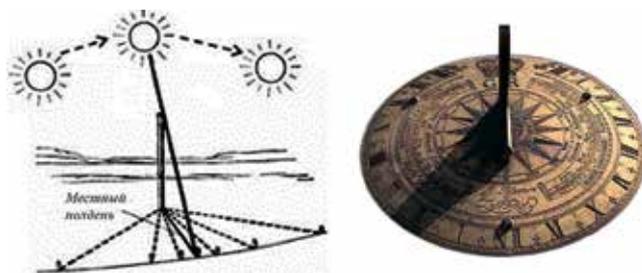


Рисунок 1. Гномон

и длина тени, отбрасываемой этим устройством, варьировались в зависимости от времени суток и времени года. Момент, когда длина тени от шеста наименьшая, соответствует полудню, а направление тени в полдень указывает на географический полюс. Широту места можно вычислить по длине тени в полдень.

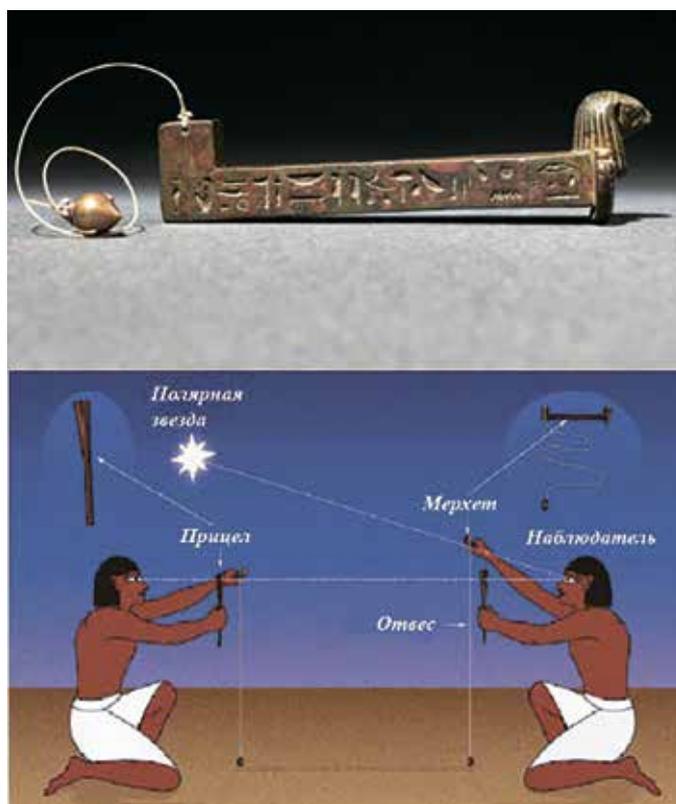


Рисунок 2. Мерхет

Другим простым инструментом был мерхет (рисунок 2), иначе ночные часы, который представлял собой «прицел» на звезду: деревянная полоса, на которой с одного конца была вырезана узкая, глубокая V-образная выемка. Наблюдатель наводил его на конкретную звезду через выемку и отвесную линию, размещенную на некотором расстоянии. Для определения времени было необходимо два мерхета, один из которых направлялся на практически неподвижную при суточном вращении звёздного неба Полярную звезду. Такой инструмент уже использовали египтяне около 5000 лет назад.

Более сложный инструмент, служащий примерно той же цели, что и мерхет, был меридиональный армиллар (рисунок 3). Это устройство состояло из бронзового кольца, закреплённого на неподвижной стойке. На его боковой грани были отметки через градус, каждая из которых разделена на пять минут. Внутри неподвижного кольца было



Рисунок 3. Меридиональный армиллар

меньшее кольцо, чтобы его можно было вращать в контакте с наружным.

Маленькие пластины были размещены на противоположных концах диаметра внутреннего кольца и служили прицелом, чтобы измерить время соединения и высоту. Меридиональный армиллар и мерхет обязательно точно выравнились с плоскостью меридиана, который можно определить путем измерения кратчайшей тени гномона.

Определение широты, как правило, осуществляется с помощью астролябии (рисунок 4) – устройства для измерения углового расстояния между двумя объектами. Она состоит из градуированной круглой пластины с базовой линией и вращающимся указателем, называемым алидадой, на которой расположены два прицела. Алидада вращается до тех пор, пока не укажет на конкретную звезду, высота которой теперь может быть считана.



Рисунок 4. Астролябия

Хотя астролябия была известна Птолемею, её широкое применение датируется примерно X веком.

Для астрономических оптических приборов не требовалось, чтобы они были портативными. Соответственно, в Средние века существовали обсерватории, которые по своим размерам были как обычные дома, расположенные на открытом пространстве, вдали от столичных районов, чтобы иметь хороший обзор горизонта.

Развитие оптических технологий в Средние века происходило и в других областях. Например, в конце XIII века в Европе стали использоваться очки. Портрет испанского кардинала Гуго де Сен-Шер, впервые разделившего Библию на главы, считается первым портретом человека в очках. Картина написана итальянским художником эпохи раннего Возрождения Томмазо да Модена в 1352 году (рисунок 5).

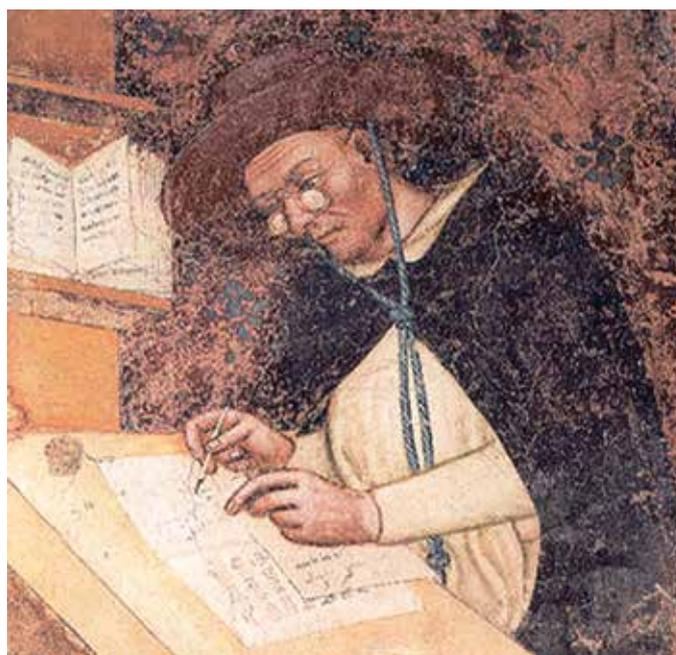


Рисунок 5. Портрет испанского кардинала Гуго де Сен-Шер

Однако имя подлинного изобретателя очков окутано тайной. Первоначально в очках использовались только выпуклые линзы, что позволяло исправить дальнозоркость – дефект зрения, при котором плохо видно близко расположенные объекты. Первое упоминание об использовании вогнутых линз в очках для коррекции близорукости сделано в середине XV века. Однако открытие полезности очков не сопровождалось значительными исследованиями теории линз или функционирования зрения.

Большинство современных оптических приборов используют стеклянные компоненты. Однако учёным точно неизвестно, как человек научился производить стекло. Существует лишь гипотеза. Древнеримский автор крупнейшего энциклопедического сочинения античности «Естественной истории» Плиний Старший написал, что финикийцы были первыми, кто начал изготавливать стекло в больших масштабах, примерно около 3500 года до н. э. В своём рассказе Плиний утверждает, что финикийские купцы обнаружили способ изготовления стекла, когда готовили еду на берегу реки. Не найдя подходящих камней для поддержки котелка над костром, они использовали комки натрона (природный карбонат натрия – сода). Они были поражены, увидев, что натрон тает под воздействием огня и стекает по песку к реке, где получившаяся прозрачная жидкость, застывая, превращается в стекло.

Эта история может быть лишь мифом, но финикийцы прославились своей посудой из стекла. Более того, их умения и опыт, кажется, не были превзойдены в течение следующей тысячи лет. Чтобы понять кажущуюся летаргию в истории производства стекла, необходимо выделить два аспекта: 1) сложность производства стекла; 2) использование стекла только для создания посуды или как произведение искусства до появления в XIV веке оптических приборов.

Осознать сложность создания стекла можно, разобравшись в технологии его производства. Стекло представляет собой сплав щёлочи (как правило, солей), извести и песка. Расплавленная смесь должна охлаждаться медленно, становясь всё более вязкой, пока не превратится в твёрдое, прозрачное вещество. Если расплавленная смесь остывает слишком быстро, то силикаты щелочей кристаллизуются и стекло получается непрозрачным и хрупким. Поэтому производство стекла требует специальной печи, в которой материалы могут постепенно нагреваться и медленно охлаждаться.

Стекло изготавливалось в два этапа. Сначала материалы смешиваются в правильных пропорциях и нагреваются. При таком способе начальной стадии реакции из смеси исключаются некоторые газообразные продукты, что способствует последующему плавлению. На второй стадии смесь, как правило, вводили во вторую печь, где нагревали в достаточной степени, чтобы расплавить. Стекло не имеет резкой точки плавления. Если плавление проводилось при недостаточно высокой температуре и не все пузырьки вышли, то стекло получалось полупрозрачным или непрозрачным. Отсюда видно, что большая часть раннего стекла была непригодна для оптических целей.

Конечно, к XI веку стеклянные линзы уже существовали и использовались в научных исследованиях. Мы отмечали, что Ибн аль-Хайсам и другие учёные исследовали преломление света в стекле. Заводы под Венецией и в Голландии предоставляли стекло для производства очков, и торговля ими процветала в Европе.

Изобретение телескопа (рисунок 6) остаётся предметом споров. По одной из версий изобретателем телескопа называется малоизвестный голландский мастер очков Ханс Липперсгей (Hans Lippershey). Упомянуто, что двое детей (возможно, Липперсгея) играли с линзами и случайно заметили, что если поместить линзы в определённое положение, то наблюдаемый сквозь них флюгер соседней церкви оказывался больше, чем обычно. Говорят, что Липперсгей повторил этот опыт и сразу понял потенциал открытия. Существуют противоречивые мнения относительно того, собрал ли он линзы в трубку, а также были ли обе линзы выпуклыми или одна вогнутой.

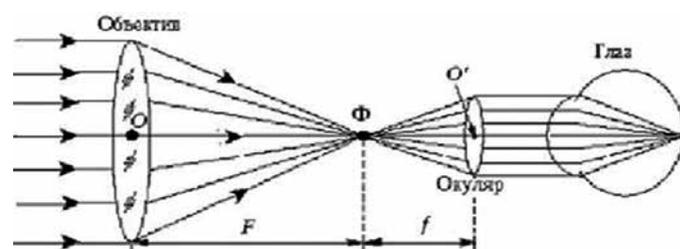


Рисунок 6. Ход лучей в телескопе

В 1608 году Липперсгей обратился к голландскому правительству с ходатайством о предоставлении ему ежегодной пенсии и патента на своё изобретение. Ему было поручено создать телескоп, что он и сделал, а его требование было поставлено на рассмотрение.

Тем временем его соотечественник Якоб Адрианзон заявил в аналогичной петиции, что он сделал телескоп, подобный изобретённому Липперсгеем, а при надлежащем поощрении может сделать лучше. Адрианзон был странным и завистливым человеком, и его утверждение, возможно, было не более чем тщетной попыткой получить некоторую форму признания. Он отказался показывать свой телескоп даже друзьям, а перед смертью уничтожил свои инструменты, чтобы его преемники не могли воспользоваться его усилиями. Его претензии были сочтены не более чем блефом. Ещё одним претендентом на изобретение был мастер очков Захарий Янсен из Голландии. Его сын утверждал, что изобретение было сделано в 1590 году, но другие датировали его 1611 годом.

Из-за возникшей путаницы патентные права на телескоп Липперсгея были отклонены. Однако новость о новом инструменте быстро распространилась, и к 1609 году телескопы были доступны для покупки по всей Европе.

Неудивительно, что микроскоп (рисунок 7) был изобретён, по существу, одновременно с телескопом. Одним из первых возможных его создателей упоминается Захарий Янсен, но, как и в случае с телескопом, существует несколько претендентов на статус изобретателя микроскопа. Джордж Хюфнагель из Франкфурта сделал такое заявление и опубликовал несколько гравюр насекомых в 1592 году, возможно, нарисованных с помощью

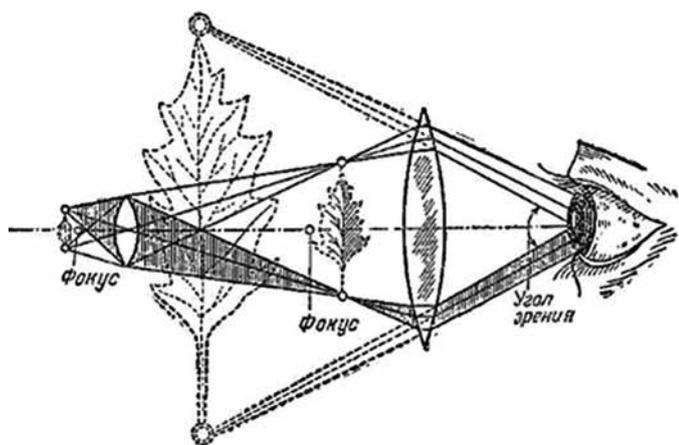


Рисунок 7. Ход лучей в микроскопе

микроскопа. Франсуа Фонтана также претендовал на честь создателя микроскопа в 1618 году.

Воздействие телескопа на науку было практически мгновенным, а микроскопа – оказалось на удивление медленным. Значение микроскопа было раскрыто в трудах голландца Энтони ван

Левенгука, который родился в Делфте 24 октября 1632 года. Энтони учился на мастера льняного полотна в Амстердаме, затем вернулся в Делфт в 1654 году и основал магазин. В какое-то время Левенгук заинтересовался микроскопическими наблюдениями и в 1673 году опубликовал в «Философских трудах» письмо о наблюдениях за укусом, частями рта и глазом пчелы и вшей. Эти наблюдения принесли ему известность, и в 1680 году он был избран членом Королевского общества. Многие учёные и знаменитости посещали его, чтобы увидеть микроскопический мир.

Оптические инструменты, использующие стеклянные компоненты, стали обычным явлением. Можно сказать, что быстрые успехи в понимании природы света в течение XVII века в значительной степени объясняются наличием стеклянных компонентов.

К IX веку такие города, как Венеция и Неаполь, (позже Пиза и Генуя) уже вели торговлю по всему восточному Средиземноморью. В конце XI века начались Крестовые походы, а в XIII веке Марко Поло посетил Монгольскую империю. Эти события сблизили людей из разных концов света и позволили Европе узнать об арабских открытиях и тех эллинистических достижениях, которые они сохранили. В то же время ренессанс образования распространился по всей Европе.

Изучение оптики было одной из доминирующих отраслей науки, которая процветала с эпохи Возрождения. Следует признать, что некоторые учёные основывались на философских и метафизических рассуждениях, а не на физических исследованиях. Например, святой Августин и другие неоплатоники считали свет просветлением человеческого интеллекта божественной истиной.

Одним из первых, кто применил научные методы к изучению оптики, был Роберт Гроссетест (1170–1253), основатель оксфордской философской и естественнонаучной школы, теоретик и практик экспериментального естествознания. Хотя многие его взгляды также основывались на метафизических концепциях.

Другим исследователем оптики того времени был Витело из Польши, который экспериментально определил новые значения для углов преломления света, проходящего между воздухом, стеклом и водой. Он, вероятно, отметил, что синий свет преломляется больше, чем красный, а также участвовал в обсуждении психологии зрения, показав заме-

чательную проницательность. Тем не менее, большая часть его работ отражала исследования Ибн аль-Хайсама.

Роджер Бэкон превзошёл своих современников, демонстрируя немалую оригинальность. Его деятельность охватила все аспекты науки, включая пророчества морского и сухопутного механического транспорта, полёта с воздуха и исследования подводных лодок. Он указал на важность эксперимента. Например, он рассекал глаза позвоночных, пополнив таким образом знания о зрительных нервах. Он экспериментировал с линзами, чтобы улучшить зрение. При этом Бэкон полагал, что все отрасли науки подчинены богословию, утверждая, что знание состоит из внутреннего рода, который имеет божественное происхождение, и практического вида, который приобретается путём наблюдения и эксперимента.

Одним из наиболее известных деятелей науки эпохи Ренессанса был Леонардо да Винчи (1452–1519). Он не имел регулярного образования и считается беспорядочным и бессистемным мыслителем, но диапазон его интересов и большая наблюдательность сделали возможным многочисленные открытия и немалый вклад в науку. Должно быть, он почерпнул знания греческих философов и, вероятно, был знаком с некоторыми работами Ибн аль-Хайсама.

Однако его анатомические наблюдения были непревзойдёнными – он познакомился со строением глаза и функцией его частей. Леонардо воспринимал глаз как форму камеры-обскуры. Также его интересовали проблемы перспективы, поэтому он изучал геометрическую и физическую оптику. Тем не менее, научные достижения Леонардо были минимальными из-за отсутствия научного метода. Его помнят в первую очередь как одного из самых ярких наблюдателей природы всех времён.

Ренессанс ознаменовался не только многочисленными научными достижениями, но также и общим интеллектуальным прогрессом во всех областях жизни. Так, около 1450 года Иоганн Генсфляйш Гутенберг начал печатать книги с использованием подвижных литер, что сделало книги широко доступными. В 1492 году Христофор Колумб, уверенный в расчётах Птолемея о размере земного шара и желающий найти ещё один маршрут к Китаю (альтернативное историческое название Китая), который описал Марко Поло, отправился через Атлантический океан. Человек эпохи Ренессанса искал своё место в схеме вещей.

К концу XIII века во Франции была создана почтовая система, а к середине XVII века работала в Германии, Италии, Англии и Америке. XVII век в Европе характеризуется также политическими потрясениями. Оливер Кромвель (1599–1658) поднял восстание, которое принесло радикальные изменения в английскую нацию. Не менее важным событием было распространение протестантизма, которое началось с Мартина Лютера (1483–1546) в 1517 году. Отношение человека к своей судьбе, безусловно, пересматривалось.

Изобретение телескопа оказало радикальное воздействие на науку. Однако похвалы за такой поворот событий достались не изобретателю телескопа, а Галилео Галилею (рисунок 8). Именно его

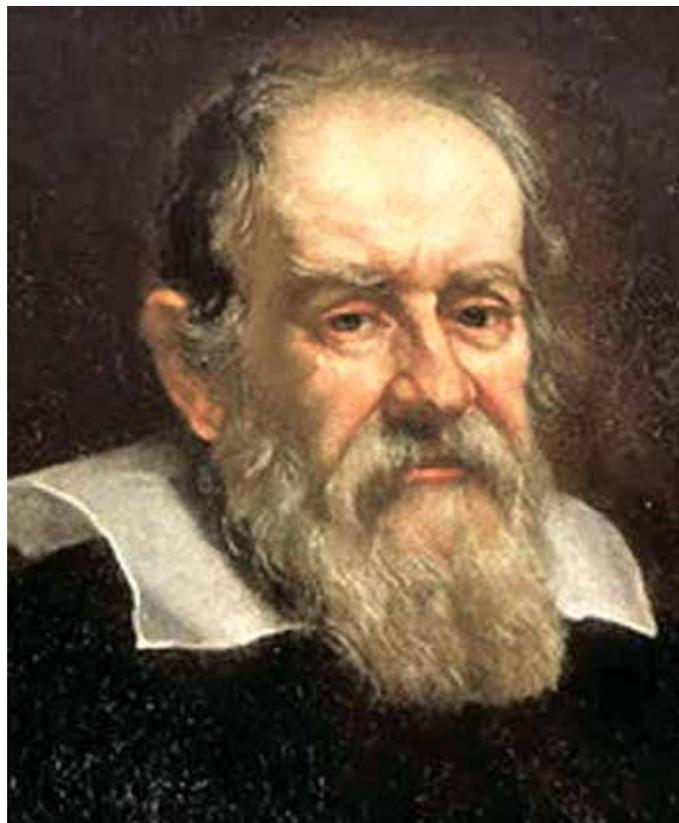


Рисунок 8. Галилео Галилей

замечательные наблюдения подарили научному методу новые перспективы развития.

Галилей родился 15 февраля 1564 года, первым ребёнком в довольно состоятельной семье. Его предки участвовали в работе демократического правительства Флоренции в XIV веке, проявили себя в медицине и праве. Тем не менее, состояние семьи было сильно растрчено ко времени рождения Галилея. Его отец был торговцем, но интеллектуально развитым человеком. Начальное образование Галилея было гуманитарным – в сентябре

1581 года он поступил в Пизанский университет как студент-медик, но Галилей проявлял мало интереса к медицине и не получил диплом врача.

Летом 1583 года Галилея познакомили с математикой, что очень взволновало молодого человека. Вскоре он начал самостоятельно проводить математические исследования, что неизбежно привело к увлечению физикой, которая в то время опиралась на аристотелевскую телеологическую метафизику. Однако, вероятно, после открытия им в 1583 году постоянства периода маятника, он проникся духом исследования путём прямого эксперимента.

Галилей впервые услышал о телескопе в мае 1609 года. В то время ему было 45 лет, он работал профессором математики в Падуе. Во время посещения Венеции Галилей узнал, что голландец сконструировал инструмент, который позволил видеть объекты на большом расстоянии, как будто они рядом. Галилей немедленно приступил к изготовлению собственного телескопа. Как он пришёл к пониманию сложных принципов работы телескопа неясно – до этого времени он никогда не занимался оптическими исследованиями.

Первоначально телескоп был признан за его очевидное военное применение. Однако Галилей повернул свой телескоп к звёздам. Он узнал, что у Луны была неровная, гористая поверхность, а в окрестностях Юпитера обнаружил три «звёзды» – сначала он предположил, что они были фоном на небе, однако спустя ночь заметил, что их положение изменилось, и к ним присоединилась четвёртая! Продолжение наблюдений подтвердило, что эти «звёзды» были спутниками Юпитера. Он также отметил, что Млечный Путь состоит из множества звёзд, на самом деле «числом совершенно не поддающееся определению».

Галилей опубликовал результаты своих наблюдений в марте 1610 года, вызвав сенсацию среди учёных. Спустя год он отправился в Рим, чтобы продемонстрировать свои инструменты церковным властям. Кстати, именно в это время появился термин «телескоп». Сам Галилей использовал термин *perspicillum*. Название «телескоп» предложил греческий математик Иоаннис Димисианос.

Галилей был принят с величайшей радостью папой, кардиналами и учёными людьми. Он был уверен в доброй воле церкви. Галилей вернулся в Венецию в начале июня 1611 года, уверенный в своём успехе. Политика и религия – темы, которые часто вызывают эмоции за пределами интеллектуального

понимания. Однако его публикации встретили сильную оппозицию и негативную критику. Фанатичные последователи Аристотеля априори отрицали его наблюдения. Последовавшие за этим несчастья horribly известны и не требуют подробного описания.

Вклад Галилея в науку практически не имеет себе равных. Научная революция в физике начинается именно с него. Хотя скептик может утверждать, что его непосредственный вклад в оптику был минимальным, нельзя упускать тот факт, что гениальность Галилея взрастила семена последующих исследований.

Рене Декарт (рисунок 9) родился 31 марта 1596 года в Ла-Э-ан-Турен. Его детство и юность прошли в большом достатке, и он унаследовал хорошее

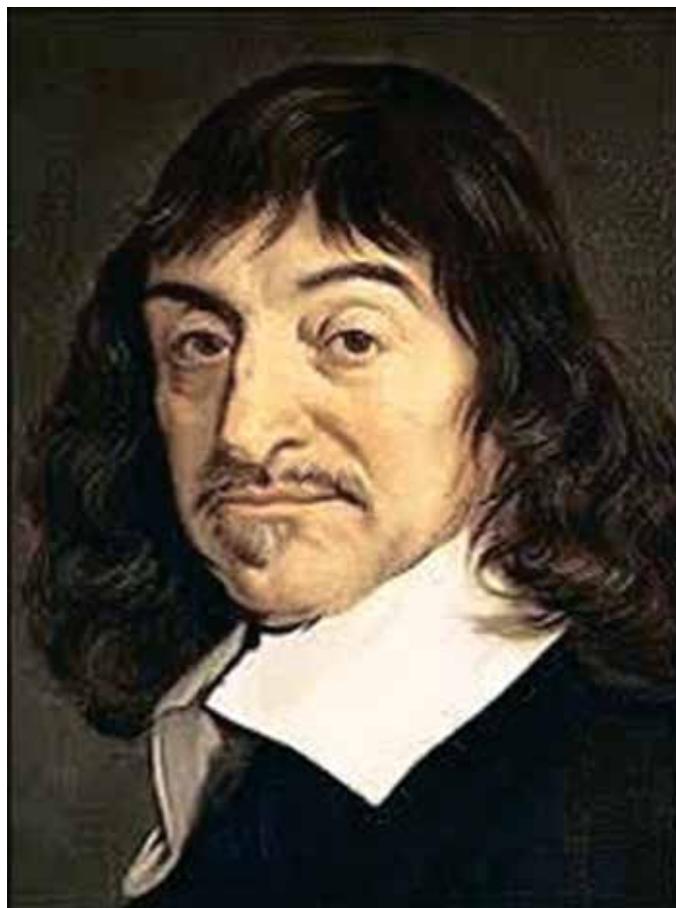


Рисунок 9. Рене Декарт

состояние. Таким образом, Декарт вырос до зрелого возраста, несколько не обращая внимания на политическую суровость того времени. Он был наполнен современным духом, стремясь вкусить жизнь в полной мере.

Декарт известен, прежде всего, своими новаторскими работами в области аналитической геометрии – мы до сих пор строим уравнения с использованием декартовых координат. Однако его вклад

в оптику также имел большое значение. Он первым объяснил природу радуги на основе преломления света в капле под определённым углом. Он изучил формирование изображений с помощью линз и показал, что асферическая поверхность будет лишена сферической аберрации.

В этих исследованиях Декарт исследовал закон преломления. Тем не менее, Виллеброрд Снелл (1591–1626) был первым, кто сформулировал этот закон в 1621 году. Снелл, математик из Лейдена, занимался определением радиуса Земли с помощью триангуляции и, возможно, даже не придавал большой ценности выводу закона преломления. Более того, он вывел закон с точки зрения соотношений длины, которые можно интерпретировать как соотношение сторон. Вопрос состоит в том, знал ли Декарт о работе Снелла. Конечно, он был первым, кто выразил закон преломления как отношение синусов, сделав это в 1637 году.

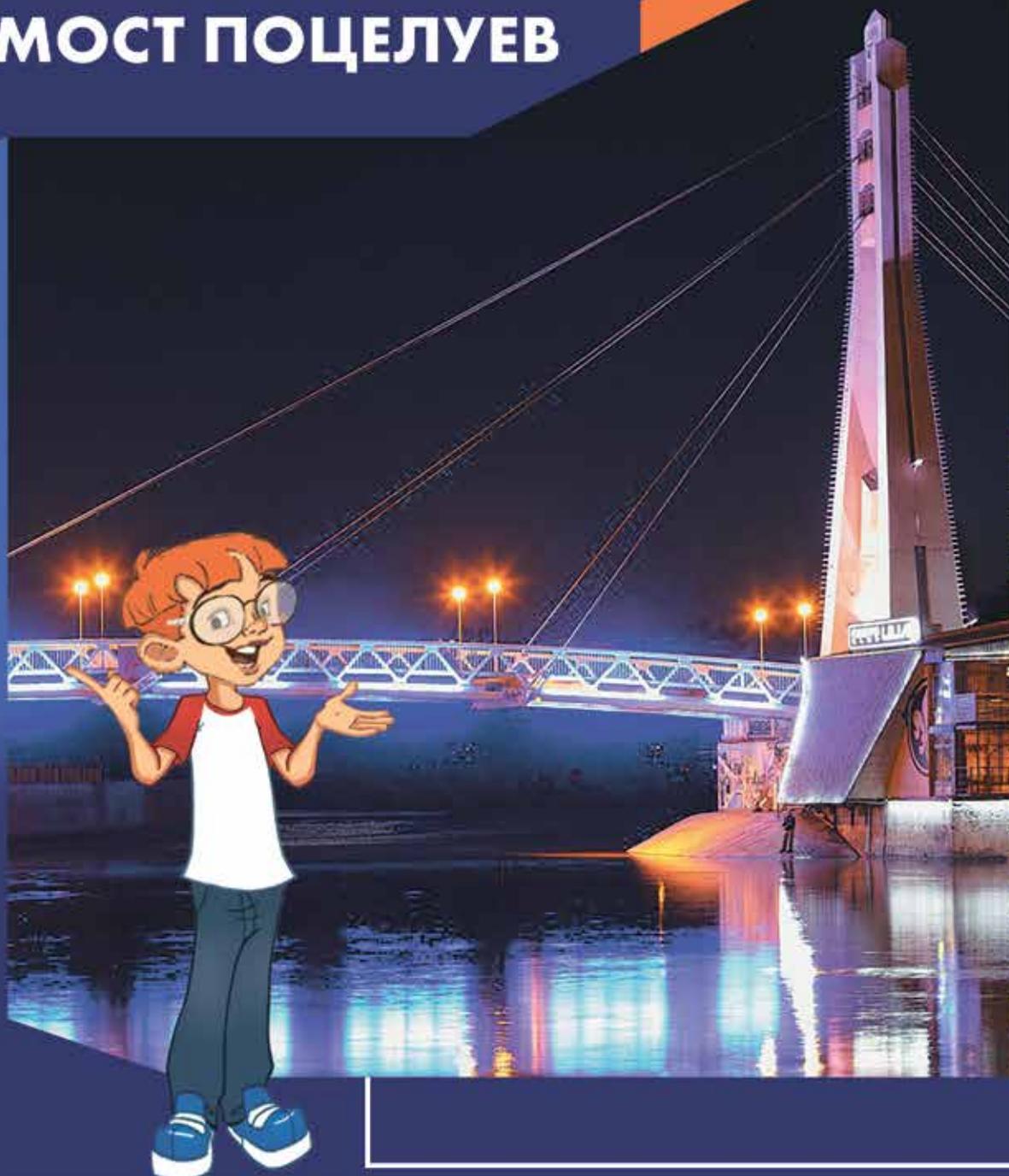
Декарт основывал свои выводы относительно закона преломления на механических аналогиях. Он считал, что свет состоит из частиц, которые ускорялись вдоль нормали к поверхности при входе в более плотную среду. В результате увеличение скорости привело к использованию синусов. Некоторое время спустя земляк Снелла, Кристиан Гюйгенс (1629–1687), предложил волновую теорию света, в которой скорость будет уменьшаться в более плотной среде. Это привело к тому же закону, но технология XV века не могла решить, увеличивается или уменьшается скорость света в более плотной среде. Гюйгенс имел доступ к заметкам Снелла и настаивал на том, чтобы его соотечественник удостоился чести установить закон преломления. По-видимому, было некоторое подозрение, что Декарт действительно сделал плагиат открытия Снелла, и этот закон сегодня известен как закон Снелла. Точная формулировка закона преломления позволила существенно усовершенствовать оптические приборы, которые тогда стали играть огромную роль в астрономии и навигации, а вскоре и в микроскопии.

Можно с уверенностью сказать, что современные научные исследования, начатые Галилеем и продолженные Декартом, расцвели в XVII веке. Кстати, именно тогда открытия отдельных исследователей стали более редкими. Между образованными людьми возник широкий взаимный обмен идеями. Возможно, именно поэтому наука начала расцветать в XVII веке.



Как красива река в декорациях лета  
«Светосервис-Кубань» нёс романтику света!

## МОСТ ПОЦЕЛУЕВ



# СВЕТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

**Думаю, вам давно известно, что Землю окружает своеобразный «газовый купол», который называется атмосферой. Она отделяет нашу планету от космоса, а также влияет на погоду и климат на поверхности Земли. Однако, что она из себя представляет? Из чего состоит? В этом материале научный сотрудник Германского Аэрокосмического Центра Дмитрий Сергеевич Ефременко расскажет о дистанционном определении газового состава атмосферы!**

Гуляя по улице в ясный день, посмотрите на небо и улыбнитесь – вас снимает камера! Точнее не просто камера, а специальный оптический прибор под названием «спектрометр». Он находится на борту искусственного спутника Земли. Но не обольщайтесь – не вы ему интересны. Вас даже нельзя разглядеть на изображениях, полученных с помощью этого спектрометра. Зато можно буквально увидеть состав атмосферы: сколько, где и каких газов, пыли, вредных выбросов. Всё это видит вездущий оптический прибор. Речь в этой статье пойдёт об одной из самых завораживающих современных технологий – дистанционном зондировании атмосферы Земли из космоса. Оговоримся сразу, что дистанционное зондирование – это многогранная отрасль с множеством приложений: картография, геодезия, урбанистика и даже сельское хозяйство. Мы же с вами рассмотрим одно направление – дистанционное определение газового состава атмосферы. Это направление находится на пересечении нескольких наук естествознания, хотя порой мне кажется, что и без криминалистики здесь не обойтись...

## Что такое дистанционное зондирование?

Дистанционное зондирование – это получение информации о свойствах удалённого объекта без непосредственного контакта с ним. В некотором смысле можно считать, что, подглядывая в тетрадь соседа по парте, вы не просто списываете, а дистанционно получаете информацию. Конечно, если речь идёт о более удалённых объектах (и цели у вас более научные), без специальной аппаратуры не обойтись. Галилео Галилей был одним из первых учёных, использовавших телескоп для изучения Луны, Сатурна, Венеры, спутников Юпитера и других объектов. Наверное, он себе не представлял, что через

несколько столетий мы будем не только наблюдать космические объекты с Земли, но и изучать Землю с помощью оптических устройств, расположенных в космосе.

Чтобы получить информацию об объекте, мы должны его подсветить (ведь трудно списать решение, когда в комнате выключен свет). Хорошо, что в нашем распоряжении очень мощный источник света – Солнце! Поэтому наш оптический прибор, спектрометр, на борту спутника улавливает тот солнечный свет, который отразился от атмосферы или поверхности Земли. Такой метод дистанционного зондирования называется пассивным, поскольку мы сами никак не подсвечиваем исследуемый объект. При активном дистанционном зондировании мы используем рукотворные источники света, например, лазер. В атмосферу запускают лазерный импульс и затем измеряют отраженный сигнал.

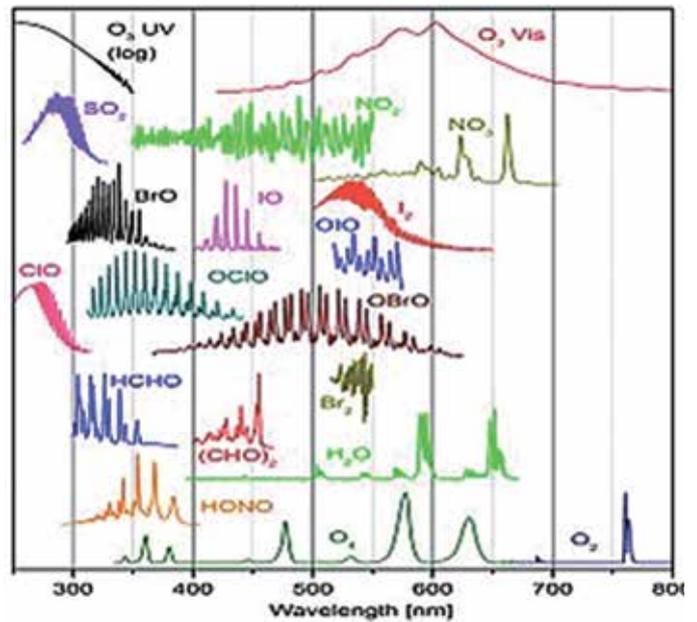
Свет нам нужен, чтобы он побывал в атмосфере, а возвратившись, рассказал нам, из чего она состоит и что в ней происходит. Только говорит с нами свет на своём языке, и понять его бывает не так просто (примерно как разобрать, что написано в тетрадях некоторых школьников). Тем не менее, постараемся.

Сразу оговоримся, что по нашим представлениям свет может вести себя то как волна, то как частица – в зависимости от ситуации. Например, если свет на своём пути встречает препятствие, он может, как волна, обойти его. Но есть случаи, когда свет превращается в поток шариков (фотонов), которые обладают импульсом и могут даже оказывать давление на освещаемую поверхность. Такой уж свет двойственный по своей природе (впрочем, как и любой материальный микроскопический, т.е. очень маленький объект). Фотон обладает энергией, которая определяет его цвет – фотоны синего света имеют большую энергию, чем фотоны красного света.

Давайте же проследим историю жизни фотона (частицы света) с момента его рождения на Солнце до попадания в спектрометр. Благодаря реакциям термоядерного синтеза в ядре Солнца синтезируется огромное количество энергии при температуре 15 млн градусов. Видимая нами поверхность Солнца разогрета почти до температуры 6000 градусов, с которой фотоны улетают в космос. Преодолев почти 150 млн км за 8 минут, поток фотонов достигает атмосферы Земли и несёт с собой почти 1,5 кВт мощности на квадратный метр (это примерно раз в 30 меньше мощности конфорок электроплиты на квадратный метр). Кстати строго научно определить границу атмосферы не так уж и просто. Концентрация молекул воздуха плавно убывает с высотой, и однозначной границы атмосферы не существует.

Попавший в атмосферу фотон встречают молекулы газа, частицы аэрозолей, капли облака. Фотон может рассеяться, то есть изменить направление своего движения, или поглотиться. В последнем случае его энергия переходит молекулам газа. Оказывается, что молекулы определённого газа могут поглотить фотоны только определённых энергий. В таких случаях говорят, что такой-то газ непрозрачен для фотонов с такой-то энергией. Каждый газ обладает набором значений таких энергий, называемым спектром поглощения. Он уникален для каждого газа, подобно тому, как каждый из нас обладает неповторимыми отпечатками пальцев. Часть фотонов, которые не были поглощены, с некоторой вероятностью отражаются от поверхности Земли и вновь достигают верхней границы атмосферы, где их ожидает наш спектрометр на спутнике. Спектрометр измеряет энергии отражённых фотонов, раскладывая полный поток по цветам в спектр, примерно так же, как стеклянная призма раскладывает солнечный свет в раду. Так как газы оставили свои уникальные следы поглощения (отпечатки пальцев), спектр в целом содержит информацию о том, сколько какого газа содержится в атмосфере. Именно так свет пытается нам рассказать о составе атмосферы. Только вот понять его – непростая задача.

Рассмотреть отпечатки пальцев – непростая задача. Тут без лупы не обойтись. Так же и в случае с газами, их следы – то есть спектры – измеряются в очень узких спектральных интервалах (порядка 10 нанометров – то есть одной миллионной сантиметра, притом, что наше зрение работает



Коэффициенты поглощения различных газов

в диапазоне 380–780 нм), зато с очень мелким спектральным шагом. Благодаря этому удаётся очень хорошо распознать тонкую структуру следов поглощения в спектре (рассмотреть отпечатки пальцев) и определить содержание интересующего газа.

Вообще же, расшифровка спектра – это настоящая детективная работа. Мы должны как следователи внимательно изучить основные улики (измеренный спектр). Некоторые обстоятельства мешают объективному расследованию. К примеру – облака. Они запутывают наших агентов-фотонов, удлиняют их путь, а то и вовсе поглощают их, делая спектр более гладким, – в результате «отпечатки пальцев» становятся размытыми. Для фотонов в видимом диапазоне не так просто увидеть, что находится под облаком. Чтобы исключить влияние облаков, изучают другие спектральные интервалы. Здесь на помощь к нам приходит ценный свидетель – кислород! Его концентрация в атмосфере постоянна, а распределение хорошо изучено (знаете таких соседей, которые постоянно сидят у подъезда и всё про всех знают – они просто незаменимы в любом



Отпечаток человеческого пальца

расследовании). Поэтому дополнительно измеряется спектр поглощения кислорода (в районе 750 нм), на который влияние оказывают облака. По этому спектру можно определить влияние облака на спектр в целом и сделать соответствующие поправки. Вот такие комплексные следственные мероприятия!

В результате расшифровки спектра мы можем определить, сколько того или иного газа было над областью, над которой пролетал спутник. Отметим, что наш спектрометр смотрит по сторонам, в результате чего мы получаем информацию вдоль траектории спутника в некоторой полосе. Ширина полосы обычно около 2000 км. У спектрометра есть матрица – такая же, как у цифрового фотоаппарата. Она и улавливает поток фотонов и преобразует его сначала в электрический сигнал, а потом в числовые значения. У современных спектрометров один пиксель (ячейка) такой матрицы соответствует участку примерно 5 x 5 км земной поверхности. Это значит, что ориентировочно с таким пространственным разрешением можно измерять газовые концентрации. Таким образом, пролетая над Москвой площадью 2500 км<sup>2</sup>, спектрометр на спутнике измеряет концентрацию в 100 местах.

## Для чего нужно знать состав атмосферы?

Вам, наверное, известно, что наша атмосфера в основном состоит из азота (78%), кислорода (20%) и аргона (1%). Это так называемые постоянные атмосферные газы. Оставшийся один процент приходится на водяной пар, озон, углекислый газ, ксенон и другие газы. Несмотря на свои малые концентрации, их роль крайне велика. По сути, дистанционное зондирование, о котором мы говорим, относится только к этому 1 проценту газов.

Некоторые газы, называемые парниковыми, оказывают сильное влияние на климат планеты. К числу парниковых относятся углекислый газ, водяной пар, метан и озон. Солнечный свет в видимом диапазоне без поглощения проходит через парниковые газы и нагревает Землю. Как любое тело, обладающее температурой, Земля тоже излучает, но уже в инфракрасном диапазоне – его мы увидеть не можем, зато можем ощутить тепло от инфракрасного обогревателя. Тут-то и проявляется сущность парниковых газов – они поглощают инфракрасный свет, по сути, запирая его в атмосфере, – то есть действуют по принципу «всех впу-

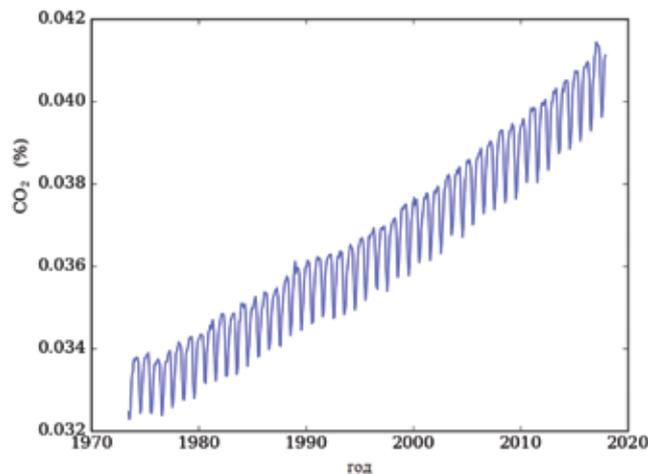
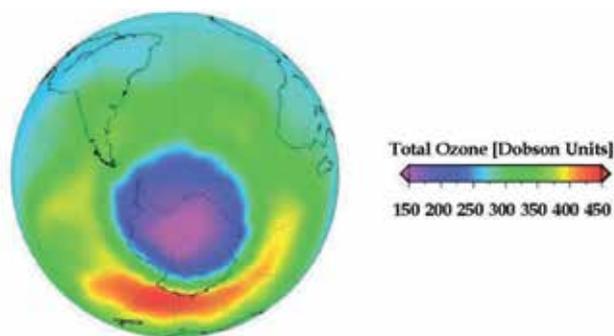


График Килинга – концентрация углекислого газа в атмосфере



Озоновая дыра в Антарктиде в 2017 году

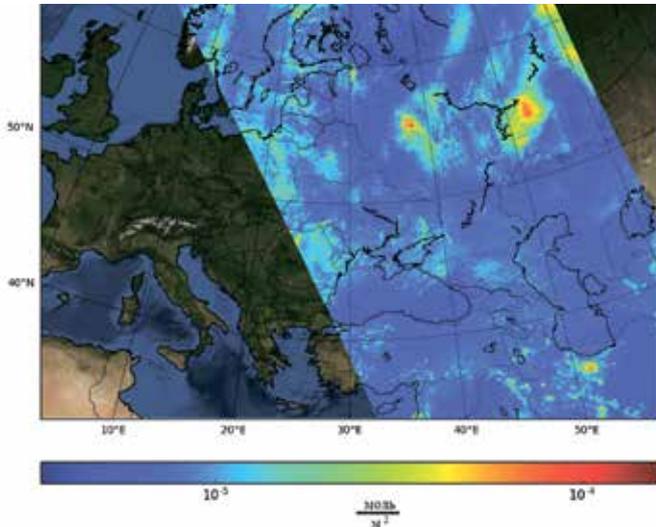
скасть, никого не выпускать». Это приводит к нагреванию планеты. Некоторые учёные опасаются так называемых положительных обратных связей по водяному пару и углекислому газу. Действительно, повышение температуры усиливает испарение океана, что приводит к повышению концентрации водяного пара. Также с ростом температуры из океана выходит углекислый газ – то есть падает растворимость углекислого газа в океане. В результате концентрация парниковых газов увеличивается и парниковый эффект усиливается. Однако если бы парникового эффекта не было, средняя температура на земле была бы ниже градусов на 40, и наступил бы ледниковый период. Как бы то ни было, на протяжении нескольких десятилетий содержание углекислого газа в атмосфере неуклонно увеличивается, как видно на так называемом графике Килинга.

Один из парниковых газов – озон – чрезвычайно важен для жизни на Земле. Он поглощает ультрафиолетовую часть солнечного спектра. Фотоны тут обладают большими энергиями и могут быть опасны для нас. В этой связи опасение вызывает уменьшение концентрации озона и появление озо-

новых дыр над полюсами Земли. Сам озоновый слой крайне разреженный – концентрация озона составляет несколько молекул на миллион молекул воздуха. Максимальная концентрация находится на высоте от 20 до 40 км. Но если переместить весь озоновый слой на уровень моря, сконцентрировать до атмосферного давления при температуре 0 градусов Цельсия, мы бы получили слой толщиной всего 3–4 мм. На процессы образования и распада озона влияет множество факторов

## А зачем нужны спутники?

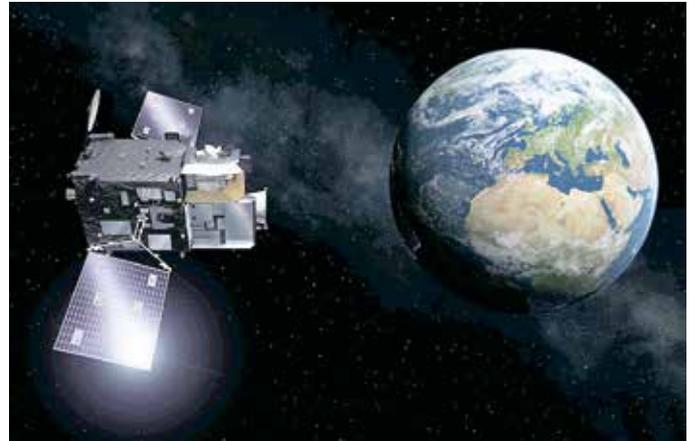
Ещё в XIX веке возникла идея фотографировать поверхность Земли с помощью фотоаппаратов, размещённых на воздушных шарах, прежде всего, для исследований рельефа. Предвестником же космической эры дистанционного зондирования был Константин Эдуардович Циолковский, который в начале XX века описал мысленный эксперимент наблюдения Земли из космоса:



Озоновая дыра в Антарктиде в 2017 году

(например, оксиды азота и галогены). Кстати, этот наш защитник от солнечной радиации сам по себе ядовитый газ (шах и мат вам, озонотерапевты). Поэтому озон в тропосфере (в нижней части атмосферы, где мы живем) считается загрязнителем. Доводилось ли вам слышать слова после дождя «Дышите глубже озон»? К счастью, землистый запах дождя – петрикор – не имеет к озону отношения. Поэтому так важно контролировать факторы, приводящие как к образованию, так и распаду озона. И делать это надо круглосуточно и глобально.

Выхлопы и вредные выбросы могут существенно ухудшить здоровье людей. К примеру, диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ) – ядовитый газ – приводит не только к кислотным дождям, но и к проблемам с легкими и кровью. На рисунке показано, как диоксид азота виден из космоса с помощью спектрометра после расшифровки измеренных спектров. Можно видеть две зоны загрязнения (два красных пятна) над Москвой и Нефтекамском. С помощью дистанционного зондирования оказывается возможным оценивать загрязнение атмосферы, а также эффективность мер по снижению вредных выбросов.



Озоновая дыра в Антарктиде в 2017 году

«С ракеты виден громадный шар планеты в том или другом фазисе, как Луна. Видно, как поворачивается шар, как показывает в несколько часов все свои стороны последовательно. Чем он ближе к ракете, тем громаднее кажется, тем вогнутая, распротёртая по небосклону форма его причудливей, тем более блестя она даёт своему спутнику (ракете), тем последний крутится скорее вокруг своей матери – Земли».

Сейчас у Земли примерно 1500 действующих искусственных спутников, из которых около 400 предназначены для наблюдения за Землёй. Большинство спутников низкоорбитальные – летают на высоте 800–900 км, где сопротивление воздуха уже пренебрежимо мало. Летают они на первой космической скорости (почти 8 км/с). Находясь на низкоорбитальной орбите, спектрометры обладают полем зрения 1000–2000 км. Пока спутник кружит вокруг Земли, она вращается. Из-за этого траектория спутника пересекает экватор в разных областях (на разной долготе), и за несколько оборотов спутник пролетит над всей поверхностью Земли. Это очень удобно – представьте себе – за 24 часа увидеть всю поверхность Земли! Другие спутники летают на геостационарных орбитах – на высоте примерно 36000 км. Период вращения спутника на такой высоте равен 24 часам. Это означает, что



*Изображение Земли и луны, полученное со спутника EPIC/DSCOVR, находящегося в точке Лагранжа*

спутник вращается вместе с Землёй и он как бы висит над определённой областью Земли. И вы можете круглосуточно наблюдать за одной и той же областью. Есть также особая категория спутников, которым посчастливилось летать на расстоянии миллион километров от Земли – в одной из так называемых точек Лагранжа. В них силы гравитации Земли и Солнца, действующие на спутник, уравновешиваются центробежной силой, и спутник сохраняет своё положение относительно Земли и Солнца. С такого спутника можно увидеть сразу всю освещённую Солнцем поверхность Земли и запечатлеть сиюминутные распределения газов, облаков и аэрозолей.

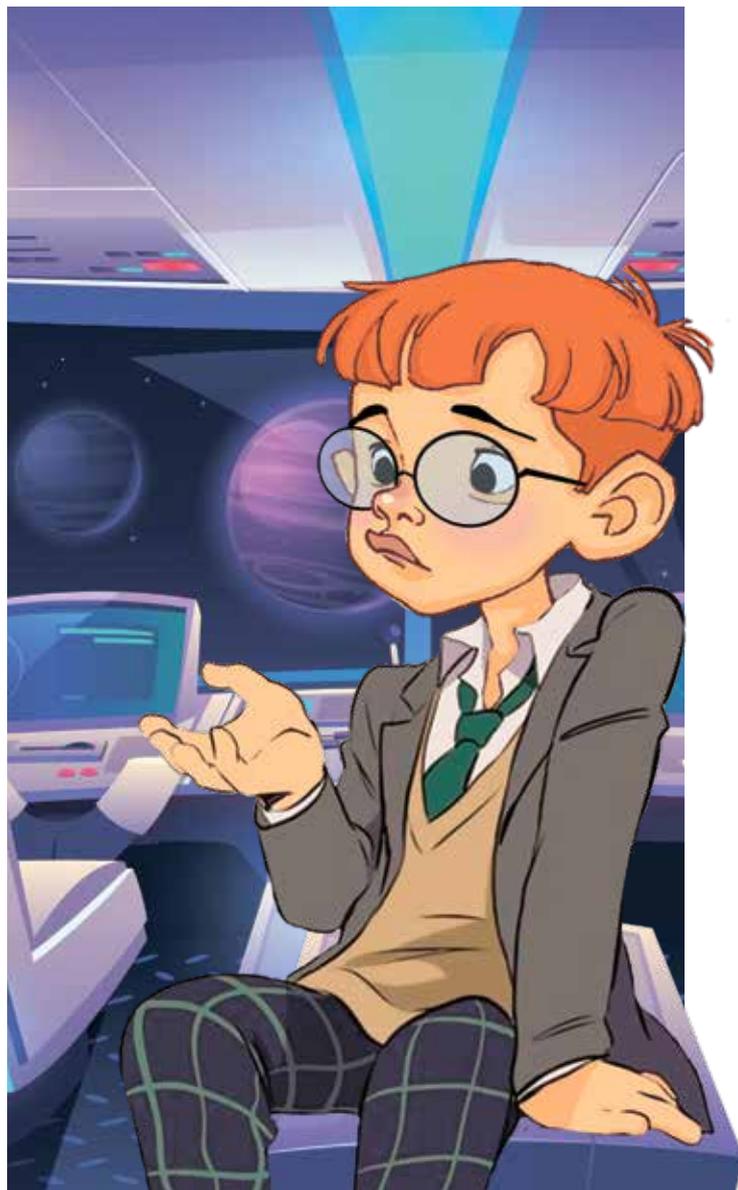
Представляете, сколько бы станций наземного наблюдения понадобилось, чтобы охватить весь земной шар? Данные могут быть получены даже из труднодоступных мест, где проблематично из-за политических или естественных причин поддерживать метеорологические станции. Парадоксально, но факт: стоимость наблюдения одного квадратного километра земной поверхности оказывается дешевле с помощью спутников, чем наземными методами наблюдения. Кроме того, спутники летают круглосуточно, обеспечивая непрерывный глобальный мониторинг атмосферы.

## Измерили концентрацию газов. Что дальше?

Полученные данные о составе атмосферы сохраняются в архивах и далее анализируются специалистами. В последнее время наблюдается тенденция

делать доступными всем данные дистанционного зондирования. Так что учёные из разных отраслей могут работать с одними и теми же данными, изучая их под разными углами зрения. Имея архивы долгосрочных наблюдений, можно оценить эффективность соглашений по защите климата.

Возможность проводить наблюдения в глобальном масштабе способствовала развитию науки о системе Земли, которая рассматривает всю планету, включая человечество, как целостную систему. Здесь уместно вспомнить идеи Владимира Ивановича Вернадского и Эдуарда Леруа о ноосфере как о «мыслящей оболочке», в которой общество взаимодействует с атмосферой, биосферой и гидросферой. Понять, как именно это происходит и к чему это приводит, не просто. Но дистанционное зондирование в прямом и переносном смысле проливает свет на эти вопросы.



# НАБЕРЕЖНАЯ В ГОРОДЕ СОЧИ

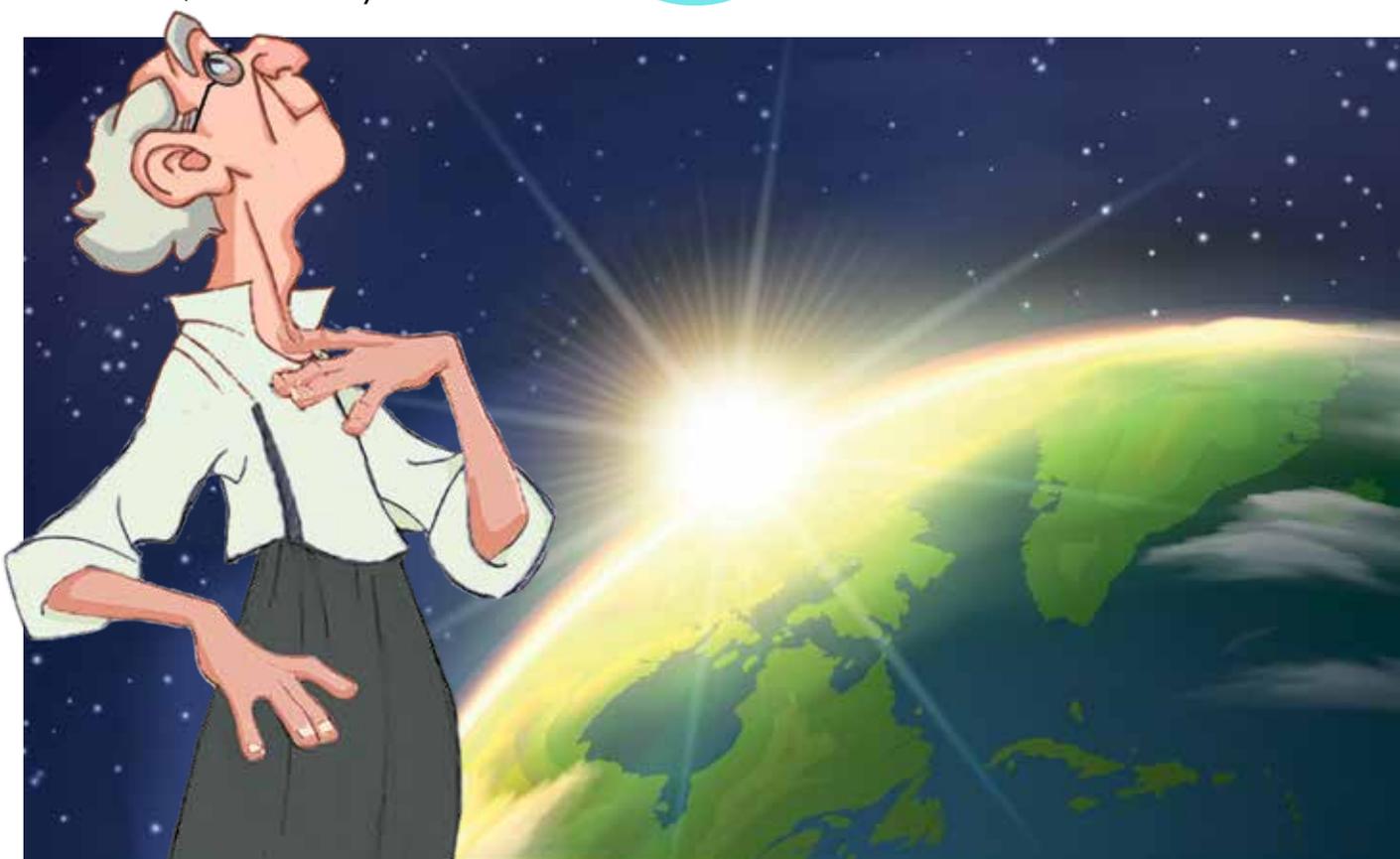
Свет на воде — упоение ночи,  
Это — шедевр «Светосервиса-Сочи»



## РЕШАЕМ ВМЕСТЕ

**Научный сотрудник Германского Аэрокосмического Центра Дмитрий Сергеевич Ефременко предлагает закрепить материал из статьи «Свет для изучения атмосферы Земли из космоса» с помощью задачек по механике и молекулярной физике. Если внимательно прочитать материал, то решить их будет совсем не сложно.**

- 1.** Какова масса атмосферы Земли?
- 2.** Сколько в атмосфере молекул?
- 3.** Какой была бы толщина атмосферы при нормальных условиях?
- 4.** В романе «Золотой телёнок» Остап Бендер утверждал, что «На каждого человека, даже партийного, давит атмосферный столб весом в двести четырнадцать кило!» Насколько ошибался великий комбинатор?
- 5.** Предположим, что мы придумали солнечные панели со 100% коэффициентом полезного действия и покрыли бы всю верхнюю границу атмосферы ими. Пренебрегая всеми потерями, оцените порядок величины выработанной такой солнечной суперэлектростанцией энергии. Для сравнения в 2015 году всего было произведено почти 25 петаватт/час энергии.
- 6.** Если вы знакомы с форматом NetCDF и языком python (в частности библиотекой Basemap), попробуйте визуализировать данные, доступные по адресу <https://s5phub.copernicus.eu>, получаемые новейшим спутником Sentinel 5 Precursor. Приведенная в этой статье картинка, возможно, огорчившая жителей Москвы и Нефтекамска, построена по данным, взятым оттуда же.



### РЕШЕНИЕ 1

Достаточно вспомнить, что,

$$mg = pS,$$

где  $m$  – масса атмосферы,  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения,  $p = 10^5 \text{ Па}$  – атмосферное давление, а  $S$  – площадь поверхности Земли. Выразив  $S$  через радиус Земли  $R = 6400 \text{ км}$

$$S = 4 \pi R^2$$

получаем ответ:

$$m = \frac{4 \pi R^2 p}{g}$$

Подставив в неё численные значения, получим  $m = 5 \cdot 10^{18} \text{ кг}$  – пять квинтиллионов килограмм.

### РЕШЕНИЕ 2

Воспользовавшись результатом решения предыдущей задачи, имеем для числа молекул  $N$ :

$$N = \frac{m}{M} N_A \sim 10^{44},$$

где  $N_A \approx 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  – число Авогадро,  $M \approx 28.97 \text{ г/моль}$  – молярная масса воздуха.

### РЕШЕНИЕ 3

Используя закон Менделеева-Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M} \bar{R}T,$$

где  $\bar{R} \approx 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ ,

выразим объём как  $V = SH = 4 \pi R^2 H$ ;

откуда найдём высоту атмосферного слоя

$$H = \frac{m \bar{R} T}{M p 4 \pi R^2}$$

Подставляя численные значения, получим

$$H \approx 7,5 \text{ км.}$$

### РЕШЕНИЕ 4

Для решения этой задачи, сделаем допущение о том, что человек (пусть даже беспартийный) занимает площадь  $S_{human} = 0,25 \text{ м}^2$ .

Тогда масса атмосферного столба над человеком равна:

$$\bar{m} = m \frac{S_{human}}{S}$$

Используя решения задачи 1 получим:

$$\bar{m} = 2,5 \text{ тонн.}$$

Таким образом, Остап Бендер ошибался в десять раз (или же в то время человек помещался на площади в 10 раз меньше).

### РЕШЕНИЕ 5

Как было сказано в статье, солнечный свет несёт с собой почти  $1,5 \text{ кВт}$  мощности на один квадратный метр. В каждый момент времени будет освещаться только одна половина Земли, а вторая будет в тени. Применяя теорему Гаусса, можно показать, что поток через полусферу будет равен потоку через круг, на который полусфера опирается (так как наш расчёт носит оценочный характер, можно считать, что поток падает перпендикулярно в каждой точке полусферы – качественных выводов такое грубое приближение не изменит).

Итак,

$$1,5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \pi R^2 = 1,5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \pi (6400000)^2 = 1,8 \times 10^{14} \text{ кВт.}$$

Для оценки количества энергии за год, умножим полученную мощность на количество часов в году:

$$1,8 \times 10^{14} \text{ кВт} \cdot 365 \cdot 24 = 1,5 \times 10^{18} \text{ кВт} \cdot \text{час} = 1,6 \times 10^6 \text{ Петаватт} \cdot \text{час}$$

Количество энергии, выработанное человечеством в 2015 году:

$$25 \text{ Петаватт} \cdot \text{час.}$$

Эта оценка показывает, что пока мы производим количество энергии в миллион раз меньше, чем Земля получает от Солнца. Подобные оценки дают почву для скептиков, не разделяющих мнение о том, что антропогенная деятельность может сильно сказаться на климате. Как бы то ни было, испортить среду обитания человечество точно может, даже не изменяя климат.



# КАМЕРА-ОБСКУРА

Студент шестого курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Никита Сопов продолжает серию увлекательных оптических экспериментов, которые позволяют на простых и понятных примерах понять многие свойства света.

**В** прошлом выпуске нашего журнала в статье «Камера-обскура» мы предложили вам сделать своими руками оптический прибор и обещали в следующем номере рассказать, как смастерить фотоаппарат из подручных средств. Выполняем обещание! Предлагаем вашему вниманию продолжение статьи об одном из самых простых с точки зрения реализации проектов. Он совмещает в себе основные понятия такого интересного и важного раздела физики, как оптика.

Что же такое Оптика? Оптика описывает свойства света и объясняет большинство явлений, которые напрямую связаны с ним. Ещё в античные времена люди пытались понять природу света и то, как мы видим его. Если задуматься, то наши глаза, по сути своей,

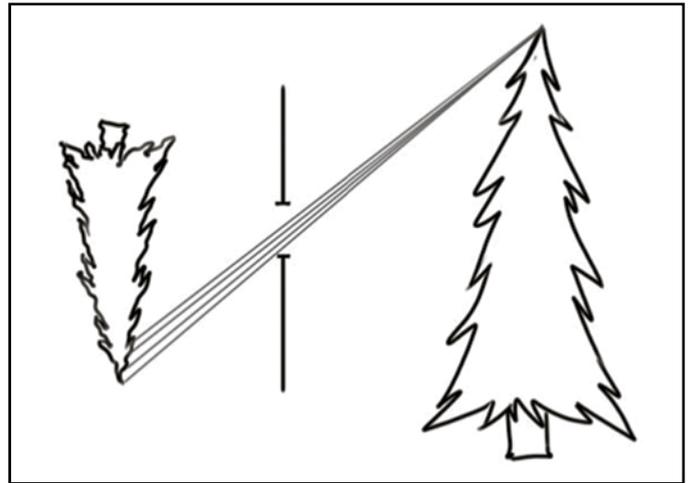


Рисунок 1. Пример формирования перевёрнутого и нерезкого изображения в результате дифракции

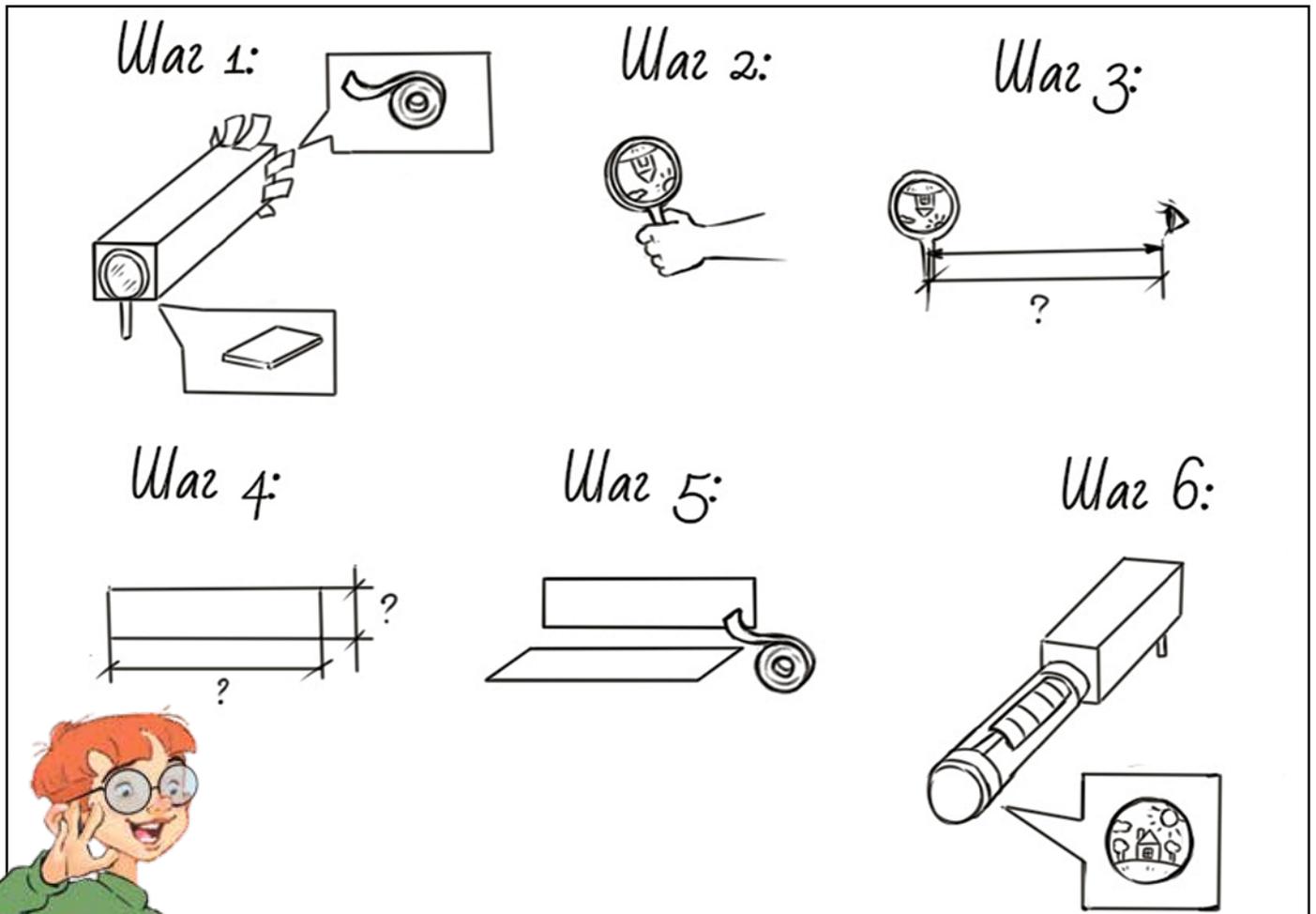


Рисунок 2. Получение перевёрнутого изображения с помощью линзы



являются маленькими камерами-обскурами: человек так же получает перевёрнутое изображение из-за строения глаз, а затем мозг переворачивает его, формируя правильную картину мира. К сожалению, камера-обскура, сформированная нами в предыдущей статье, не может похвастаться высокой резкостью изображения. Ее отсутствие можно компенсировать, уменьшая диаметр отверстия, но резкость повышается только до определённого уровня. Здесь всё дело в эффекте, называемом дифракцией, т. е. явлении распространения волн, при котором происходит отклонение от законов геометрической оптики. Процесс размытия изображения называется свёрткой. Пример формирования такого изображения представлен на рисунке 1.

На рисунке видно, что при прохождении лучей света формируется перевёрнутое и размытое изображение, так как мы получаем несколько пятен, рассеянных таким образом, что изображение становится нечётким. Для увеличения изображения мы можем отдалить экран, на котором формируется размытая ёлка, однако изображение потеряет резкость из-за изменения фокус-

ного расстояния, т. е. дистанции от отверстия до экрана камеры.

Теперь после небольшого, но насыщенного теорией вступления перейдём к более приятному – практике. Как перевернуть изображение с помощью лупы? Обратим внимание на рисунок 2.

**Шаг 1.** Для создания устройства, которое позволит перевернуть изображение, вам необходим картон, чёрная изолента, лупа, пластилин и линейка. Желательно, чтобы лупа обладала двойным увеличением.

**Шаг 2.** Возьмите лупу в руку. Вытяните руку так, чтобы наблюдаемое в ней изображение перевернулось. Этот этап самый главный!

**Шаг 3.** Необходимо измерить расстояние от ваших глаз до лупы, при котором изображение получилось перевёрнутым.

**Шаг 4.** Необходимо отрезать 4 прямоугольника из картона. Одна сторона этого прямоугольника должна быть равна расстоянию, которое мы измерили на **Шаге 3**. Другая сторона должна быть равна диаметру лупы.

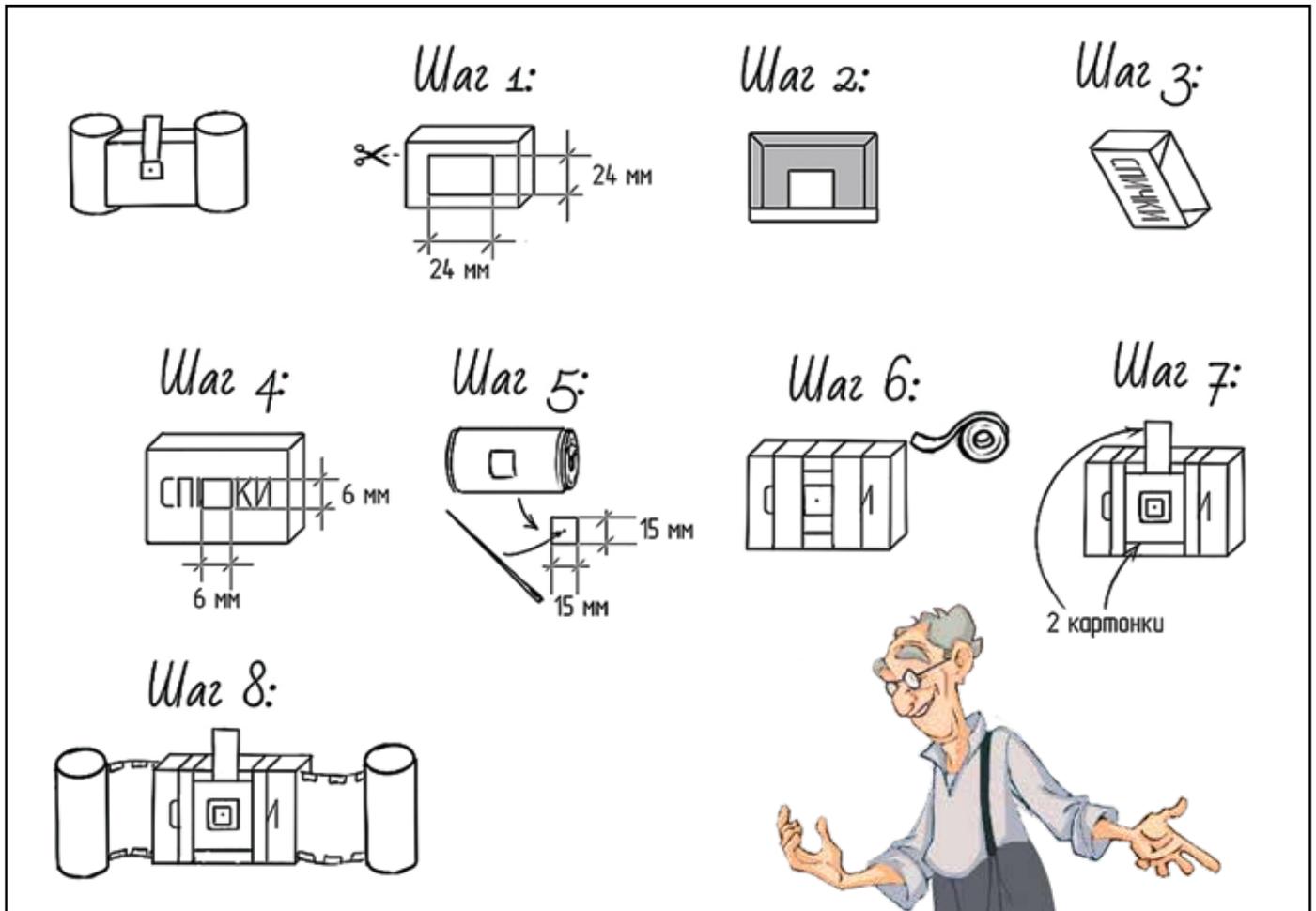


Рисунок 3. Фотоаппарат своими руками

**Шаг 5.** Склейте «тоннель» из четырёх прямоугольников с помощью изолянты! Лупу необходимо приложить к основанию «тоннеля» и заклеить её чёрным пластилином.

**Шаг 6.** В результате получается рабочий инструмент для разворота изображения, который формирует перевёрнутую картину мира на щели камеры, что в результате способствует формированию нормального изображения. Если говорить ещё проще, то перевёрнутое изображение в камере-обскуре переворачивается ещё раз с помощью сконструированного прибора.

Пришло время самого интересного – создания фотоаппарата! Вам потребуется линейка, спичечный коробок, гуашь или фломастер (чёрного цвета), ножницы, чёрная изолянта, фотоплёнка и пустой короб от фотоплёнки, алюминиевая банка из-под газировки, иголка и картон. Следуйте инструкциям и рисунку 3.

**Шаг 1.** Вытащите поддон спичечного коробка и вырежьте в центре его основания квадратное отверстие со сторонами 24 на 24 мм.

**Шаг 2.** В поддоне необходимо закрасить всю внутреннюю область с помощью гуаши или фломастера.

**Шаг 3.** Возьмите вторую часть спичечного коробка. Её внутреннюю область нужно тоже зачернить.

**Шаг 4.** Вырежьте в ней квадратное отверстие со сторонами 6 на 6 мм.

**Шаг 5.** Возьмите алюминиевую банку, вырежьте из неё квадрат со сторонами 15 на 15 мм. Сделайте в центре квадрата отверстие с помощью иголки. Отверстие будет входным отверстием фотоаппарата. Будьте аккуратны! Оно должно быть очень маленьким, поэтому сильно на иголку не давите.

**Шаг 6.** Зачерните внутреннюю зеркальную область алюминиевого квадрата. Зачернённой стороной приложите алюминиевый квадрат ко второй части коробка со стороны, где в коробке есть отверстие. Приклейте квадрат изолянтной.

**Шаг 7.** Вырежьте два куска картона: один – с размерами 32 на 32 мм, второй – с размерами 25 на 40 мм. Сделайте в центре квадратного куска квадратное отверстие с размерами 6 на 6 мм. Приклейте с трёх сторон этот квадратный кусок картона ко второй части спичечного коробка со стороны алюминиевого квадрата (с внешней стороны). Второй кусок картона (прямоугольный) вставьте за квадратный кусок картона как раз в том месте, где отсутствует изолянта. Таким образом вы получили затвор, полностью закрывающий входное отверстие.

**Шаг 8.** Соберите спичечный коробок, проденьте фотоплёнку под поддоном и закрепите фотоплёнку в пустом коробе так, чтобы она прокручивалась. Теперь необходимо полностью заизолировать стыки, где фотоплёнка стыкуется со спичечным коробком, и плотно замотать всё изолянтной, но так, чтобы фотоплёнка свободно перемещалась в коробке.

**Вот и всё! Фотоаппарат готов! Фотоплёнку лучше использовать с надписью ISO 100 или 200. В солнечную погоду, находясь не в помещении, открывать затвор лучше на 1–2 секунды, в облачную погоду – на 5 секунд, в помещении – на 8 секунд.**

**Становитесь фотографами и инженерами в одном флаконе благодаря своим трудам, не бойтесь экспериментировать и пробовать что-то своё. Удачи!**



**ОТПРАВЛЯЙТЕ К НАМ В РЕДАКЦИЮ ФОТОГРАФИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ФОТОАППАРАТА, СОБРАННОГО СВОИМИ РУКАМИ. ЛУЧШИЕ ИЗ ФОТОГРАФИЙ БУДУТ ОПУБЛИКОВАНЫ НА СТРАНИЦАХ СЛЕДУЮЩЕГО НОМЕРА, А АВТОРЫ ПОЛУЧАТ ПОДАРКИ**

# ВОЕННО-МОРСКОЙ МУЗЕЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Осветил фасады музея «Светосервис-Санкт-Петербург»  
Свет играет настроением, как великий драматург!



# О ВАЖНОСТИ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ

Студентка первого курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Александра Есикова рассказывает о таком удивительном явлении как цветопередача, его влиянии на нашу жизнь и способах измерения величин, характеризующих цветопередачу.

Сегодня жизнь человека неразрывно связана с компьютером, будь то работа, учёба или развлечения. Подсчитано, что человек переводит взгляд с монитора на бумагу более 5400 раз в сутки, что, конечно, приводит к ухудшению зрительного восприятия и возрастанию эмоционального напряжения. Деятельность пользователей компьютера сопровождается «мышечным» утомлением зрительной системы. Учитывая географический фактор, а именно то, что мы живём в средней полосе России, в осенне-зимнее время возрастает потребность в искусственном освещении.

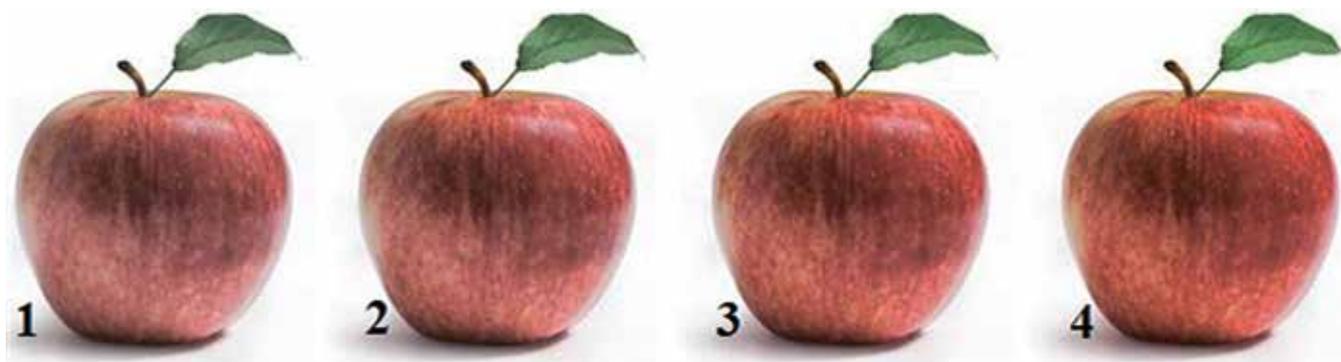
Научные исследования сообщают, что неправильно подобранные параметры источников света (ИС), такие как низкая цветопередача, цветовая температура и в целом неудачный подход к освещению рабочих мест, снижают производительность

Ивана Шишкина не покажется нам ярким и реалистичным произведением – золотые оттенки лучей солнца станут неестественными, а многие детали потеряют свою выразительность. Или, например, зайдя в магазин одежды, где используются ИС с низкой цветопередачей, тебе попросту не захочется купить новую вещь. Ведь нас привлекают яркие и насыщенные цвета, именно на них мы сперва обращаем внимание.

Под лампами, имеющими плохую цветопередачу, цвет кожи может показаться болезненным, а продукты будут выглядеть неаппетитными.

Интуитивно ты ожидаешь увидеть красное яблоко, а увидишь тусклое. Разве захочется такое приобрести? (рисунок 1).

Давай подробнее разберёмся в этом свойстве ИС, что так серьезно может влиять на впечатление о цветах окружающего мира.



## Какое яблоко ты выберешь?

Рисунок 1. Изображение яблока под ИС с разными индексами цветопередачи

труда более чем на 30%. Поэтому важно создать комфортное освещение на рабочем месте, ведь это залог хорошего самочувствия и высокой производительности труда.

Однако этот параметр ИС важен не только при работе или учёбе. Представь, ты заходишь в галерею и вместо того, чтобы увидеть красочные миры и сюжеты, изображённые художниками, ты наблюдаешь тусклые картины. «Утро в сосновом лесу»

## Что такое цветопередача?

Цветопередача характеризует влияние спектрального состава излучения ИС на восприятие цветных объектов относительно их восприятия при освещении стандартным источником.

Проще говоря, чем лучше спектральный состав ИС, тем естественнее и ярче мы видим цвета. Чем выше значение величины индекса цветопередачи,

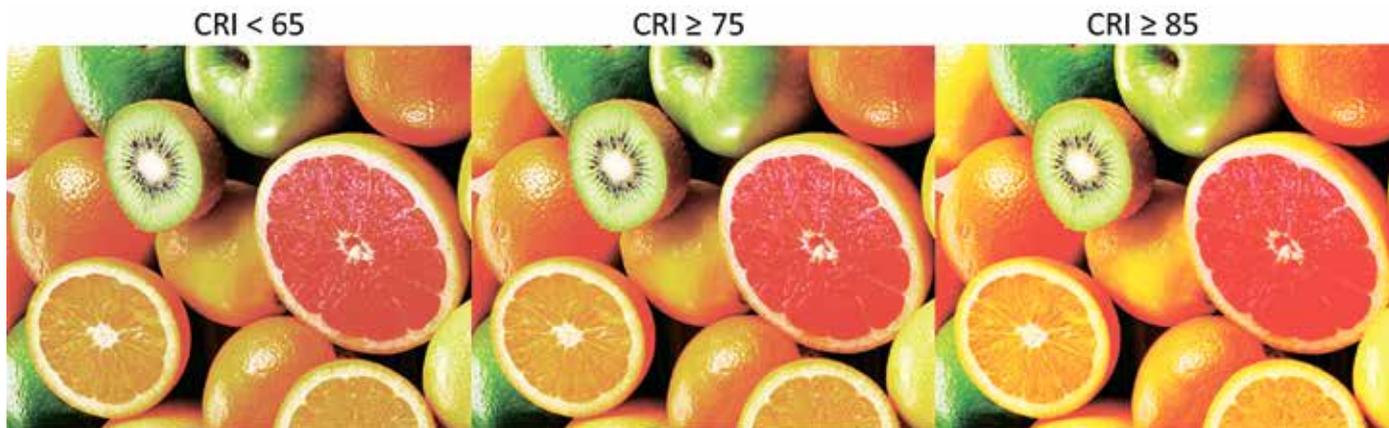


Рисунок 2. Изображение фруктов под ИС с разными индексами цветопередачи

тем лучше качество света. Если данная величина будет иметь низкое значение, окружающие предметы примут неприглядные оттенки (рисунок 2).

Цветопередача – это важная характеристика для ИС, применяемых в осветительных установках. Сложность и разнообразие спектров современных ламп вызвали необходимость введения и контроля специальной характеристики качества цветопередачи.

Сейчас существуют разнообразные методы оценки качества цветопередачи. Давай познакомимся с некоторыми из них.

## Метод CRI

Сегодня цветопередача белого ИС оценивается общим индексом цветопередачи  $R_a$  по методу CRI. Для его определения используются 8 или 14 тестовых цветов (рисунок 3). Шесть дополнительных цветов ( $R_9-R_{14}$ ) не учитываются в общем индексе цветопередачи ( $R_a$ ), потому что являются насыщенными и подвержены искажению передачи цвета больше, чем ненасыщенные  $R_1-R_8$ .

Оценка цветопередачи источника света опирается на эталонный источник, который задан математически. Тестовые цветные образцы сначала освещают эталонным источником, затем тестируемой лампой. Изменение цвета каждого контрольного образца осуществляется по формуле цветового различия МКО – это изменение называется цветовым сдвигом. Чем меньше разница цветопередачи



Рисунок 3. Тестовые образцы методики CRI

между тестовыми цветами и эталонными, тем лучше цветопередача исследуемой лампы.

ИС с показателем цветопередачи  $R_a = 100$  имеет максимальную цветопередачу. Чем ниже значения  $R_a$ , тем хуже передаются цвета освещаемого объекта.

## Метод CQS

В 2010 году была разработана методика Color Quality Scale (CQS), которая являлась переработанной методикой CRI. Её плюсами были следующие усовершенствования: приняты 15 образцов, цвета которых более насыщены и коммерчески оправданы (рисунок 4); введён фактор, учитывающий цветовую температуру тестового источника; для подсчёта цветового сдвига внедрено среднее квадратическое отклонение; исключены отрицательные частные индексы цветопередачи образцов.

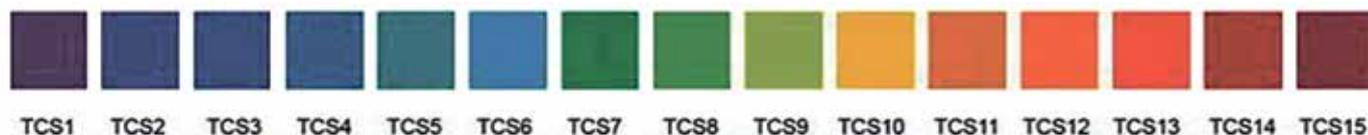


Рисунок 4. Тестовые образцы методики CQS

Тем не менее, методика CQS не стала полноценной заменой CRI, так как также не учитывала тон и насыщенность цветов освещаемых предметов. Поэтому в августе 2015 года был разработан новый стандарт TM-30-15, который оценивает качество цвета не только по цветным шаблонам, но и цветными образцами, встречающихся в повседневности предметов.

## Метод TM-30-15

Согласно новому методу, цветопередачу описывают два параметра: точность (fidelity) –  $R_f$ , использует 99 образцов цвета (рисунок 5), обеспечивая надёжную метрику в описании способности ИС точно отображать цвета (измеряется от 0 до 100); насыщенность (gamut) –  $R_g$ , предоставляет информацию об относительном диапазоне цветов, которые могут быть получены (посредством отражения) источником белого света (измеряется от 60 до 140).

Для измерений используют встречающиеся в повседневной жизни объекты, а не только окрашенные в разные цвета пластинки. В остальном всё так же – объекты разных цветов освещают эталонным источником света, потом измеряемым источником, определяют цветовой сдвиг, а затем обрабатывают данные.

Показатель  $R_f$  имеет тот же смысл, что и CRI, но более достоверно определяет точность цветопередачи из-за использования большего количества цветовых образцов.

Обычной насыщенности цветов соответствует значение  $R_g = 100$ . Если цвета освещаемого объекта становятся более блёклыми по сравнению с эталонным источником, то  $R_g < 100$ . Если

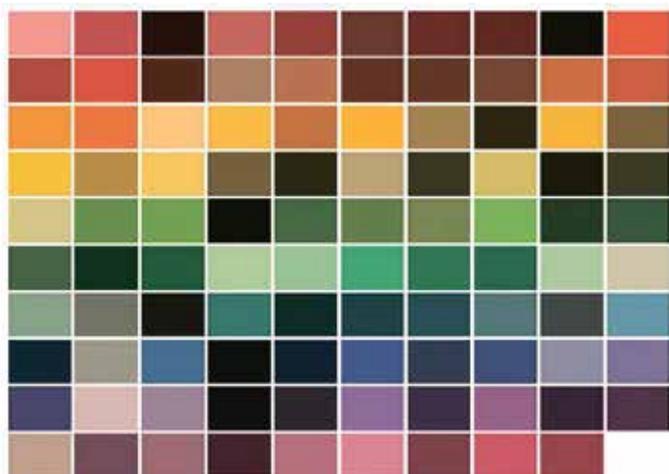


Рисунок 5. Тестовые образцы методики TM-30-15

же насыщенность повышается, то, соответственно,  $R_g > 100$ .

Программное обеспечение, которое позволяет узнать всю необходимую информацию о цветопередаче ИС, можно скачать в интернете. Представлено оно калькулятором на базе Microsoft Excel. Данный калькулятор представляет информацию в виде красочных графиков (рисунки 6, 7), что позволяет разобраться в характеристиках ИС даже человеку, далёкому от области светотехники.

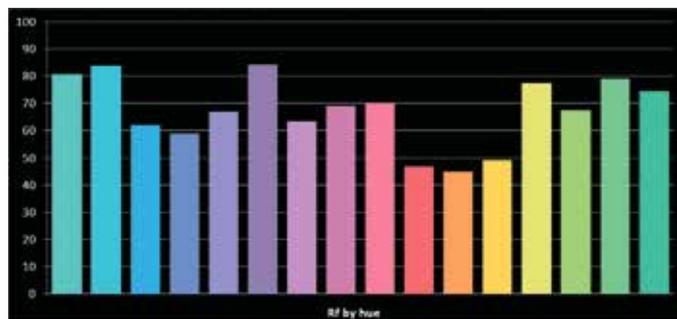


Рисунок 6. Показатель  $R_f$  по оттенку

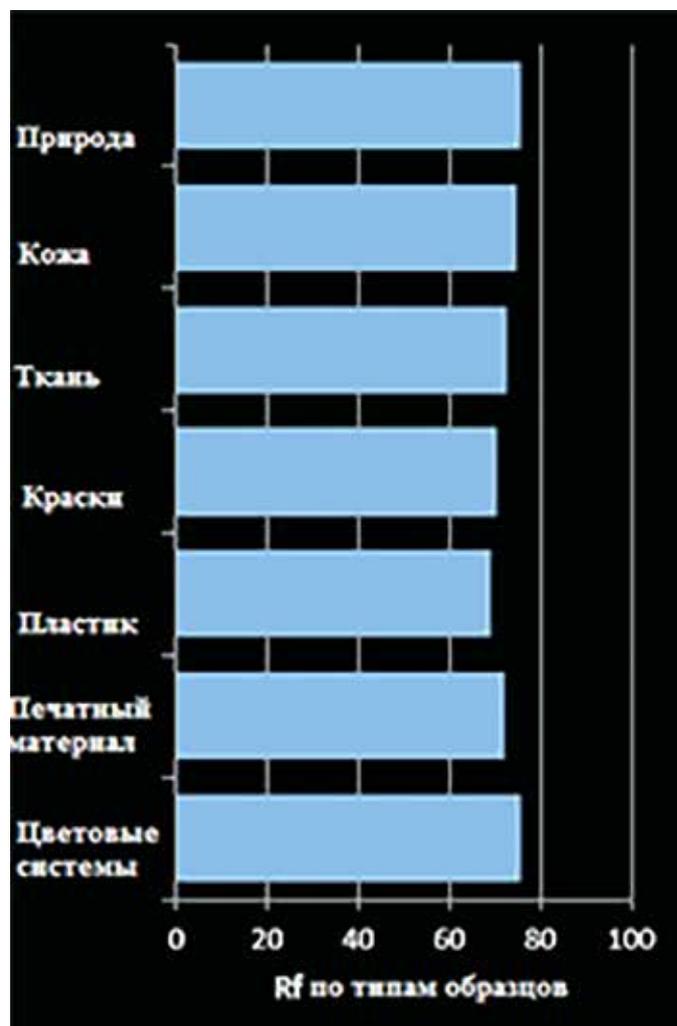


Рисунок 7. Показатель  $R_f$  некоторых цветных образцов

Информация о насыщенности цветов может быть легко получена из цветной векторной графики (рисунок 8), которая показывает комбинацию изменений насыщенности и оттенков тестового источника (красная линия) по сравнению с эталонным (чёрный круг).

Цветная векторная графика показывает средние изменения оттенка и насыщенности по цветам. Стрелки показывают конкретные искажения: стрелки, направленные от чёрного круга, показывают

увеличение насыщенности; стрелки, направленные внутрь чёрного круга, – уменьшение насыщенности; стрелки, касательные к чёрному кругу, указывают изменение только оттенка.

Схожесть значения  $R_f$  с индексами  $R_a$  (метод CRI) и  $Q_a$  (метод CQS) означает, что метод оценки цветопередачи ИС ТМ-30-15 объединяет и систематизирует многочисленные усилия исследователей, полученные в течение нескольких лет.

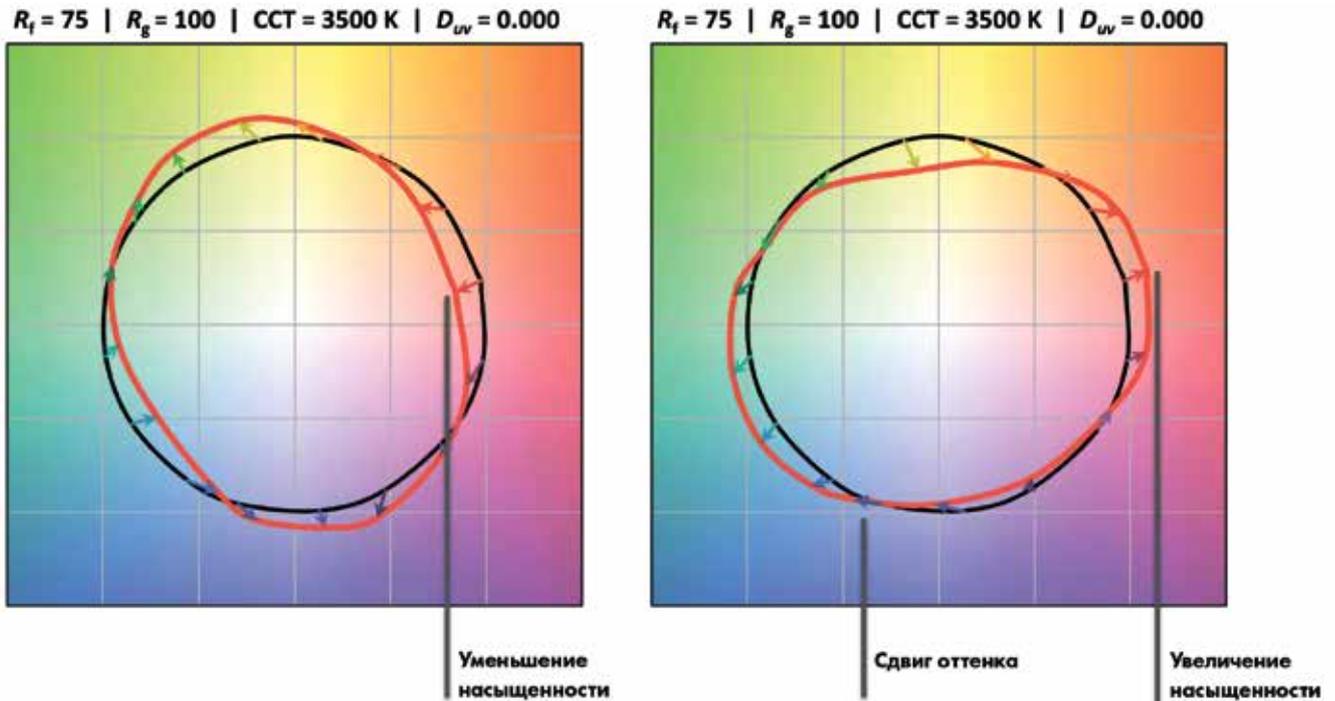


Рисунок 8. Изменения оттенка и насыщенности



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ

Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Денис Савельев предлагает нам окунуться в мир иллюзий, которые мы встречаем практически ежедневно. Рассказ молодого учёного будет посвящён такому явлению, как «оптическая иллюзия».

**Ч**то привело тебя на страницы этого журнала? Ответов на этот вопрос может быть огромное множество, но сведутся они все к одному единственно верному – желание познать окружающий мир. Более 60% людей на нашей планете – визуалы. Им легче воспринимать информацию посредством зрительного ощущения, используя фотографии, видео, чертежи и схемы.

Но всё ли, что мы видим, является правдой? На этот вопрос учёные давно знают ответ. Давай и мы с тобой попробуем разобраться. Взгляни на рисунок 1 и скажи, какой из отрезков короче – синий или красный?



Рисунок 1. Иллюзия Мюллера-Лайера

На самом деле, оба отрезка имеют одинаковую длину, но воспринимаются по-разному в зависимости от расположения окружающих стрелок. На этом примере ты познакомился с явлением, которое называется «оптическая иллюзия». На рисунке 1 представлена знаменитая иллюзия Мюллера-Лайера, названная в честь психолога Франца Мюллера-Лайера. Именно он впервые в 1889 году обнаружил эту иллюзию. Впоследствии она сыграла весомую роль в изучении столь интересного зрительного феномена и положила начало научным работам многих авторов. Возможно, она немного пошатнула твою веру в реальность того, что мы видим. И не зря – причины возникновения этой иллюзии обсуждаются уже более 150 лет, но проблема её восприятия так точно и не установлена.

Так что же такое оптическая иллюзия? Само слово «иллюзия» происходит от латинского «illudere» – заблуждение, ошибка. Прежде всего, мы говорим об ошибке зрительного восприятия отдельных элементов реальных объектов. Большинство зрительных иллюзий – это плоские изображения, на которых мы ошибочно воспринимаем длину, наклон,

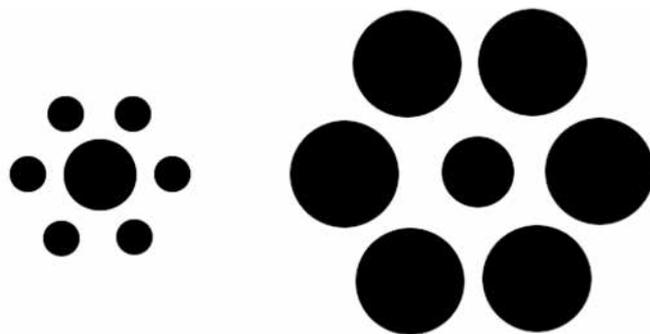


Рисунок 2. Иллюзия Эббингауза

форму, текстуру, цвет или светлоту элементов этого изображения. Физические параметры любого объекта можно определить, используя линейку, транспортир и другие измерительные приборы. Особенностью зрительных иллюзий является сильное несоответствие фактически измеренных и визуально воспринимаемых значений параметров.

Давайте рассмотрим ещё один пример – знаменитую иллюзию немецкого психолога Германа Эббингауза. Площадь какого из центральных кругов, изображённых на рисунке 2, кажется больше? Удивительно, но их визуальное различие, по результатам опросов наблюдателей, может достигать 15–20%, хотя на самом деле кружки абсолютно одинаковые.

В научной литературе приводится множество определений понятия «оптическая иллюзия». В широком смысле – это естественные процессы ошибочного восприятия окружающего мира, связанные со строением наших органов чувств и нервными процессами их возбуждения, подчиняющимися законам математической статистики. В узком смысле иллюзии – это эффекты, появляющиеся при рассмотрении плоских изображений. Именно такого рода иллюзии мы будем рассматривать в этой статье далее.

Условно определение зрительных иллюзий можно разделить на две большие категории: основанные на ошибочных оценках какого-либо физического свойства объекта и изменение обычных феноменов восприятия под воздействием необычных условий

наблюдения. Научное различие определений двух этих групп сложно описать в двух словах, но на их основе, а также оперируя существующими исследованиями, можно сделать несколько выводов о свойствах оптических иллюзий.

- Зрительные иллюзии, как правило, являются двумерными изображениями, состоящими из разнообразных (конкретных или абстрактных) элементов. Ключевое значение имеют их геометрические, цветовые и/или пространственные параметры;

- Большинство иллюзий имеет небольшие размеры. То есть в процесс формирования иллюзии включена та область нашего органа зрения, которая лучше всего воспринимает изображение;

- Составными частями зрительной иллюзии могут быть простые элементы, противопоставленные по направлению, расположению, цвету и т. д.;

- Иллюзорный эффект всегда осознаётся или начинает осознаваться при фиксации внимания на нём;

- Иллюзорный эффект устойчив и не пропадает после утверждения ошибочного восприятия, что указывает на неосознанность процесса появления иллюзии;

- Зрительные иллюзии вызывают однонаправленное действие. Среди испытуемых различия составляют от 5 до 40%, причём дети были сильнее подвержены иллюзиям, нежели взрослые. Но действие иллюзии всегда оставалось неизменным.

Все эти свойства помогают учёным определять оптические иллюзии как один из самых интересных и загадочных феноменов для познания.

Давай рассмотрим ещё несколько примеров знаменитых оптических иллюзий и попытаемся описать причины их возникновения. Если мы посмотрим на рисунок 3, то опять столкнёмся с так называемой «оптико-геометрической иллюзией» (как на рисунках 1 и 2).

При наблюдении иллюзии Понцо, открытой в 1913 году итальянским психологом Марио Понцо, длины горизонтальных отрезков нам кажутся неодинаковыми –

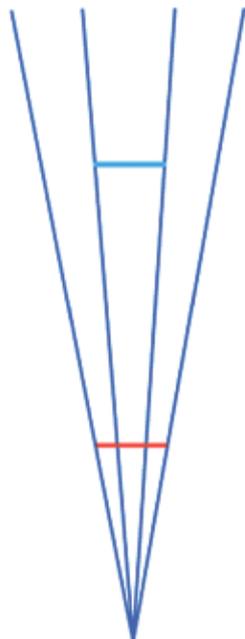


Рисунок 3. Иллюзия Понцо

зрительный эффект очень похож на тот, который возникал при наблюдении самой первой иллюзии. В то же время реальные длины красного и синего отрезков равны.

Исследуя причины возникновения зрительных и фактических разногласий, учёные руководствовались двумя основными подходами. Согласно пер-

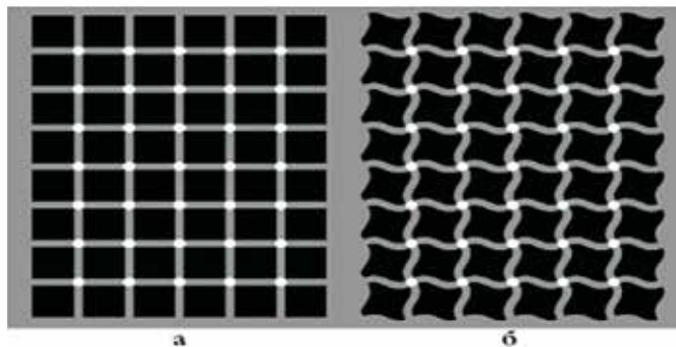


Рисунок 4. Иллюзия мерцающей решетки: а – неискаженный вариант, б – искаженный вариант

вому, возникновение зрительных иллюзий является результатом необычного процесса восприятия изображения, запускающего механизм формирования зрительного образа. Задача учёных, принимающих подобный подход, – изучить эти механизмы. Однако при такой формулировке задачи довольно сложно сказать, почему простейшие изображения, состоящие из линий и цветных пятен, вызывают у нас нестандартные процессы восприятия, а также почему одни изображения запускают эти процессы, а другие нет.

Давай взглянем на рисунки 4а и 4б. Это иллюзия мерцающей решётки. На первом изображении в центре белых кружков, расположенных на пересечении прямых серых линий, появляются и исчезают чёрные точки, которых на самом деле там нет. Если мы переведём свой взгляд на рисунок 4б, то заметим, что иллюзия полностью исчезает.

Логично предположить, что механизм восприятия изображения с прямыми и искривлёнными линиями одинаковый, причём он чувствителен именно к ориентации линий. В этом и заключается суть второго подхода к объяснению причин возникновения оптических иллюзий. Предполагается, что механизмы восприятия зрительных иллюзий ничем не отличаются от механизмов обычного восприятия. Однако в рисунки, вызывающие иллюзорные эффекты, внесены некоторые признаки, интерпретация которых приводит к неадекватному восприятию картинки или её отдельного элемента.

Одним из самых ярких примеров такого признака можно считать перспективу. Она определена как главная причина возникновения опико-геометрических иллюзий (рисунки 1–3). В процессе восприятия наше подсознание конструирует трёхмерный образ на основе плоской 2D-картинки. Попытка нашего сознания «найти» трёхмерность в плоском изображении и может приводить к ошибке. Разобраться, откуда у нас возникает подобное желание, совсем не просто. Одна из теорий заключается в том, что человек встречает привычные для его взора элементы и реагирует на них соответственно. Так, для объяснения иллюзии Мюллера-Лайера, можно взглянуть на рисунок 5.

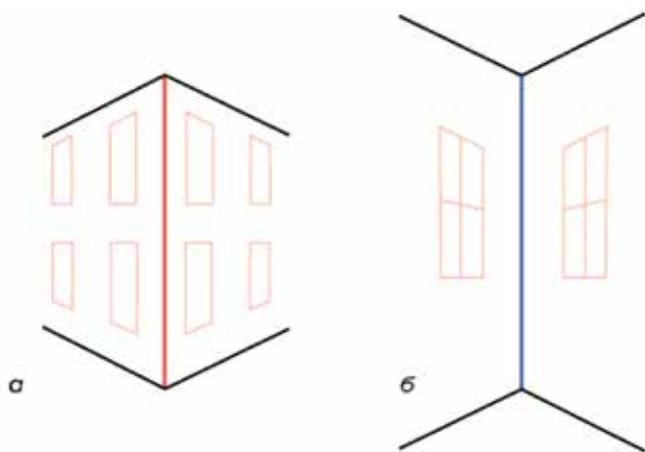


Рисунок 5. Интерпретация иллюзии Мюллера-Лайера

Оба отрезка мы можем воспринимать как углы зданий, однако ориентация красного угла создаёт эффект, что он ближе к наблюдателю, в то время как синий угол ориентирован внутрь и располагается дальше. Согласно правилам перспективы, равные по своим размерам объекты, расположенные на разном удалении, неравны в действительности.

Аналогично можно объяснить и иллюзию Понцо (рисунок 2). Косые пересекающиеся линии могут вызывать у нас восприятие шоссе или железнодорожного полотна. А поперечные отрезки – лежащих на них предметов. Возникновение подобных зрительных шаблонов связано с привычным для нас пониманием, что мир трёхмерен.

Другой возможной причиной возникновения вышеперечисленных иллюзий учёные называют движение глаз. Эта теория основывается на том, что глаз как бы «ощупывает» внешний объект, повторяя его форму или длину линии. Окружение объекта фоновыми элементами изменяет траекторию движения глаз, при этом движения глаз по вертикали

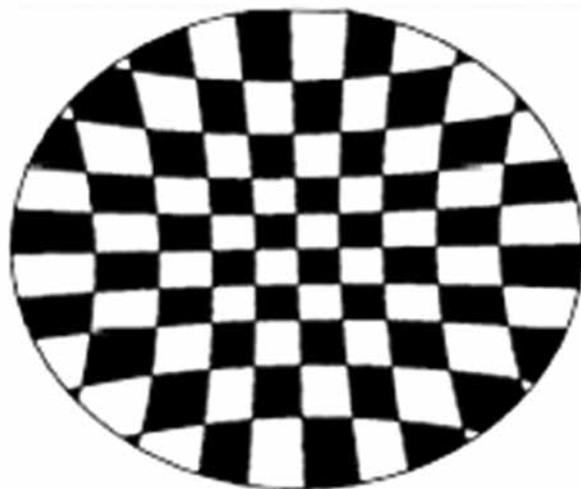


Рисунок 6. Демонстрация искажения линий, воспринимаемых глазом

и горизонтальны происходят за счёт разных мышц и с разными усилиями, что и влияет на общее восприятие картинки. Широкого подтверждения эта идея не получила, т. к. в процессе многочисленных опытов иллюзия сохранялась при ее демонстрации на короткое время (за это время не происходило движение глаз).

Ещё одной причиной возникновения ошибочного восприятия считают несовершенство оптики нашего органа зрения. Достаточно вспомнить тот факт, что наш глаз видит все объекты перевёрнутыми, а сетчатка, на которую проецируется видимое изображение, не является плоской поверхностью. При этом световые лучи по-разному рассеиваются в центре и на периферии хрусталика глаза. Всё это приводит к тому, что на сетчатке формируется нечёткое и искривлённое изображение, а изображение действительно прямых линий трансформируется в выпуклые.

Давай посмотрим на изящную демонстрацию, созданную Г. Гемгольцем (рисунок 6).

На рисунке 6 мы видим изображение шахматной доски с линиями, выгнутыми относительно центральной точки изображения. Если рассматривать рисунок с обычного расстояния 40–50 см, он проецируется на центральную часть сетчатки, где кривизна её поверхности минимальна и линии воспринимаются без искажения. Если же рассматривать изображение одним глазом и с расстояния 1–2 см, выгнутые линии будут проецироваться на периферию сетчатки, где они будут сильно трансформироваться. Эта трансформация будет направлена в «обратную сторону», что приводит к «выпрямлению» линий шахматной доски.

Для объяснения иллюзии Эббингауза (рисунок 3) используют гипотезу «оценки по контрасту». Согласно её теории, мы делаем выводы об элементах картинки, сравнивая их с окружением. Так, на рисунке 2, центральный диск слева окружён большими дисками, поэтому он воспринимается меньшим, чем центральный диск справа. Иллюзия «кривизны контура», изображённая ниже (рисунок 7), также является подтверждением этого объяснения. Человеку привычнее воспринимать изображение целиком, а не его отдельные части.

Некоторые иллюзии возникают по причинам более сложным, связанным с переработкой воспринимаемой зрительной информации. Иными словами,

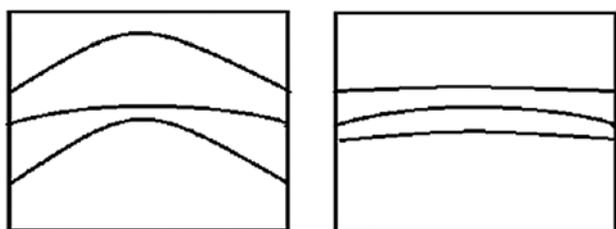


Рисунок 7. Иллюзия кривизны контура



Рисунок 8. Иллюзия переработки информации

иногда мы видим мир не таким, какой он есть на самом деле, а каким мы хотим его видеть. Мы ищем нужный нам цвет, форму, объект или другое отличительное качество.

На рисунке 8 изображено несколько символов. Если рассматривать горизонтальный ряд, то центральный элемент воспринимается буквой «В», т. к.

весь ряд состоит из букв. Стоит обратить своё внимание на вертикальный ряд, окажется, что здесь не буква, а цифра «13» в качестве центрального элемента.

Подобных иллюзий, обусловленных более высоким уровнем обработки информации, существует достаточно много. Одними из самых ярких примеров являются иллюзии, на которых мы вообще можем разглядеть две разные сцены. Внимательно посмотри на рисунок 9.

Ты уверен в том, что на рисунке изображено лицо взрослого бородатого мужчины? Или там всё-таки женщина, сидящая под деревом? Примеров таких иллюзий можно найти множество на просторах Интернета.

Иллюзии восприятия цветных полей объясняются ещё более сложными процессами, связанными с нейронными механизмами передачи данных от сетчатки к мозгу. Предполагается, что в некоторых случаях нейроны могут усиливать действия светочувствительных клеток, вызывая ошибки восприятия на границах перехода разных цветов. Посмотри внимательно на рисунок 10 а. Механизм появления этой иллюзии как раз связан с замысловатыми процессами обработки и передачи зрительных данных. Суть иллюзии заключается в том, что поля, на которых расположены буквы А и В, одинакового оттенка, что подтверждает рисунок 10 б.

Гипотеза влияния процессов «утомления-восстановления» нашего зрения объясняет причины, по которым меняется восприятие некоторых изображений. На рисунке 11 а мы видим куб. Воспринимать пространственное расположение этого куба мы можем либо как на рисунке 11 б, либо как на 11 в. Причём восприятие будет меняться с течением времени наблюдения.

Рисунок 11 – это знаменитый «Куб Неккера», открытый в 1832 году швейцарским кристаллографом Луисом Альбертом Неккером. Притом, что куб изображён в виде каркаса и на плоскости, где каждая его часть неоднозначна, наш мозг воспринимает его трёхмерным, выбирая более привычную интерпретацию его положения.



Рисунок 9. Иллюзия «Berggeist»

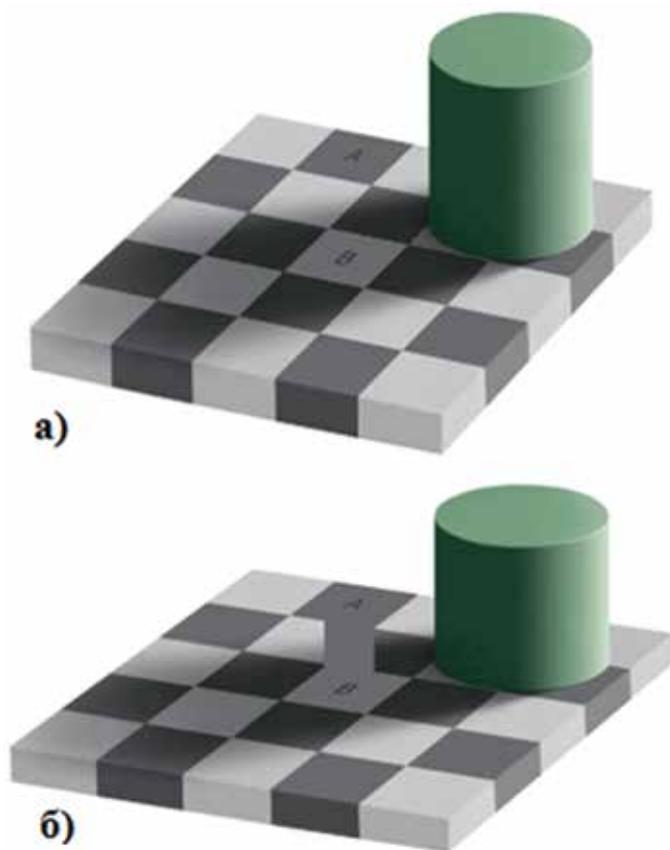


Рисунок 10. Иллюзия восприятия цветных полей

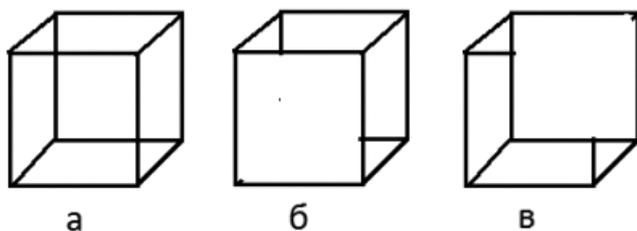


Рисунок 11. Куб Неккера: а – оригинальное изображение; б, в – возможные пространственные ориентации

Это далеко не полный список причин возникновения ошибочного зрительного восприятия у человека. Открывая всё новые оптические иллюзии и продвигаясь в исследованиях строения и возможных принципов работы человеческого мозга, учёные расширяют понимание возможных причин обмана собственного зрения.

Интересным вопросом для изучения остаётся влияние воспитания и культуры на восприятие зрительных иллюзий. Используя хорошо тебе известную иллюзию Мюллера-Лайера, учёные проводили большое количество кросс-культурных исследований в местах, где имеют место иные принципы восприятия перспективы. Проводя исследования в племенах зулусов в Африке, строящих свои жилища не прямоугольными, а круглыми, учёные

определили – иллюзия практически не наблюдается. Такие же исследования проводились в племенах, живущих в густом лесу, где отсутствует далёкая перспектива и угол зрения ограничен. Оказалось, что, если людей, привыкших к такому ограниченному полю зрения, вывести на большую территорию, у них возникнут проблемы с восприятием размеров удалённых объектов. Глядя на стадо коров, пасущихся вдалеке, они могли воскликнуть: «Смотрите, какие маленькие коровы». Тем не менее, влияние культуры на восприятие зрительных иллюзий остаётся вопросом открытым.

Многочисленные опыты учёных показали, что и животные подвержены зрительным иллюзиям. Эксперименты проводились с заранее обученными голубями. Их приучали, что за выбор более длинного отрезка их вкусно покормят. И когда птицам предъявлялась иллюзия Мюллера-Лайера, они инстинктивно выбирали тот же отрезок, что и люди.

Можно ли избавиться от зрительных иллюзий? Возможно! Если наблюдать за иллюзией Мюллера-Лайера по 10 минут в день, она пропадёт через некоторое время. Однако это не изменит общие принципы восприятия окружающего нас мира. Изучая оптические иллюзии, люди смогли найти им практическое применение.

Во второй половине XX века появилось целое направление в живописи – оп-арт, деятели которого использовали элементы иллюзий в своих картинах. Шокирующий эффект, производимый работами художников, впоследствии был замечен дизайнерами одежды и интерьеров. Наряды с орнаментом в стиле оп-арт не только добавляли экстравагантности стилю, но и подчёркивали формы, скрывали недостатки и меняли визуальное восприятие образа.

В повседневной жизни мы регулярно сталкиваемся с величайшей иллюзией человечества – кино. Мы воспринимаем изображение в телевизоре как непрерывное, хотя на самом деле оно состоит из отдельных кадров, мелькающих с определённой частотой. Восприятие оптических иллюзий – это бессознательный процесс, затрагивающий глубинные области нашего сознания.

Неспроста многие психологи были первооткрывателями искажённой человеком трактовки картинок. Считается, что психически нездоровые люди не могут наблюдать зрительные иллюзии. По степени различимости длин отрезков в иллюзии Мюллера-Лайера определяли стадию шизофрении (метод не был принят официально научным) – психического

расстройства личности, при котором наблюдаются галлюцинации, проблемы с поведением, тревожные состояния и депрессия. Исследование оптических иллюзий является ключом к пониманию алгоритмов неосознанного восприятия зрительной информации, возможностью исследовать глубинные процессы передачи и обработки данных в сознании человека. Именно поэтому спустя более 200 лет после открытия этого феномена он остаётся интересным и актуальным для изучения.

## Приложение 1

### Примеры оптических иллюзий

Кажется, что на клетчатом фоне изображена спираль. На самом деле на картинке круги разных диаметров (рисунок 12).

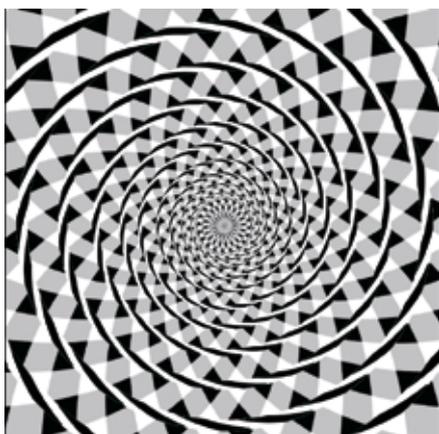


Рисунок 12

Некоторые оптические иллюзии возникают, если пристально вглядываться в центр изображения. Если вглядываться в центр изображения на рисунке 13, может возникнуть ощущение движения

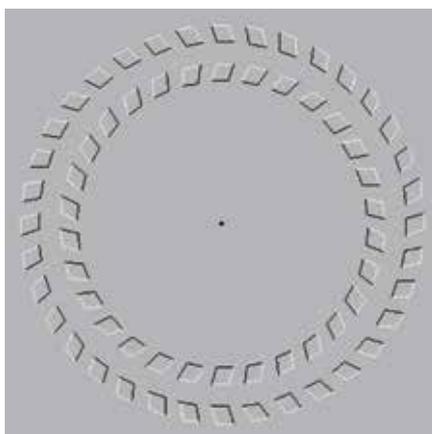


Рисунок 13

Надеюсь, статья была тебе интересна. В дополнение я оставляю на страницах этого журнала ещё несколько примеров интересных зрительных иллюзий с описанием. В интернете существуют ресурсы (<http://www.psy.msu.ru/illusion>; <http://www.michaelbach.de/ot/>), где люди делятся примерами своих оптических иллюзий.

Самое главное, что теперь ты знаешь – не всё правда, что мы видим. Ищи иллюзии вокруг, и ты больше узнаешь о себе.

на картинке, хотя мы прекрасно понимаем, что на страницах нашего журнала такого произойти не может.

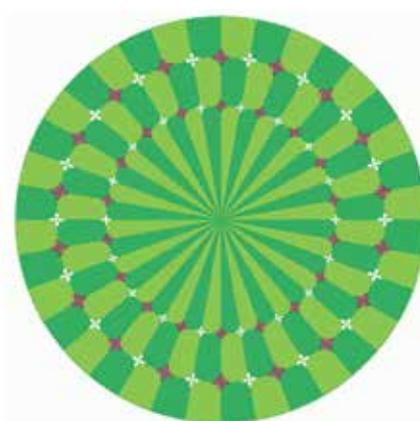


Рисунок 14

Взгляните также внимательно в центр рисунка 14 и начните отводить голову вперёд и назад. Появится ошибочное ощущение, что кольца на картинке вращаются (иллюзия Akiyoshi Kitaoka, 2002).



## МИРАЖ. КАК ЭТО РАБОТАЕТ?

Что такое мираж? Галлюцинация в пустыне истощённого человека или оптическое явление? Об этом расскажет руководитель проекта *Interlight Moscow powered by Light + Building* Алексей Карамян.

**В**се вы, наверное, слышали о водоёмах в пустыне, которые обессиленный человек видит в каких-то 500 метрах, идёт к ним, идёт и всё никак не может подойти. Это явление называют Миражом.

Так называемое мнимое изображение не только камня, но и самого дна кажется гораздо ближе, чем есть на самом деле.

Древние люди охотились на рыб при помощи копья. И только методом проб и ошибок они пони-



*Мираж в пустыне*

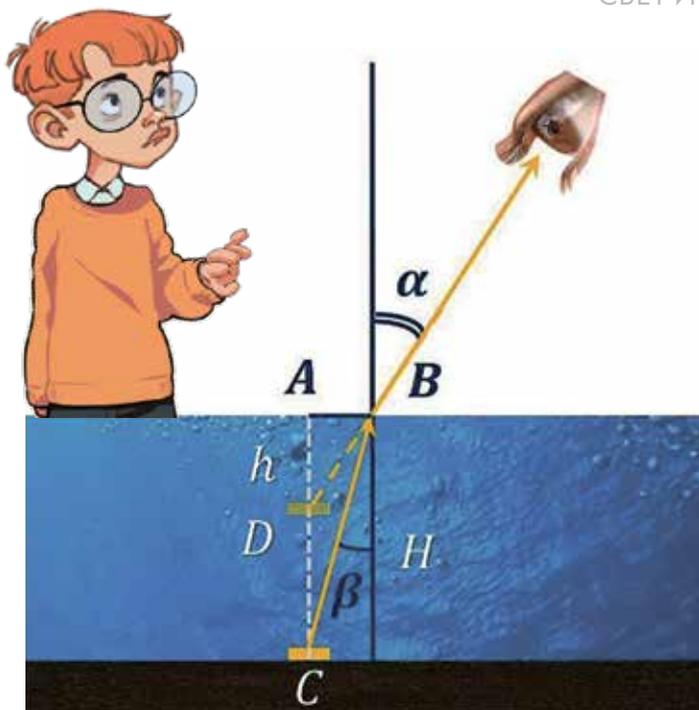
Есть мнение, что человек от обезвоживания сходит с ума, и единственные мысли о воде приводят к соответствующей галлюцинации. На самом деле это не так!

Даже если вы путешествуете по пустыне на супероборудованном верблюде, с огромными тюками воды и фруктов, под лёгким шёлковым навесом, вы всё равно увидите мираж.

Чтобы понять саму природу этого явления, давайте вспомним про преломление луча при переходе из одной среды в другую. Все мы знаем, что камень в воде кажется гораздо ближе, чем на самом деле, а наши ноги под водой выглядят куда короче.

мали, что кидать копьё всегда надо не в цель, ведь она мнимая, а с учётом поправки на преломление. Конечно же, они не задумывались о физике процесса, им просто хотелось есть, поэтому удивляться времени не было.

Теперь вернёмся к Миражу. Как оказалось, это явление – не что иное, как преломление света в атмосфере. В пустыне раскалённый песок и воздух близ поверхности очень горячий и из-за этого менее плотный. Чем дальше от песка, тем ниже температура и выше плотность. Получается, что если разрезать воздух на тонкие слои, то на их границе воздух преломляется и свет, который идёт от предмета, до-



*Преломление луча света при переходе из одной среды в другую*

ходит до нашего глаза как по прямой, так и по кривой из-за преломления в слоях атмосферы.

А нашему глазу кажется, что это отражение скал, неба и всего, что можно увидеть в пустыне,



*Прохождение прямого и преломленного лучей света в слоях раскалённой атмосферы от предмета к нашему глазу*



*Мираж, который видит человеческий глаз: изображение совпадает с изображением, формирующимся при отражении от воды, которой в действительности не существует*

от водной поверхности. Таким образом, вода нам только кажется.

Кстати, совершенно не обязательно ехать в пустыню Сахару, чтобы на себе почувствовать эффект миража. Все мы наблюдали его неоднократно в знойный летний день на ровной автостраде. Всегда где-то там, вдали, на асфальте – огромная лужа, но вот незадача, до неё вы никогда не доедете!



*Мираж на автостраде*

# ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА В КОСМОСЕ И ДОМА

Каждый день жители России и всего мира используют электричество. От него практически на 100% зависит существование любого города: от тостера на твоей кухне до работы огромных предприятий. Но однажды мы можем оказаться в полной темноте. Как такое возможно? Дело в том, что электричество не появляется из воздуха. Чтобы его создать, ежедневно перерабатываются миллиарды кубометров природного газа и угля, но однажды они закончатся. Чтобы не остаться без энергии, люди придумали альтернативные способы её получения – из ветра, Солнца, воды. Сегодня С. С. Боровинских, главный редактор корпоративной газеты МСК «БЛ ГРУПП», расскажет о таком альтернативном источнике электроэнергии, как солнечный свет.

Сначала давай разберёмся, что такое солнечная батарея. Фактически это объединение фотоэлементов – полупроводниковых устройств. Они улавливают и преобразуют солнечную энергию в постоянный электрический ток. Таким образом, солнечная батарея работает за счет неисчерпаемой энергии Солнца!

Давай обратимся к истории. Идеей получения энергии Солнца учёные занялись ещё в XIX веке. В 1839 году Антуан-Сезар Беккерель создал химическую батарею, которая под воздействием солнца вырабатывала электричество. Однако лишь 1% упавшего солнечного света был преобразован в электричество. Чарльз Фриттс в 1880 году использовал покрытый золотом селен для производства первого солнечного элемента, который также имел эффективность 1%. Революционный шаг на пути применения солнечной энергии произошёл уже в середине XX века. В 1954 году Гордон



*Искусственный спутник Земли с раскрытыми солнечными батареями*

Пирсон, Дэррил Чапин и Кэл Фуллер произвели кремниевый солнечный элемент, имеющий КПД 4%. В дальнейшем эффективность ячейки была повышена до 15%.



*Жилые дома на территории Европы, оборудованные солнечными батареями*

Теперь мы понимаем, что человечество пытается сделать Солнце основным источником энергии уже более 150 лет. Пока оно обеспечивает только 1% всей производимой электроэнергии на Земле.

Как же именно используется энергия Солнца? Человечество придумало массу способов применения солнечных батарей от очевидных до самых неожиданных. Давай посмотрим.

Первым делом солнечные панели оказались в космосе! Они стали основным источником энергии для искусственных спутников Земли. На самом деле, это неудивительно, ведь чем ближе к Солнцу

«солнечная» велодорожка. А в 2017 году создана первая автомагистраль из солнечных батарей – километровый участок дороги обеспечит электроэнергией уличные фонари деревни.

Примеров использования энергии Солнца в быту масса – калькуляторы, фонарики, различная электроника. Сегодня появляются автомобили и самолёты, которые оборудованы солнечными батареями.

Наверное, самой фантастической сегодня представляется идея выведения солнечных электростанций за пределы атмосферы. Это позволит более эффективно использовать солнечную энергию,



*«Солнечная» велодорожка в Голландии*

батареи, тем они эффективнее. Тем более они очень лёгкие, и отправить их в космос достаточно легко.

Энергообеспечение жилых домов – одна из главных задач солнечных батарей. Если проехаться по городам Европы, практически на каждом шагу встретишь дома, крыши которых увенчаны солнечными батареями. Например, в Испании с 2007 года все дома оборудованы солнечными водонагревателями – это позволяет обеспечить от 30 до 70% потребности в горячей воде.

В Голландии нашли весьма оригинальный способ их применения – в 2014 году здесь появилась

поскольку там она не рассеивается. Специалисты предлагают переводить излучение в микроволны и транспортировать на Землю.

Производство солнечных батарей сегодня увеличивается с каждым днём. Наибольшее их количество выпускается в Китае. Большая часть отправляется на экспорт в европейские страны, а также Соединённые Штаты Америки, где потребляют больше всего солнечной энергии, а производят всего около 6% от общемирового количества.

В следующем номере мы расскажем об энергии ветра, а главное – способах её получения.

# ПОДУМАЙ И РЕШИ



## По горизонтали:

- 1.** Наука, для которой были разработаны первые оптические приборы.
- 5.** Электронное устройство, необходимое для нормальной работы энергосберегающей люминесцентной лампы.
- 7.** Естественный источник, чей свет используется в альтернативной энергетике.
- 9.** Тонкая деревянная щепка, освещавшая дома на Руси.
- 10.** Пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких световых волн.
- 11.** Невидимое глазом излучение, которое возникает в энергосберегающих люминесцентных лампах, а с помощью люминофора преобразуется в видимое излучение.
- 14.** Ярко светящийся ионизованный газ между двумя электродами.
- 17.** Оптический прибор для наблюдения удалённых предметов.
- 18.** У Земли ОН есть один естественный и около 1500 искусственных.

– Профессор Люкс, кроссворд такой сложный! Многие слова я никогда не слышал! Как же его решить?

– Без паники, Светозайка! Все ответы есть на страницах нашего журнала. Нужно просто внимательно его прочесть!

### По вертикали:

2. Мелкая частица, которая использовалась в лучевой теории для описания природы света.
3. Устройство для измерения углового расстояния между двумя объектами.
4. Оптический прибор, позволяющий получать информацию о свойствах атмосферы из космоса.
6. Французский учёный, который объяснил природу радуги и в честь которого названа система координат.
8. Явление, которое обусловлено зависимостью показателя преломления от длины волны.
12. Ядовитый химический элемент, который содержится в энергосберегающих люминесцентных лампах.
13. Металл, который служит материалом для нитей в лампах накаливания.
15. Световое зрелище, потеха, большим любителем которой был Пётр I.
16. Ошибка зрительного восприятия отдельных элементов реальных объектов.

# СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ВИКТОРИНА

Уважаемые читатели, вот вы и добрались до конца журнала! Всё внимательно прочли? Тогда настало время проверить полученные знания. Редакция предлагает вам испытать на прочность свою эрудицию и сообразительность и принять участие в светотехнической викторине. Вас ждут десять вопросов разной степени сложности, посвящённых различным направлениям светотехники. Для каждого вопроса предлагается три варианта ответа. Задача проста: внимательно прочти вопрос, выбери верный вариант ответа.

**Зачем на въезде в длинный тоннель делают более яркое освещение, а ближе к середине тоннеля снижают его яркость?**

*Вопрос №1*

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- А.** Чтобы зрение водителя приспособилось к изменению яркости;
- Б.** Чтобы экономить электроэнергию;
- В.** Для красоты.

*Вопрос №2*

**Почему нельзя устанавливать прожекторы для освещения футбольных полей прямо за воротами?**

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- А.** Это создаст неудобства для зрения полевых игроков;
- Б.** Это создаст неудобства для зрения вратарей;
- В.** Есть риск разбить прожектор, если мяч в него попадёт.

**ВКЛЮЧАЙСЯ**

*Вопрос №3*

**Почему для освещения картин не используют светильники с инфракрасным излучением?**

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- А.** Люди не смогут различать цвета на картине;
- Б.** Из-за этого излучения могут выгореть масляные краски;
- В.** Такие светильники слишком дорогие.

**ВЫБЕРИ ПРАВИЛЬНЫЙ**

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- А.** Она используется как элемент крепления;
- Б.** Чтобы птицы не садились и не загорали свет;
- В.** Для рассеивания света.

**Зачем на светильниках иногда размещают проволоку?**

*Вопрос №4*

Вопрос №5

Что такое эфир?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- А. Тип осветительного прибора;
- Б. Непрозрачная и вязкая среда, что-то посередине между туманом и желе, через которую свет не может пробиться;
- В. Прозрачная и неосязаемая среда, через которую, как думали во времена Античности и Средневековья, должен распространяться свет.



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- А. Более 1000;
- Б. Более 5400;
- В. Более 100.

Вопрос №6

Сколько раз в сутки человек в среднем переводит взгляд с монитора на бумагу?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- А. Обычное;
- Б. Перевернутое;
- В. Чёрно-белое.

Вопрос №7

Какое изображение формирует камера-обскура?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- А. 50000 часов;
- Б. 1000000 часов;
- В. 5000 часов.

Вопрос №8

Каков средний срок службы светодиодных источников света?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- А. 30%;
- Б. 10%;
- В. Менее 1%.

Вопрос №9

Сколько процентов атмосферы занимает важный для жизни на Земле газ озон?

СКОРЕЕ РЕШИ!

Как в Российской империи в 1697 году решили отпраздновать военную победу под Азовом?

Вопрос №10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- А. Устроили фейерверк;
- Б. Организовали бал;
- В. Объявили выходной день.

# ИЗ ДЕТСКИХ ВОСПОМИНАНИЙ

## СВЕТОЗНАЙКИ (СКАЗКА)

**Т**ы когда-нибудь задумывался, почему на Солнце смотреть нельзя, а на звёзды – сколько хочешь? Когда мне было столько же лет, сколько сейчас тебе, я очень заинтересовался этим вопросом, потому что любил смотреть на звёзды и очень-очень хотел рассмотреть Солнце.

Однажды я узнал, что наше светило – тоже звезда. Случилось это так. В тёплый летний денек мы с мамой пошли в лес за грибами. Небо было чистым и ясным. Ни одного облачка! Я пытался глазами поймать движение солнца на небе. Оно нещадно слепило, вызывая резь и слёзы в глазах. Углубились в чащу, солнце спряталось среди высоких деревьев, а я увлекся другим. Ведь вокруг было столько грибов!

Неожиданно деревья расступились, и мы оказались на просторной поляне. Солнце вступило в свои права, и казалось, что оно светит ещё ярче и сильнее. Усеянная цветами поляна была залита светом. Бабочки, стрекозы с посеребренными от солнца крылышками, стрекозующие кузнечики – все радовались теплу и свету.

Я невольно вернулся к своей игре, вновь пытаюсь рассмотреть этот светящийся объект, который приносит столько радости. Мне очень хотелось понять, как оно светит, и почему от него идёт такое тепло. Но уже через пару секунд перед моими глазами возникло тёмное пятно, я зажмурился и резко опустил голову, что не осталось без внимания мамы.

– Что случилось? – спросила она.

– Я хотел рассмотреть Солнце.

– Не стоит этого делать, можно себе навредить.

Я заупрямился. Ведь солнце такое доброе и ласковое, и ждёшь от него только хорошего. Но мама была неумолима.

И вот тогда я впервые узнал, что солнце – это звезда. Оно действительно доброе и каждый день дарит необходимый свет, тепло всему живому и даже саму жизнь. Но эта звезда – невероятной силы, она ближе всех и создаёт самый яркий свет на земле. А наши глаза так устроены, что солнечные лучи, проникая сквозь них, могут повредить

орган, точнее, ту часть глаз, благодаря которой мы видим. Она называется сетчаткой. И чем ярче свет, тем сильнее его давление на глаза.

– Но если солнце – тоже звезда, то почему звёзды такие разные? Одна звезда, которая светит днем, даже при взгляде на нее вредит нашим глазам, а на вечернем небе на звёзды можно смотреть бесконечно долго? – задал я очередной вопрос.

– Ах ты, Светознайка – рассмеялась мама. Все дело в расстоянии. Другие звёзды тоже яркие, но они расположены в миллионы и даже миллиарды раз дальше от нас, чем Солнце. Солнце – самая близкая к нам звезда. Свет других звёзд значительно слабее, и кажутся они нам маленькими только потому, что они очень-очень далеко. Мы видим их только ночью, причём не только отдельные звёзды, но даже целые созвездия, в которые они собираются. Небо ночью напоминает черное полотно, на котором будто художник рисует светом разные образы и фигуры, похожие на живые существа. Мы видим эти созвездия потому, что каждая из звёзд дарит свой свет, а вместе они создают световой рисунок.

Вечером я вышел в сад и долго смотрел на звёзды. В руках у меня был карандаш. С его помощью я обводил созвездие Большой Медведицы, о котором услышал от мамы, чтобы запомнить его очертание. Нечаянно край грифеля карандаша накрыл одну из звёзд, и я подумал, что потерял её. Но вдруг увидел, что свет прикрытой звезды пробивается вокруг грифеля и разбегается в разные стороны. Только тогда я понял окончательно, как велика сила света.

Попробуй сам!

На следующий день мама купила мне солнечные очки, чтобы защитить мои глаза от Солнца, когда мне захочется ещё раз посмотреть на него. А у меня возник следующий вопрос: как и почему очки с затемнёнными стёклами могут защитить наши глаза от солнца? Но об этом мы поговорим при следующей нашей встрече.

**Н. И. Смагин,**  
журналист-копирайтер МСК «БЛ ГРУПП»



# ЭКСПЕРИМЕНТЫ СО СВЕТОМ

Лучший способ закрепить любой сложный материал – отработать его на практике. Поэтому мы предлагаем вам проделать несколько экспериментов со светом, которые помогут «живьём» разобраться с некоторыми свойствами этого природного явления.

## Опыт № 1. «Сломанный луч»

Разобраться в способности света изменять траекторию движения нам поможет простой эксперимент.

- Для начала дождись погожего солнечного денька, чтобы облачность не помешала опыту.
- Возьми лист картона и проделай в нём два отверстия размером  $5 \times 10$  мм.
- Подставь картон под солнечные лучи – свет пройдёт сквозь щели, отобразившись на столе в виде двух ярких пятен света.
- Теперь возьми стеклянный стакан, наполненный водой на треть, и подставь его под солнечный луч,

проходящий сквозь щель в картоне. Луч должен падать прямо в воду.

- А теперь попробуй наклонить стакан. Заметил изменение?
- Солнечный луч, преодолевая жидкость, поменял своё направление – «солнечный зайчик» под стаканом оказался в другом месте.

Изменим условия задачи.

- Проведи такой же эксперимент в полутьме. Это позволит увидеть не только пятна света, а также лучи – прямой и преломлённый.

Давай ещё поэкспериментируем!



Опыт № 1. «Сломанный луч»

- Добавь в воду сахар или соль, хорошенько размешай и повтори опыт.
- Луч света, проходящий сквозь жидкость, искривится ещё сильнее.

## Опыт № 2. Танцующие тени

Предлагаем вам на практике понять такое уникальное световое явление, как тень.

- Сначала нужно вырезать из картона несколько человеческих фигурок и повесить их напротив белой стены.
- За фигурками поставь несколько свечей.
- Фигуры отбросят столько теней, сколько ты зажжёшь свечей.
- Попробуй подвигать свечи в разные направления и тени примутся плясать.

Давай сделаем настоящий театр теней!

- Затяни дверь в комнату белой простыней.

- Сам останься с одной стороны, а зрителям предложи разместиться с другой.
- Поставь перед «экраном» стол.
- Вырежи в листе картона две танцующие фигуры и приколоти его к торцу стола (перпендикулярно столешнице).
- На столе перед листом вертикально установи деревянный брусок, на который прикрепи на разной высоте кусочки проволоки.
- На каждый кусочек проволоки установи свечу.
- Теперь зажги свечи – на экране появится много светлых фигур.
- Если покрутить деревянный брусок, фигуры станут двигаться.
- Чтобы «театральное действие» стало интереснее, можно зажигать свечи по очереди.

Если передвигать стол вперед и назад, фигурки будут уменьшаться или увеличиваться.

**Успехов!**



Опыт № 2. Танцующие тени

# ПОЭТИЧЕСКАЯ ПЕРЕСМЕНКА

Ребята, после сложного научного материала важно немного отвлечься и поиграть. Мы предлагаем вам прочесть наши стихи-загадки. В каждом стихотворении пропущено одно слово. Отгадай его, заполни пропуск и получится настоящее поэтическое произведение! Это позволит тебе весело провести время и попрактиковаться в стихосложении. А в конце задания тебя ждут стихотворения наших юных читателей.

## ЗАГАДКИ

\* \* \*

Небо долго было в тучах.  
Ветерок задул покруче –  
И вдруг вышел из-за туч  
Добрый, яркий Солнца ... !

\* \* \*

Телефон зарядил и в компьютер сыграл,  
Яркий свет подарил, мультик всем показал!  
Кто всё это сделать смог?  
Это наш всесильный ... !

\* \* \*

Комнату Солнце лучом веселит.  
Играет с зеркалом маленький мальчик.  
Кто же на стенах так ловко шалит?  
Яркий и быстрый солнечный ... !

\* \* \*

Его мы видим, чувствуем,  
Но потрогать – нет-нет!  
Что за чудо такое?  
Солнечный ... !

\* \* \*

Что встречает по утрам,  
Когда глядим в оконце?  
Шторы распахнём, а там –  
Ярко светит ... !

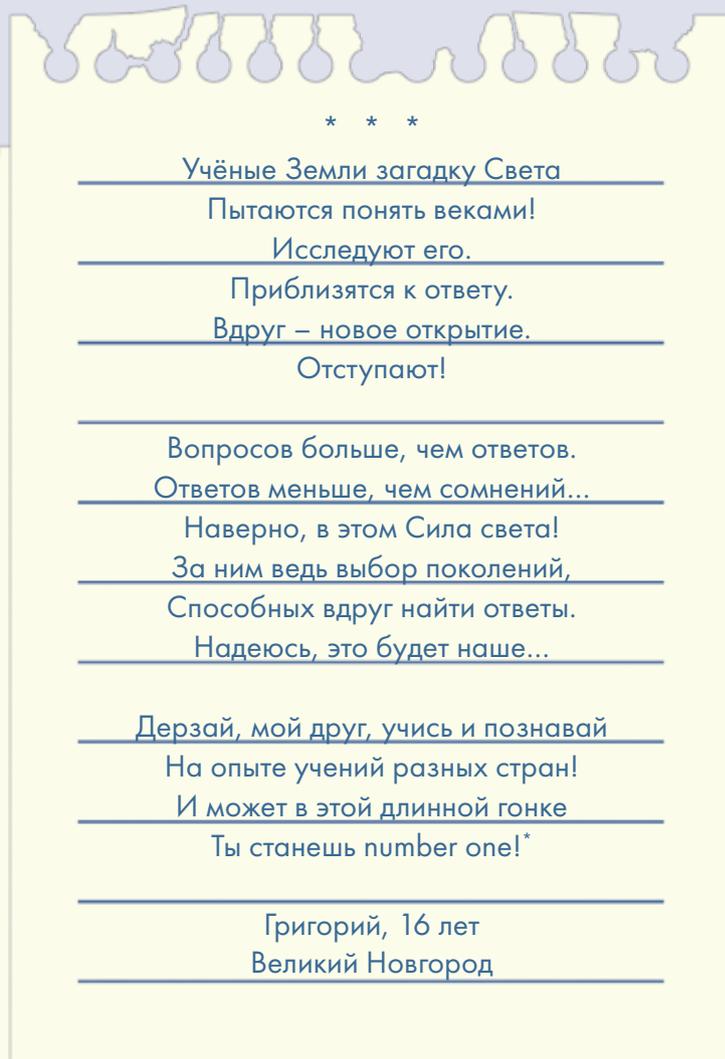
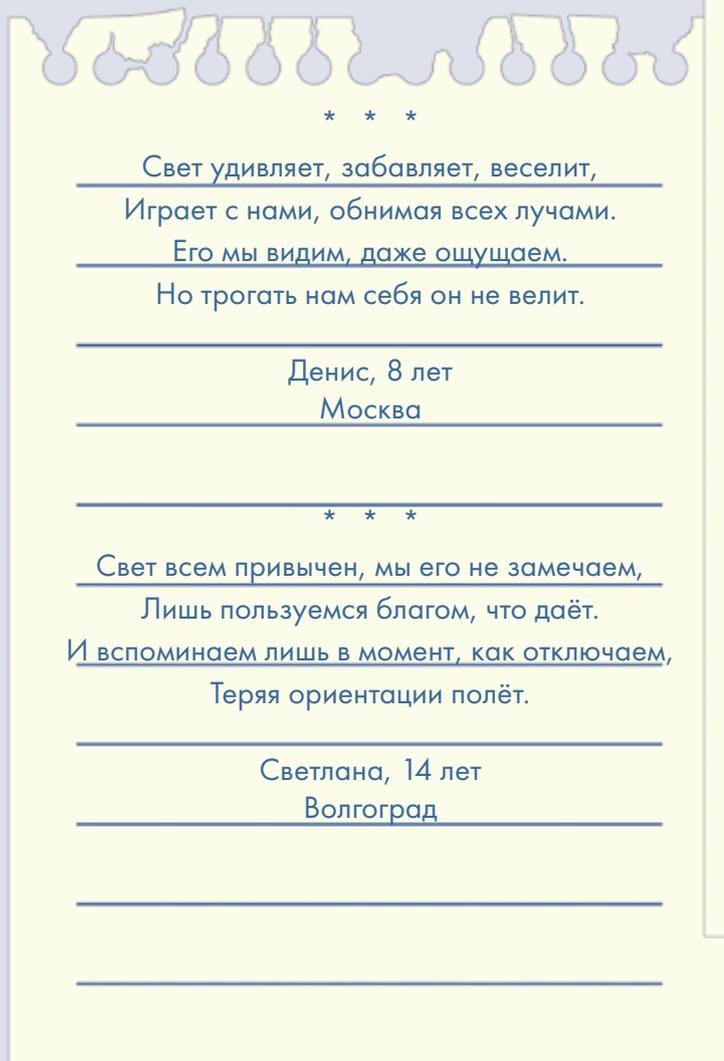
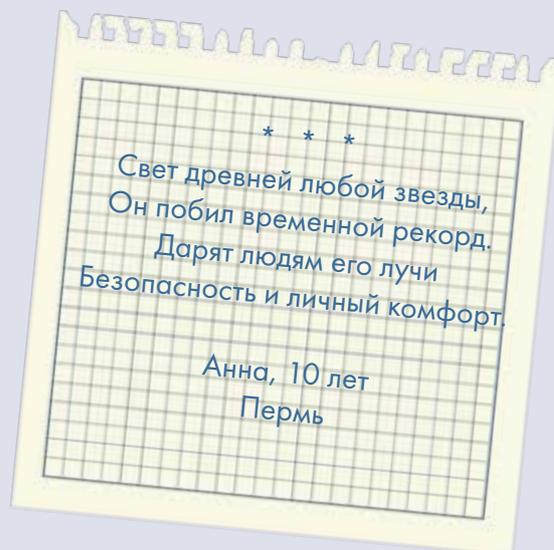
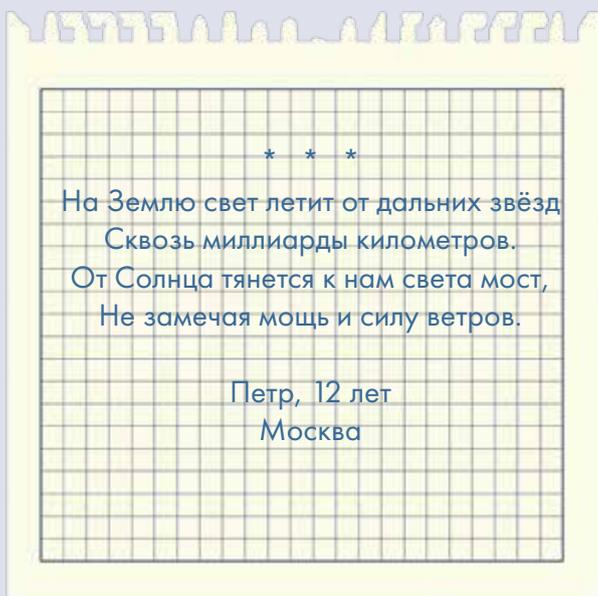
\* \* \*

Питает приборы, несёт людям свет  
Воистину – Его величество!  
Земля засыпает, когда его нет  
Что же это? ... !

\* \* \*

У подъезда встречает в позднюю ночь  
Как только включаем рубильник  
И тьму разгоняет в мгновение прочь  
Прибор всем полезный – ... !

## Вот, как о свете пишут наши юные читатели



\* Номер один

# СВЕТ – ДИРИЖЁР НАСТРОЕНИЯ

**Ты когда-нибудь задумывался о том, что свет может влиять на настроение? Например – создавать ощущение праздника или символизировать чувства? Об этом вам расскажет журналист-копирайтер Н. И. Смагин.**

У света – богатейшие художественные возможности и неограниченный эстетический потенциал! Он легко может раскрыть красоту архитектуры здания или создать атмосферу сказки в парке. Особые эмоции вызывает динамичное освещение, так называемые цветодинамические сценарии. Представь, что различные цвета переливаются на поверхности здания, как бы играют. С их помощью можно изобразить любой сюжет.

Расскажу тебе о передаче эмоций с помощью света на примере Мемориала освободителям Белграда в столице Сербии. Этот памятник посвящён воинам Красной и Народно-освободительной армий, которые в 1944 году ценой множества жизней освободили Белград от сил фашистской Германии. В честь подвигов наших предков в центре мемориальной композиции установлена фигура красноармейца.



*Фигура красноармейца*

В 2019 году к очередной годовщине освобождения Белграда городские власти приурочили реконструкцию мемориала. Чтобы создать его новый вечерний образ, они пригласили российских светотехников. Была поставлена цель с помощью света показать братские чувства народов России и Сербии.

Авторы проекта решили использовать сочетание белого, синего и красного цветов, которые присутствуют в государственных флагах двух стран. Именно так можно было пробудить патриотические

чувства и показать, что наши народы в культурном аспекте настолько близки, что даже флаги у нас похожи.

На входе в мемориальный комплекс расположено несколько арок, и именно на них засияли первые флаги, созданные с помощью света. В праздничные дни одна арка окрашена красным, следующая – синим, а соседняя – белым. Посмотришь с одной стороны – флаг Сербии, а с другой – флаг России.

Заходим внутрь комплекса. Нас встречает центральная аллея, в завершении которой фигура красноармейца. А по бокам ряды деревьев и мемориальные плиты с могилами героев. И здесь удивительным образом снова создаются флаги! Ближайшие к краям плиты подсвечены белым светом, центральный ряд – синим, а ближайший к центральной аллее – красным. Когда «включаются» эти флаги, а ты смотришь на памятник, в душе



*Мемориал освободителям Белграда в столице Сербии*

сами собой появляются слова благодарности предкам за то, что сохранили независимость нашей Родины и позволили нам жить в мире.

Есть в освещении этого мемориала и дополнительные световые эффекты. Например, входные арки украшены барельефами, на которых изображены сцены боевых действий и встреча воинов-победителей с жителями города. Они выделены янтарным светом, который напоминает отблески Вечного огня. Этот свет напоминает о благодарности героям!



Центральная аллея  
Мемориального комплекса



А деревья на аллее украшает «объёмный» свет, благодаря которому они кажутся величественными и дополняют атмосферу мемориала. Словно эти деревья помнят те страшные дни, а в их шелесте слы-

шится предостережение: живите в мире, не допустите войны в будущем!

А какие примеры объектов, где свет влияет на настроение, известны тебе?



«Объёмная» подсветка деревьев на территории Мемориала

# КАК СОЗДАТЬ СКАЗОЧНУЮ КРЕПОСТЬ С ПОМОЩЬЮ СВЕТА?

В новой рубрике нашего издания «Свет преображает» Никита Смагин, журналист-копирайтер МСК «БЛ ГРУПП», расскажет о том, как свет преображает различные здания и сооружения, превращая их в волшебные замки.

Представь, ты – в обычном городском парке. Перед тобой – ковры из зелёной травы, изрезанные пешеходными дорожками. По сторонам ровными рядами окружают деревья. Где-то недалеко слышится журчание ручья, и ты знаешь – ещё два поворота, и ты выйдешь к небольшой речке. Отдалённые звуки автомобилей напоминают, что не так далеко и жилые кварталы.

Вот ты выходишь на открытое пространство, и сразу обращаешь внимание на странное каменное сооружение. Оно раскинулось своими арками над небольшой низиной. Кажется, будто это – мост, и что здесь тоже должна быть река, но её нет.

Это таинственное сооружение – Ростокинский акведук в Москве. Ты спросишь, что это за незнакомое слово? Акведук – это наземный водопровод, который в древности использовался для транспортировки воды. Ты мог слышать о таких сооружениях на уроках истории, географии или МХК: они широко использовались у древних римлян и других народов.

Этот акведук по меркам истории молод. Он был построен в 1784 году с целью обеспечить жителей Москвы чистой питьевой водой. Вода по нему шла от Мытищинского водопровода, который, в свою очередь, забирал воду у источников в районе города Мытищи. Строительство 356-метрового со-



Ростокинский акведук. Общий вид



*Пешеходная галерея на вершине Ростокинского акведука*

оружия стало для города проектом такого же размаха, как сейчас создание Москва-Сити. Но ценой огромных затрат результат был достигнут: население стабильно получало чистую воду.

Сейчас акведук используется только как галерея для прогулок и является главной достопримечательностью одноимённого парка. А в 2004 году в его жизни произошло важное событие. Российские светотехники в честь 220-летнего юбилея акведука осветили его и тем самым радикально поменяли его образ.

Теперь вечерами акведук превращается в сказочную стену, которая возвышается над парком и выделяется своим сиянием на общей панораме. Многим он напоминает стену средневековой крепости с её галереями и окнами-бойницами. Внутри можно погулять и полюбоваться на игру света и тени. А если тебе нравится фотографировать, то это место – точно для тебя, ведь именно здесь ты сможешь создавать самые необычные фотографические эффекты!

Это – хороший пример того, как освещение полностью преобразует объект, и тот после заката в лучах прожекторов играет роль, точно настоящий актёр. Не зря в 2019 году, когда акведук празднует уже 235-летний юбилей, здесь каждый вечер гуляет множество людей. А какие здания с красивым освещением известны тебе?

# ПРОЕКТИРУЕМ С ПРОФЕССОРОМ ЛЮКСОМ

Редакция журнала «Светотехника» для детей и их родителей продолжает серию статей, посвященных компьютерным программам для начинающих светотехников. Из наших материалов Вы почерпнете много полезной информации – о проектировании, освещении, светильниках, оптике и многом другом. В этом номере студентка первого курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Н. Соседко и профессор Люкс расскажут нам о программе DIALux evo 8.1.

Здравствуйте, мои дорогие друзья! Я, профессор Люкс, очень рад нашей с вами новой встрече! В прошлом выпуске журнала мы с вами с помощью программы DIALux evo 8.1 создали свой первый проект – мою комнату. Надеюсь, вам понравилось и, пока я готовился к нашей встрече, вы потренировались самостоятельно и создали ещё что-нибудь интересное! Но если не успели, то никогда не поздно начать! А сегодня я расскажу вам чуть подробнее о непростой, но ужасно увлекательной задаче светопроектировщика.

Если вы только что присоединились к нашей команде проектировщиков и дизайнеров, то загляните сначала в Специальный выпуск №2, 2019 года «Для детей и их родителей» журнала «Светотехника» (с. 78) и познакомьтесь с работой в программной среде DIALux evo 8.1.

Ни для кого не секрет, что свет является важной частью нашей жизни, сильно влияет на её качество и самочувствие любого живого существа. Одна из задач светотехника – обеспечить качественное освещение проектируемого объекта – помещения или всего здания. Сегодня мы с вами познакомимся с некоторыми основными принципами, которыми руководствуются люди нашей профессии.

Главным документом в России для проектирования света стал СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Для того, чтобы понимать, какой уровень освещённости должен быть в том или ином помещении, необходимо открыть этот документ, найти в Приложении Л (обязательном) «Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий, помещений и сооружений объектов общепромышленного назначения» Таблицу Л.1 – Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий. В ней имеются данные,

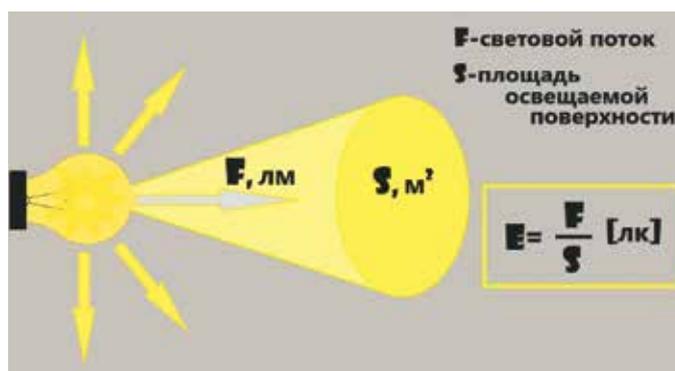


Рисунок 1. Освещенность

необходимые для грамотного освещения различных типов помещений. В нашем случае стоит заглянуть в раздел «Жилые дома» – 187 Жилые комнаты. Посмотрите самостоятельно, какой должна быть освещённость рабочих поверхностей при общем освещении. А я тем временем расскажу, что такое освещённость.

Освещённость – величина, которая показывает, какое количество света падает на поверхность (например, стола). Обозначается буквой  $E$ , измеряется в люксах [лк]. Освещённость определяют две величины – световой поток ( $\Phi$ ), измеряемый в люменах [лм], и площадь поверхности, на которую падает этот световой поток ( $S$ ),  $m^2$ . В простейшем случае, если не учитывать отражение от поверхностей, световой поток, условно говоря – количество света, которое излучает источник света. Для понимания этой величины вам поможет рисунок 1.

Итак, мы познакомимся с главным нормируемым параметром при проектировании света – освещённостью. С помощью СП 52.13330.2016 узнали, что для моей комнаты необходимо обеспечить  $E = 150$  лк. Но это ещё не всё. Вторая значимая светотехническая величина – цветовая температура ( $T_{цв}$ ). Не буду путать вас сложными определениями, скажу проще – вы, наверное, замечали, что

у белого цвета есть множество оттенков: одни белые вещи отливают голубым, а другие – желтоватым, но, тем не менее, все они белые. То же касается и света – белый бывает голубоватым (например, свет люминесцентных ламп, используемых в настоящее время преимущественно в больницах и офисах), желтоватым (традиционные лампы накаливания) и нейтральным. На Рисунке 2 вы можете увидеть то, как мы субъективно ощущаем оттенки света с привязкой к температуре в Кельвинах. Внимание! Цветовая температура не имеет никакого отношения к привычной нам температуре воздуха или самого светильника! Это лишь показатель визуального восприятия света, выраженный числом. Физически цветовую температуру ощутить невозможно.

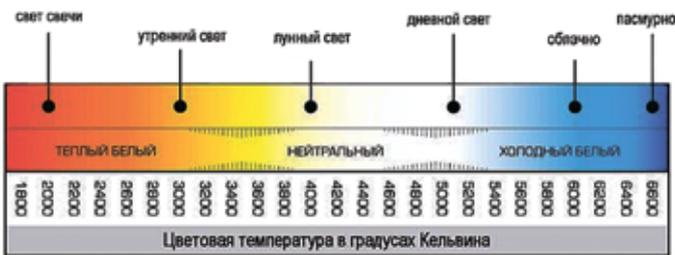


Рисунок 2. Цветовая температура

Вам, наверное, интересно, почему цветовая температура так важна? Ответ прост – она влияет на наше самочувствие. Множество исследований показало, что синее излучение подавляет выработку мелатонина – гормона, управляющего жизненным ритмом человека. Чем его больше, тем сильнее нас клонит в сон. Получается, голубоватый (или холодный) свет нас бодрит, а желтоватый (тёплый) – расслабляет. Раз мы освещаем комнату, где я провожу уютные вечера после напряжённого рабочего дня и готовлюсь ко сну, необходимо создать обстановку, которая будет этому способствовать – нужно использовать источники света с низкой цветовой температурой.

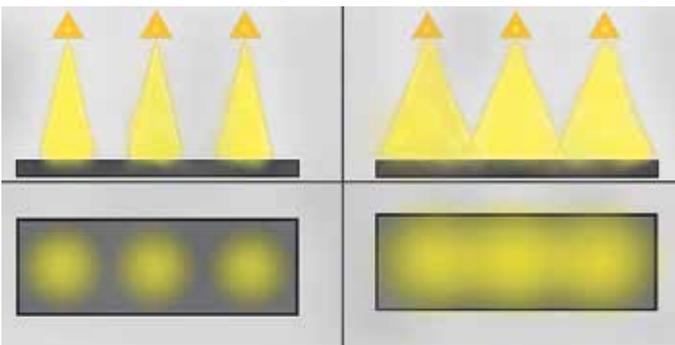


Рисунок 3. Распределение света от нескольких источников на горизонтальной поверхности

Ещё одно требование к освещению помещения спальни – его равномерность. Как этого добиться? Посмотрите на рисунок 3. Вы видите два варианта освещения поверхности. Чем они отличаются?

Слева пучки света, исходящие от лампы, образуют на поверхности самостоятельные пятна света, справа же пучки широкие и, накладываясь друг на друга, сливаются в единое целое, освещая поверхность практически полностью – более равномерно. Первый вариант освещения заставляет глаза напрягаться, и человек вскоре почувствует усталость, а второй вариант для комнаты подходит больше. Но не стоит думать, что световая «пятнистость» нигде не используется! Это – излюбленный

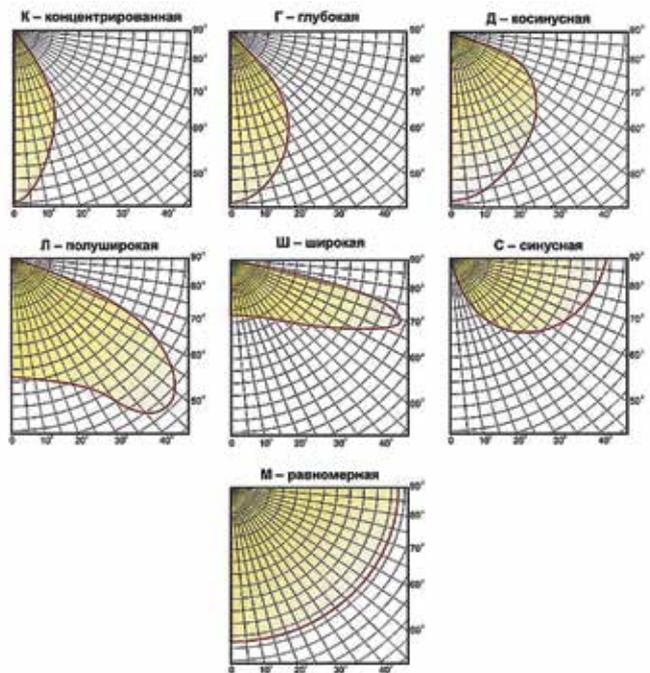


Рисунок 4. Виды кривых силы света

приём в музейном освещении, витринном, ландшафтном и др. С его помощью, например, можно сделать световую дорожку в огромном зале, и люди интуитивно будут идти по ней, хотя могли бы выбрать любое другое направление! Ну и кто скажет после этого, что светотехники – не волшебники?

То, что я назвал световыми пучками, в светотехнике принято именовать кривой силы света (КСС). Ранее я уже упоминал понятие светового потока  $\Phi$ , так вот кривая силы света показывает, каким именно образом распределяется поток в пространстве. Давайте рассмотрим примеры КСС на рисунке 4. Как видите, они могут быть практически любой формы, преимущественно симметричные (на ри-

сунке 4 изображена лишь половина КСС, вторая – симметрична изображённой). Чем уже КСС, тем выше освещённость в центре светового пятна, то есть поток более сосредоточенный, поэтому такая кривая силы света и называется концентрированной.

Для жилой комнаты в целом нет ограничений по КСС, но лучше использовать равномерную, косинусную или полуширокую, чтобы свет попадал не только на пол, но и на стены, так помещение будет более насыщено светом.

Подведём итоги краткого экскурса по необходимым для начала знакомства с профессией светопро проектировщика параметрам:

1. Перед началом проекта нужно в СП 52.13330.2016 найти требуемые уровни освещённости вашего типа помещения. Мы определили для себя 150 лк;
2. Грамотно выбрать КСС в зависимости от того, какое помещение вы освещаете и какого эффекта хотите добиться. Выбираем между равномерной, косинусной и полуширокой;
3. Выбрать цветовую температуру источника света в зависимости от того, какую атмосферу

жение светового пучка светильника (рисунок 5). Как видите, пучок довольно широкий и должен нам подойти.

Пролистываем ещё ниже и выбираем, как показано на рисунке 6, Extra wide flood, 3000K CRI 82, Switchable. Сайт нам предлагает два варианта: светильники с одинаковыми характеристиками, но в разных корпусах – серебряном и чёрном. Выбирайте тот, что вам по душе. Пролистываем открывшуюся страницу до конца и в разделе Design data ставим флажок IES data, после чего щёлкаем по кнопке Download. Вам будет предложено найти или сохранить файл – сохраняем. Вернёмся во вкладку «Свет» программы DIALux evo. Удобнее будет работать в режиме «Вид сверху» – выберем «Вид горизонтальной проекции». В левом меню в разделе «Светильники» выберем «Импортировать файл светильников». В появившемся окне щёлкаем на скаченный файл и нажимаем «Открыть». В диалоговом окне IES Import и характеристики жмём «Далее» и «Завершить». Ура! Светильник появился в окошке «Активный светильник». Нажмём кнопку «Автоматическое распределение для зон», и программа самостоятельно



Рисунок 5. Светильник Jilly linear ERCO



Рисунок 6. Подбор характеристик светового прибора

вы хотите создать – рабочую или расслабляющую. Для тёплых вечеров подберём низкую  $T_{цв} \approx 1800-3500$  К.

Открываем ранее созданный нами проект комнаты! Вы уже знаете, как открывать каталоги изготовителей в DIALux evo. Выбираем каталог ERCO и в строке меню сайта, располагающейся в верхней части страницы, нажмём Products, из выпадающего списка нам нужен раздел Indoor, листаем вниз, пока не найдём светильник Jilly linear, щелчком мыши по нему откроем его характеристики. В строке меню выбираем Application, пролистываем страницу вниз и находим изобра-

равномерно распределит активные светильники в помещении.

Давайте проведём расчёт и посмотрим, хорошо ли мы осветили мою комнату. В верхней части окна программы DIALux evo находим кнопку «Весь проект» с изображением калькулятора. Нажимаем. После расчёта получаем следующую картину – рисунок 7.

Как видите, средняя освещённость  $E_{ср} = 609$  лк, а нам нужно 150 лк. Значит, четыре светильника, предложенные программой, – слишком много для моей комнаты. Правой кнопкой мыши щёлкаем по одному из светильников и выбираем из вы-

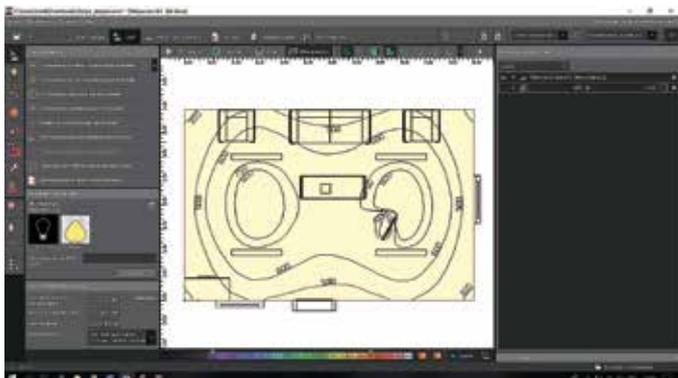


Рисунок 7. Результаты 1-го расчета освещенности

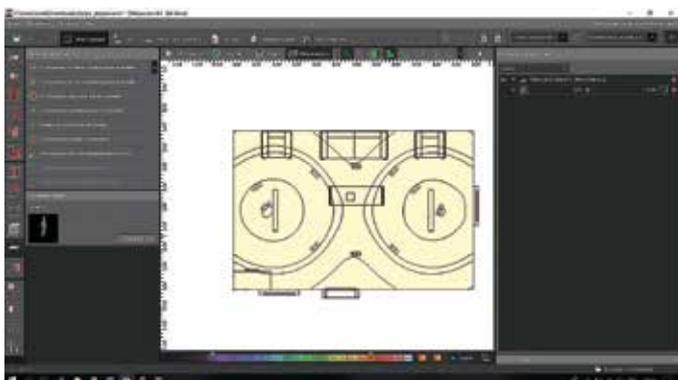


Рисунок 8. Результаты 2-го расчета освещенности

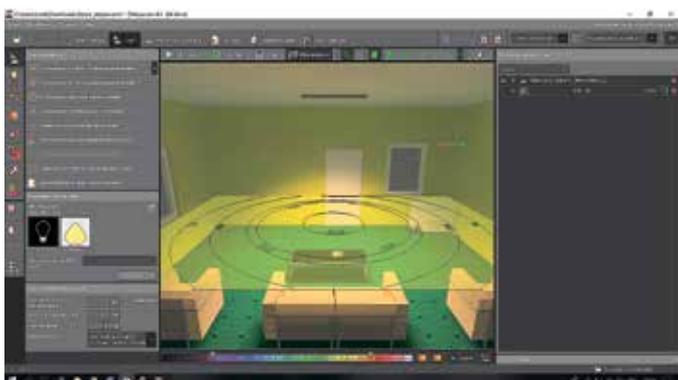


Рисунок 9. Результаты 3-го расчета освещенности

на рисунке 8 – средняя освещённость в два раза больше необходимой. Оставим 1 светильник в центре помещения, расположенный перпендикулярно торцевой стене, рисунок 9.

Средняя освещённость, равная 176 лк, – достаточно хороший результат. Допустимое отклонение освещённости от нормального значения составляет порядка 20%, т. е. 120–180 лк. Комната стала очень уютной, но было бы неплохо добиться равномерности света. А это вам домашнее задание! Вы теперь обладаете всеми необходимыми знаниями для того, чтобы сделать это самостоятельно! Тренируйтесь, экспериментируйте и ни в коем случае не сдавайтесь, тогда у вас всё получится! Желаю успехов! До новых встреч!



падающего списка «Обработать линию растра». Появятся вертикальные линии, проходящие через центры светильников. Нажмём правой кнопкой мыши на правую вертикальную линию и выберем «Удалить линию растра». Осталось только два световых прибора. После щелчка по кнопке «Вращать» повернём светильники на 90°. Затем снова перейдём в режим обработки линии растра и, удерживая левую кнопку мыши на горизонтальной линии, переместим светильники в центр. Далее таким же образом разведём световые приборы в разные части комнаты. Снова нажмём «Весь проект». Результаты можно увидеть

# ВНИМАНИЕ!

## РАЗЫСКИВАЕТСЯ АВТОР

---

**Ж**урнал «Светотехника» для детей и их родителей приглашает к сотрудничеству начинающих авторов. Редакция предлагает всем желающим направлять свои работы, посвящённые свету и светотехнике. Лучшие тексты будут опубликованы в ближайшем номере издания.

Создание научно-популярного журнала для молодого поколения – дело непростое. Ведь наша задача – понятно и в то же время увлекательно рассказывать о таком сложном явлении, как свет и очень интересной науке – светотехнике. Мы совершенствуемся с каждым выпуском, стремимся стать полезнее и интереснее для юных исследователей и делаем очередной шаг – приглашаем к сотрудничеству начинающих авторов.

Приглашаем школьников, студентов, их родителей, педагогов вузов, школ и всех влюблённых в свет и светотехнику стать нашими авторами.

Формат ничем не ограничен. Это может быть статья, эссе, описание научного исследования или эксперимента и даже фотопроект или разработанный дизайн светильника. Авторство может быть как индивидуальное, так и групповое.

Друзья, мы ждём серьёзные, продуманные работы, посвящённые конкретной теме. Ваши исследования должны обладать актуальностью, новизной и чёткой структурой, а главное должны быть нацелены на открытие новой страницы в исследовании такого уникального явления как свет.

Конечно, будут публиковаться только лучшие работы, одобренные редакционной коллегией журнала. Дерзайте, творите, не бойтесь экспериментов!

Работы необходимо направлять на электронный адрес: [basov@l-e-journal.com](mailto:basov@l-e-journal.com). Необходимо указать Ф.И.О., контактные данные (телефон, электронную почту), учебное заведение, класс/курс. Объём текстовых работ: от 1 до 10 страниц, объём фоторабот: до 10 изображений. По всем вопросам обращайтесь по электронной почте [basov@l-e-journal.com](mailto:basov@l-e-journal.com).

**Желаем удачи!**

## ПРОСПЕКТ ИМЕНИ ЖУКОВА В ВОЛГОГРАДЕ

По светлым скверам и паркам гулять каждый рад  
Сделал ночь безопасней «Светосервис-Волгоград»!



# КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Акведук** – водовод (канал, труба) для подачи воды к населённым пунктам, оросительным и гидроэнергетическим системам из расположенных выше их источников

**Аргон** – инертный одноатомный газ. Не обладает ни запахом, ни цветом, ни вкусом. Негорючий и невзрывоопасный.

**Астрономия** – наука о движении, строении, возникновении, развитии небесных тел, их систем и Вселенной в целом.

**Вольфрам** – химический элемент. Представляет собой твёрдый блестящий серебристо-серый переходный металл. Вольфрам – самый тугоплавкий из металлов. Является материалом для нитей накала.

**Вольтов столб** – устройство, применявшееся на заре электротехники для получения электричества.

**Дисперсия света** – явления перераспределения света в пространстве, которые возникают в результате зависимости показателя преломления от длины волны или частоты:  $n = f(\nu)$  или  $n = f(\lambda)$ , где  $n$  – показатель преломления,  $\lambda$  – длина волны, а  $\nu$  – частота электромагнитного излучения.

**Интерференция света** – наложение нескольких световых волн, в результате которого световые колебания усиливаются либо уменьшаются.

**Катод** – электрод, из которого вытекает электрический ток.

**Корпускула** – мелкие частицы, которые использовались в лучевой теории для описания природы света.

**Лучина** – тонкая длинная щепка сухого дерева, предназначенная для растопки печи или для освещения избы. Для получения лучин полено щепили, то есть разделяли на щепы.

**Люминофор** – вещество, которое преобразует невидимое электромагнитное излучение в видимое человеческим глазом излучение (свет).

**Люминесцентная лампа** – ртутная разрядная лампа низкого давления, основная доля видимого излучения (света) в которой образуется в результате преобразования в люминофоре электромагнитного излучения ультрафиолетового диапазона спектра.

**Микроскоп** – прибор, позволяющий получить увеличенное изображение мелких объектов, предметов и их деталей, не различимых невооружённым глазом.

**Навигация** – наука о способах проведения корабля точно по намеченному пути с помощью навигационных приборов и пособий для плавания.

**Осмий** – химический элемент. При стандартных условиях представляет собой блестящий серебристо-белый металл с голубоватым отливом.

**Пиротехника** – отрасль техники, связанная с производством и применением огневых составов и снаряжаемых ими изделий (ракет, фейерверков, серных шашек и т. п.).

**Ртуть** – ядовитый химический элемент, который содержится в энергосберегающих люминесцентных лампах.

**Светодиод** – это полупроводниковый источник света.

**Свечетц** – приспособление для укрепления горящей лучины или факела.

**Сферическая абберация** – ошибка при формировании изображения в оптической системе, возникающая из-за сферической формы линзы.

**Телескоп** – астрономический инструмент для изучения небесных светил по их электромагнитному излучению.

**Точка Лагранжа** – точки в системе двух космических тел с большой массой, в которых третье тело с небольшой массой может быть неподвижным на протяжении долгого периода времени относительно этих тел.

**Ультрафиолет** – невидимое глазом излучение. Ультрафиолетовое излучение, например, возникает в энергосберегающих люминесцентных лампах, а с помощью люминофора преобразуется в видимое излучение.

**Фотон** – элементарная частица, квант электромагнитного излучения (в узком смысле – света). Это безмассовая частица, способная существовать в вакууме только двигаясь со скоростью света. Электрический заряд фотона также равен нулю.

**Электромагнитная волна** – распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля.

**Электрическая дуга** – горение электрического разряда между двумя электродами.

**Электрон** – элементарная частица, несущая минимальный отрицательный заряд.

**Электрод** – проводник в виде пластинки, сетки, стержня, шара и т. д., через который электрический ток проходит в жидкость или газ.

**Эфир** – гипотетическая светонесущая субстанция, в которой распространяются электромагнитные волны, подобно звуку в воздухе. Обладает инертностью, невесомостью, окутывают всю Вселенную.