ISSN 0039-7067

№4 • 2020

СВЕТОТЕХНИКА

Специальный выпуск

Для детей и их родителей

Быстрее чем свет

«Крылатая» лаборотория

Кремлевские тайны

12+

Международная светотехническая корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

www.svetoservis.ru

Светом управляем — Энергию сберегаем!

ООО "СВЕТОСЕРВИС ТМ"
129626, Москва, 1-й Рижский переулок, д. 6, стр. 2

+7 (495) 780-75 98
+7 (800) 250-75-98

Друзья!

Перед вами четвёртый выпуск журнала «Светотехника» для детей и их родителей. Мы приложили все силы, чтобы сделать очередной номер журнала ещё более интересным, а главное, познавательным и полезным для юных светотехников. На его страницах вас ждут передовые открытия, любопытные исторические факты, увлекательные эксперименты и многое другое. Надеемся, каждый найдёт что-нибудь себе по душе.

По нашей доброй традиции вместе с главным редактором журнала «Светотехника» доктором технических наук, профессором Владимиром Павловичем Будаком мы продолжим погружение в историю светотехники – на этот раз нас ждут увлекательные факты из биографии Тихо Браге и Иоганна Кеплера. Рубрика «Историческая миниатюра» приоткроет вам удивительные секреты звёзд Московского кремля и нелёгкую судьбу красных светил, а в разделе «Свет и здоровье» мы расскажем вам, как с помощью света можно «заглянуть» внутрь человеческого тела.

Мы отправимся в удивительное путешествие к Солнцу, чтобы узнать, как же устроен главный источник энергии в Солнечной системе – обязательно присоединяйся к экспедиции! Ждут вас и самые современные достижения светотехники – световоды-щупальца, способные доставить свет в самые недоступные места, летающие лаборатории, позволяющие оценить освещение в теплицах, и «умное» архитектурное освещение. А для любителей фотографии мы подготовили материал о важнейшей составляющей фотоискусства – выдержке.

Для самых смелых и любознательных читателей мы предлагаем мастер-класс по проектированию освещения в квартире! Вам предстоит создать освещение в каждой комнате. Задачка не из лёгких, но мы вам обязательно поможем.

Конечно, в номере есть и развлекательный материал – кроссворд, викторина, светотехнические эксперименты и даже сказка о приключениях тени! Обещаем, что скучать не придётся.

Наверное, вам уже не терпится погрузиться в мир светотехникики? Дерзайте! Открывайте новое, расширяйте горизонты знаний, экспериментируйте, развивайтесь, становитесь настоящими светотехниками. А мы вам в этом поможем! Ждём ваших отзывов о нашем журнале, предложений, пожеланий и публикаций. Мы хотим развиваться вместе с вами!

Профессор Люкс и Светознайка

СВЕТОТЕХНИКА
LIGHT & ENGINEERING

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Издается с января 1932 года

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; lamptech@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 (Geordes Zissis), университет Тулузы;
Индия
Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar), университет Джадавпур;
Словения
Грега Бизяк (Grega Biziak), Люблянский университет;
Турция
Тугсе Казанасмаз (Tugce Kazanasmaz), Измирский технологический институт;
Эрдал Шехирли (Erdal Sehirli), 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

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.

СОДЕРЖАНИЕ

№ 4 • 2020
сентябрь

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

«Вкусный» цвет 4

ИСТОРИЧЕСКАЯ МИНИАТЮРА

Кремлёвские тайны. Как зажигали самые известные звёзды страны 12

ПЫТЛИВЫЕ УМЫ

Свет и выдержка 16

ИЗ ЖИЗНИ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ

На пороге новой системы мира 22

СВЕТОТЕХНИКА КАК ПРИЗВАНИЕ

Как стать светотехником? Рецепт Владимира Павловича Будака 28

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

У света «длинные руки» 31

«Крылатая» лаборатория 35

Быстрее, чем свет 38

СВЕТ И ПРИРОДА

Добро пожаловать на Солнце 44

СВЕТ И ЗДОРОВЬЕ

Вижу тебя насквозь. Как работает МРТ 50

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

Подумай и реши 56

Светотехническая викторина 58

СВЕТ ПРЕОБРАЖАЕТ

Свет – главный архитектор 60

ВИРТУАЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Проектируем с профессором Люксом 64

3D-моделирование на службе светотехники . . 72

СТРАНИЧКА ДЛЯ МЛАДШИХ БРАТЬЕВ И СЕСТЁР

Эксперименты со светом 78

В погоне за тенью (сказка) 80

Краткий словарь терминов 82

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 01.07.20. Подписано в печать 10.08.20.
Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,5. Тираж 999 экз.
Отпечатано в типографии ООО «Группа Компаний Море» 101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

«ВКУСНЫЙ» ЦВЕТ

Дорогие читатели, вы держите в руках особенный выпуск журнала «Светотехника» для детей и их родителей. В этом номере мы впервые публикуем статью, которую подготовили молодые исследователи, – ученики МБОУ школы № 10 «Успех» городского округа Самары Егор (10 лет) и Дмитрий (16 лет) Тихоновы. Идейным вдохновителем и научным руководителем ребят стала заместитель главного редактора журнала «Светотехника» Раиса Иосифовна Столяревская. Активно помогали в подготовке проекта и родители мальчиков.

Юные светотехники проделали большую теоретическую и практическую работу: разобрались в свойствах света и цвета, создали экспериментальную установку для наблюдения продуктов питания под разным освещением и провели исследование с 26 наблюдателями. Именно практическую часть работы, самую ценную, на наш взгляд, мы публикуем в журнале.

Символично, что материал выходит в рубрике «От первого лица», ведь ребята собственными силами провели серьёзное научное исследование и сами рассказали о нём редакции! А теперь передадим слово нашим юным авторам.

Введение

Во время походов по магазинам мы обратили внимание, что для освещения товаров применяются различные источники света. Но самое интересное, что все они светят разными цветами: белым, красным, жёлтым. Почему в магазинах используются светильники с разным спектром? Может быть, свет как-то влияет на внешний вид продаваемых продуктов? Возможно, это очередная уловка продавцов?

Эксперимент «изменение цвета под влиянием света»

Для подтверждения своей гипотезы мы решили провести эксперимент. Нам потребовалось собрать собственную камеру обозрения, которая позволила сопоставлять объекты при разном освещении. Мы с папой нарисовали схему, купили всё необходимое и собрали её (рисунок 1).

Камера состоит из трёх отсеков, в каждом из которых установлено по два вида ламп: одна лампа белого свечения, другая – цветного (рисунок 2). Лампы белого свечения – это светодиодные лампы мощностью 7 Вт и цветовой температурой 2700 К, 4000 К, 5000 К. Цветные лампы – это светодиодные лампы мощностью 5 Вт зелёного, красного и синего свечения.

Ввиду того, что цвет является одним из важнейших критериев, по которым покупатели выбирают продукты питания, объектами нашего исследования стали продукты питания разных цветов: говяжье мясо, куриное мясо, сырокопчёная колбаса, пирожок, сыр твёрдый, зелёное яблоко, красное яблоко, банан, молоко. То есть, в основном, те продукты,

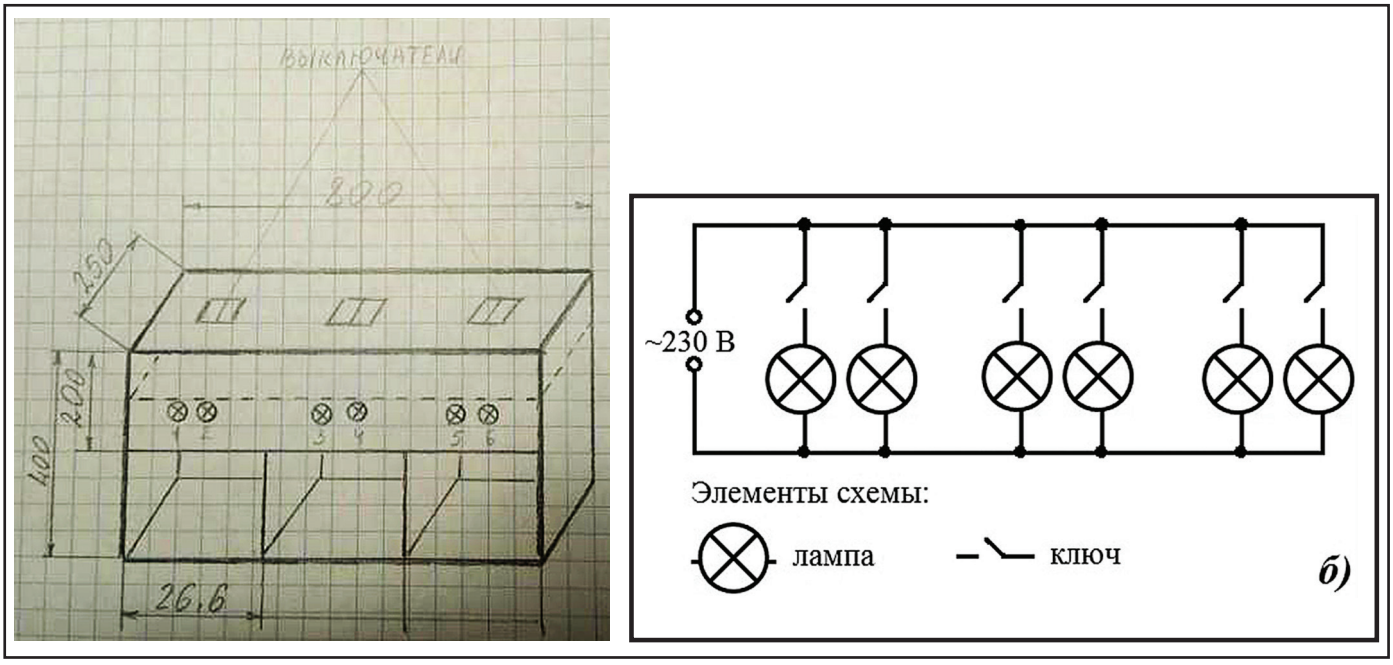


Рисунок 1. Камера обозрения: а – общий вид; б – электрическая схема

Так возникла идея нашего исследования, целью которого было выявить, как свет влияет на цвет продуктов питания и как это могут использовать продавцы для воздействия на покупателя. Мы предположили, что свет разного спектра позволяет представить товары более привлекательными для покупателей.

которые в большинстве случаев продаются без упаковки производителя. Молоко мы налили в стеклянный стакан.

Затем в комнате без естественного и дополнительного искусственного освещения мы поочерёдно наблюдали выбранные продукты под каждым из подготовленных источников света и описывали свои зри-

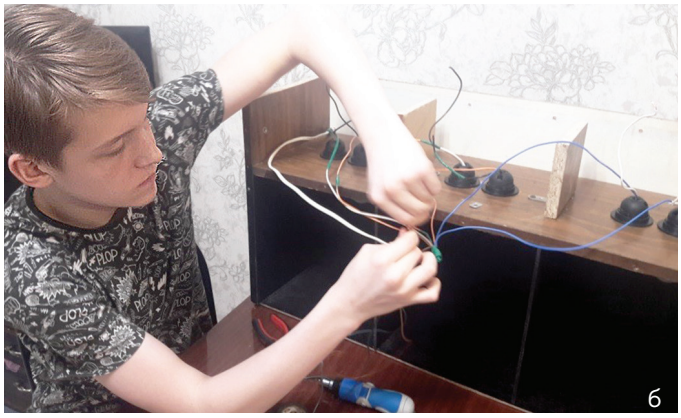


Рисунок 2. Камера обозрения: а – с источниками белого света; б – Дмитрий Тихонов в процессе сборки; в – Егор Тихонов с готовой камерой

тельные ощущения по трём параметрам: цветовой оттенок, светлота и насыщенность.

Проведённые эксперименты позволили нам сделать следующие выводы:

1. Под воздействием цветного света продукты чаще всего выглядят несъедобными, так как их цветовой тон в этих случаях совершенно не соответствует цветовому тону, который мы привыкли видеть, когда наблюдаем эти продукты при естественном освещении. Однако если положить под красный свет продукт, который при естественном освещении имеет красный цветовой оттенок, то цвет становится более насыщенным и ярким (мясо говядины, колбаса, красное яблоко) (рисунок 3). То же самое с зелёным светом. А синий цвет как бы приглушает и обесцвечивает, в основном, все продукты, которые мы наблюдали;

2. Под воздействием тёплого белого света (2700 K) все продукты приобретают более тёплый жёлтый оттенок. Продукты, которые при естественном свете имеют жёлтый цветовой тон (сыр, пирожок, банан), при тёплом освещении выглядят более жёлтыми (рисунок 4). То есть их оттенок не изменяется, а вот насыщенность становится больше. Молоко приобретает желтоватый оттенок. Мясо говядины становится бордовым, а курицы – более розовым. Прожилки и жир в мясных продуктах приобретают желтоватый оттенок. Колбаса становится жёлто-красной. Зелёное яблоко выглядит жёлтым, а красное – жёлто-красным.

В целом, на наш взгляд, тёплый белый свет подходит только пирожку: так он выглядит более румяным. Остальные продукты меняют свой цветовой оттенок не в лучшую сторону;

3. Цветовой оттенок наблюдаемых продуктов при воздействии нейтрального белого света (4000 K) практически соответствует цветовым оттенкам при наблюдении этих продуктов при естественном освещении. Светлота и насыщенность также остались без изменений.

Таким образом, получается, что нейтральный свет, возможно, и искажает цвета продуктов, но незначительно. Так что человеческому глазу разница не видна вовсе или чуть заметна.

4. Под воздействием холодного белого света (5000 K) все продукты приобретают более холодный оттенок. Молоко (рисунок 5) и прожилки на мясе чуть отдают синевой. Сыр, банан и булочка

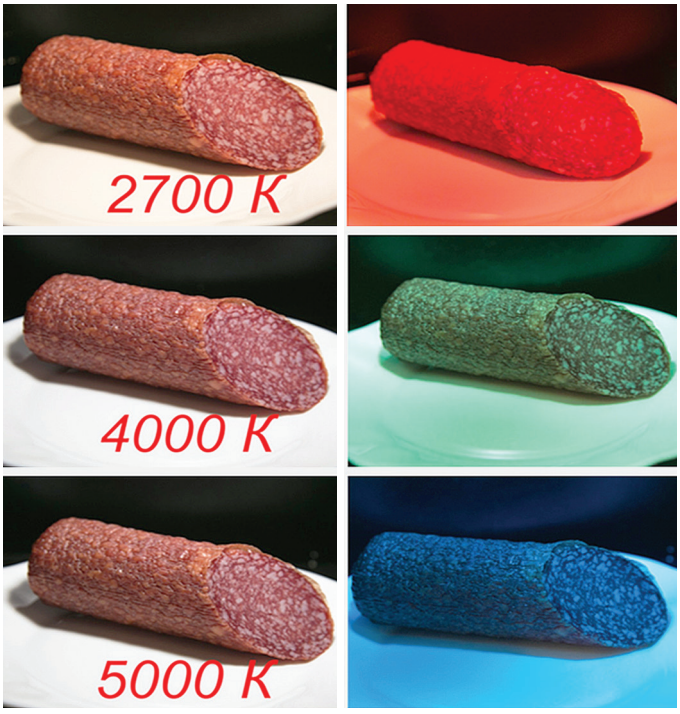


Рисунок 3. Сырокопчёная колбаса при освещении различными источниками света

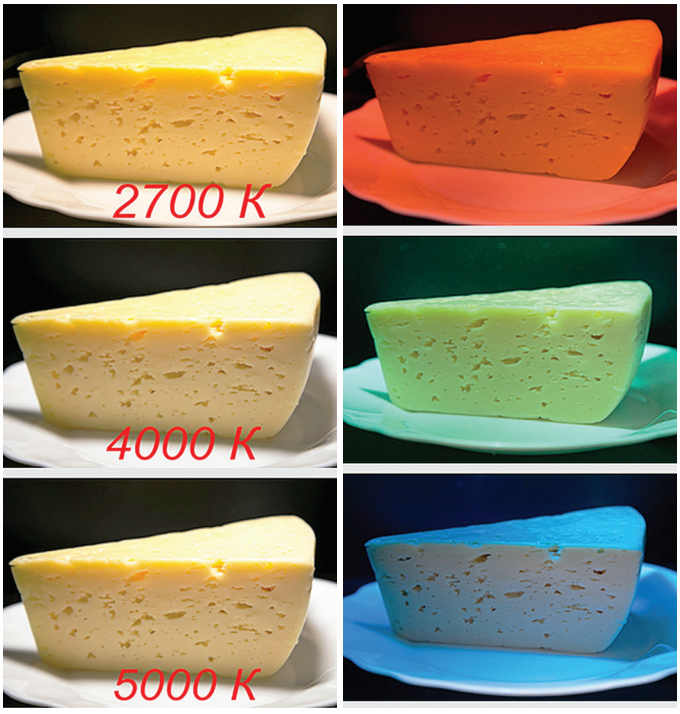


Рисунок 4. Сыр при освещении различными источниками света

Рисунок 5. Молоко при освещении различными источниками света

становятся более светлыми. Мясо говядины приобретает слегка коричневый оттенок, как у замороженного мяса. А куриное мясо – лёгкую синеву, как у несвежего мяса. Цветовой оттенок колбасы и красного яблока слегка отличается от наблюдаемого при естественном свете. Зелёное яблоко под действием холодного света выглядит более насыщенным и ярким, но менее реалистичным. Заметен ненатуральный холодный оттенок.

Холодный свет как бы освежает продукты. Но не для всех продуктов этот свет подходит. Некоторые из них выглядят несвежими или замороженными, а некоторые смотрятся уже не так аппетитно.

Таким образом, проведённый опыт показал, что под воздействием разных источников света продукты приобретают различные цветовые оттенки и желание съесть их то появляется, то исчезает.

Фотоэксперимент

По данным маркетинговых исследований, при покупке товара 93% покупателей принимает решение, основываясь на внешнем виде продукта. При этом 85% потребителей при покупке того или иного товара прежде всего оценивают цвет продукта. Поэтому мы решили провести свой фото-эксперимент, который позволил бы на основе полученных статистических данных сделать вывод о том, может ли (а если может, то каким именно

образом) освещение продуктов питания повлиять на выбор покупателей.

В комнате без естественного и дополнительного искусственного освещения для каждого продукта мы сделали фото при трёх видах белого освещения, используя профессиональный фотоаппарат и свою камеру обозрения. Затем для каждого продукта подготовили карточки с тремя фото.

Затем родным и знакомым, находящимся в комнате с естественным освещением, были предъявлены фотографии продуктов, сделанные на предыдущем этапе. Наблюдателям предлагалось представить, что они находятся в магазине и им необходимо сделать выбор в пользу одной фотографии каждого продукта, который они купили бы. Кроме того, наблюдатели комментировали свой выбор.

Всего в фотоэксперименте приняли участие 26 человек. Среди респондентов были мужчины и женщины в возрасте от 25 до 65 лет. Результаты опроса представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты опроса участников фотоэксперимента

Наименование продукта питания	Цветовая температура лампы, K					
	2700		4000		5000	
	чел.	%	чел.	%	чел.	%
Говяжье мясо	14	54	8	31	4	15
Куриное мясо	14	54	6	23	6	23
Сыр	11	42	10	39	5	19
Молоко	3	11	14	54	9	35
Пирожок	13	50	8	31	5	19
Колбаса	4	15	12	48	10	39
Зелёное яблоко	0	0	14	54	12	46
Банан	4	15	16	62	6	23
Красное яблоко	6	23	11	42	9	35

Большинство респондентов отдали предпочтение говядине при освещении 2700 K (54%) (рисунок 6). Людям это мясо показалось «натуральнее», «розовее», «свежее», «без признаков заветривания».

Также больше половины респондентов сделали выбор в пользу куриного мяса при освещении 2700 K (54%) (рисунок 7). Люди так объясняли свой выбор: «мясо выглядит свежим, за счёт розового оттенка», «наиболее естественный вид», «кажется самым свежим».

Сыр оказался наиболее привлекательным при освещении 2700 K (42%). Однако 39 % респондентов отметили фото под освещением 4000 K. Видимо, это зависит от того, какой сорт сыра люди предпочитают. Кому-то нравятся более жёлтые сорта сыра («сыр выглядит свежим за счёт яркости цвета», «желтее», «приятный жёлтый цвет», «внушает доверие», «более аппетитный», «всегда выбираю сыр пожелтее»), кому-то более светлые («цвет менее яркий; хочется верить, что сыр натуральнее», «натуральный вид», «кусочки светло-жёлтого оттенка характерны для свежего продукта», «не заветренный, цвет натурального продукта», «сыр красивый по виду, не имеет неестественного оттенка»).

Молоко при освещении 4000 K 14 человек (54%) посчитали наиболее привлекательным («цвет не слишком белый и не слишком жёлтый», «белее», «натуральнее», «наиболее натуральный цвет», «цвет продукта приближен к натуральному цвету молока»).

Самым «аппетитным», «румяным», «поджаристым», «с золотистой корочкой», «как только что издуховки» ровно половина респондентов посчитали пирожок, освещённый лампой с цветовой температурой 2700 K (50%). Мнения другой половины опрошенных разделились.

Большинство респондентов (46 %) остановили свой выбор на колбасе, которая была освещена нейтральным светом (4000 K). Её посчитали «более аппетитной», «более свежей за счёт яркого оттенка, в том числе и оболочки», «натуральной», «самой красивой», «более свежей». Также к её достоинствам отнесли «коричневый цвет и белый цвет жира», «цвет, который ближе подходит к цвету мяса».

62% опрошенных предпочли бы купить банан под нейтральным освещением, потому что «банан по цвету спелый», «кажется спелее», «наиболее яркий и привлекательный», «имеет привлекатель-

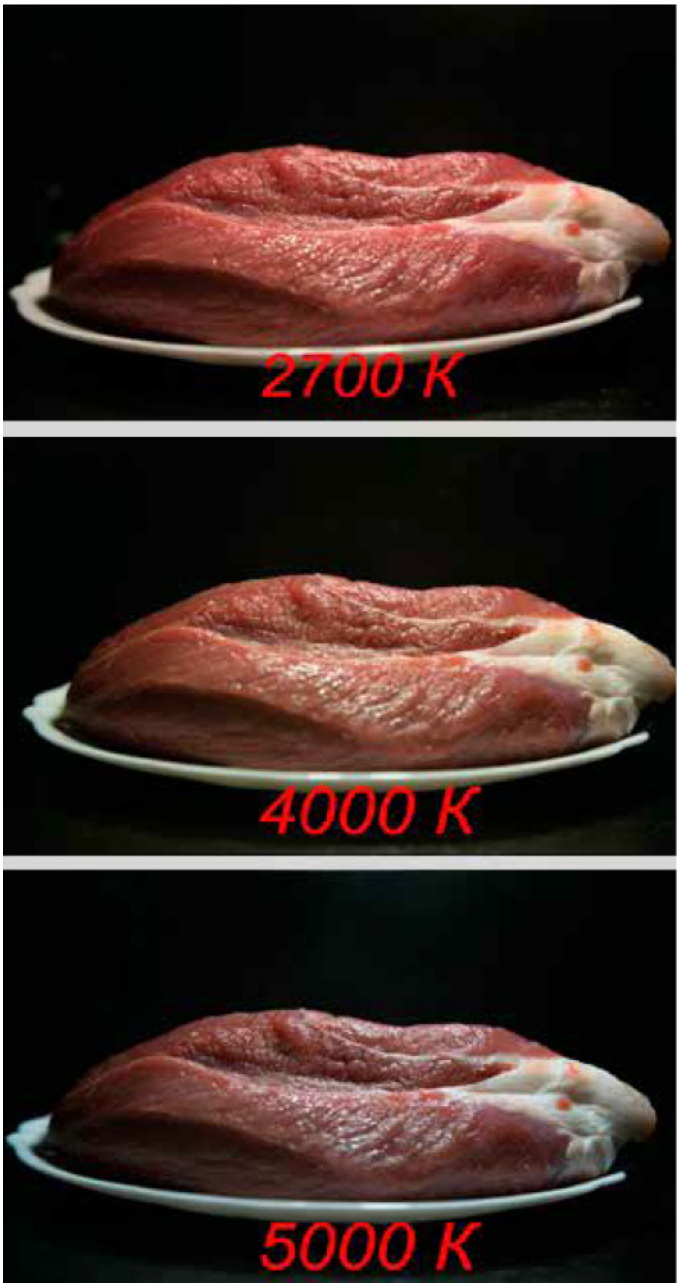


Рисунок 6. Фотографии говяжьего мяса при освещении различными источниками белого света

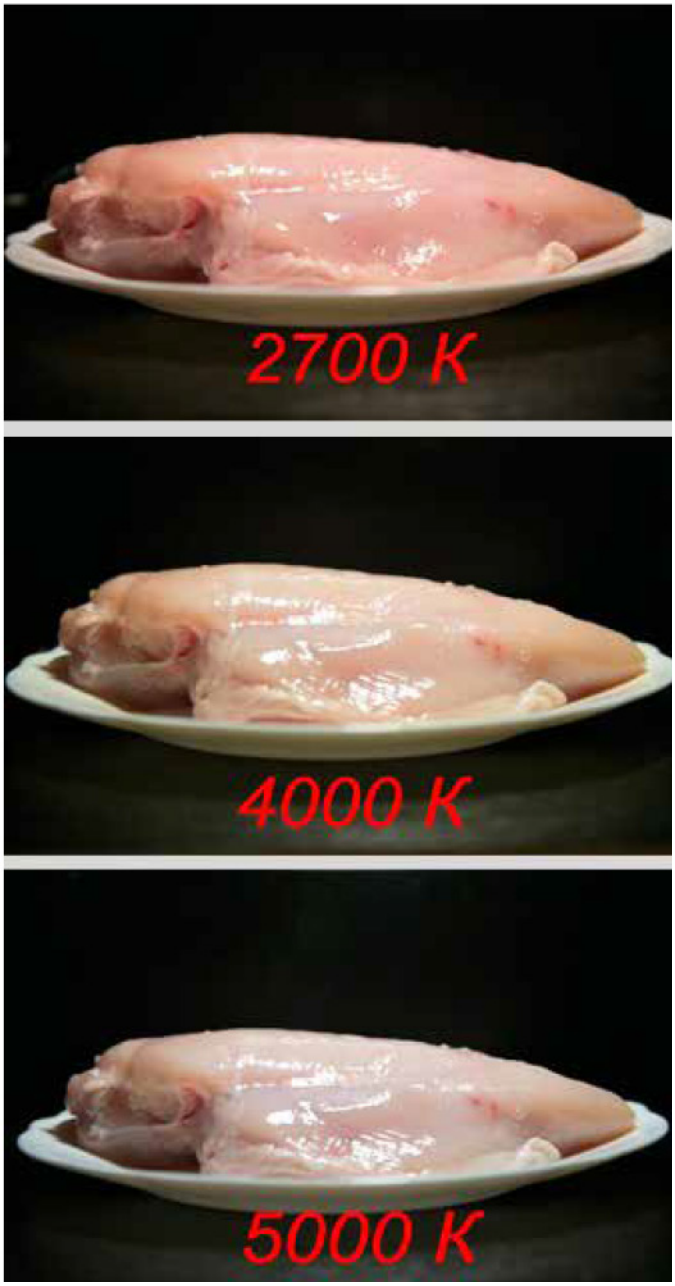


Рисунок 7. Фотографии куриного мяса при освещении различными источниками белого света

ный вид», «естественный вид», «натуральный вид», «желтоватый оттенок свидетельствует о созревшем фрукте».

Что интересно, зелёное яблоко (рисунок 8) под воздействием света в 2700 K не понравилось никому. Бóльшая часть респондентов (54%) предпочли бы купить зелёное яблоко, освещённое лампой с цветовой температурой 4000 K («зелёное, сочное яблоко», «яркое, аппетитное», «цвет красивее», «вкусное», «более естественное», «цвет более насыщенный»). Остальные (46%) – зелёное яблоко, освещённое холодным светом (5000 K).

Красное яблоко также под нейтральным светом (4000 K) показалось большинству опрошенных (42 %) «более сочным», «аппетитным», «ярким, привлекательным», «наиболее естественным», с «более насыщенным цветом».

Проведённый нами фотоэксперимент доказал, что покупатели:

- При выборе продуктов питания большое значение придают их цвету;
- Судят по цвету о свежести, натуральности, зрелости (фрукты и овощи), вкусе продуктов питания.

Также мы задавали респондентам вопрос: «Был ли у Вас в жизни случай, когда Вам товар очень понравился по внешнему виду, Вы его купили, а дома, оказалось, что он выглядит не так хорошо, как в ма-

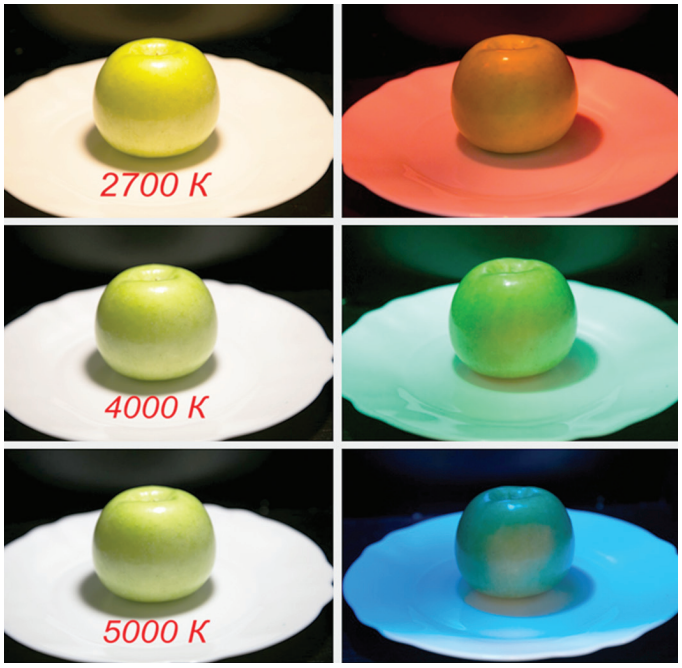


Рисунок 8. Фотографии зелёного яблока при освещении различными источниками белого света

Рисунок 9. Вариант подсветки мясной продукции на рынке

газине (кулинарии, на рынке и т. п.?)». Так вот, абсолютное большинство людей (91%) ответили на этот вопрос «да»!

Таким образом, можно сделать вывод о том, что изменение цвета продукта, которое можно реализовать с помощью различного освещения, может повлиять на решение покупателя «купить» или «не купить» тот или иной товар.

Анализ освещения торговых точек

Чтобы узнать, на какие «уловки» со светом идут владельцы торговых точек, чтобы представить свой товар в наилучшем свете и повысить вероятность его продажи, мы посетили несколько супермаркетов, так как в супермаркетах есть отделы со всеми продуктами, которые мы исследовали. Также мы решили проверить свою гипотезу и на рынке. Ну и, наконец, пекарня: в последнее время они стали очень популярны, и многие люди покупают хлебобулочные изделия именно в таких заведениях.

В результате мы выяснили, что в мясных отделах используется красная и розовая подсветка. За счёт такого освещения мясо приобретает более розовый оттенок (рисунок 9).

В хлебобулочных отделах используется тёплый белый свет, особенно там, где представлена собственная выпечка. За счёт этого товар выглядит более румяным (рисунок 10).

В отделах с молоком используют нейтральный свет для того, чтобы оно выглядело натурально белым без жёлтых и голубых оттенков (рисунок 11).

Колбасу и сыр также освещают нейтральным светом, чтобы продукты были представлены в цвете, который они имеют при естественном освещении (рисунок 12).

В отделе с фруктами и овощами имеется нейтральное освещение, благодаря которому продукция не только сохраняет свой естественный цвет, но и становится ярче.

Проведённый нами анализ показал, что специальное освещение активно используется в торговле. Причём как сетевыми магазинами, так и отдельными торговцами на рынке.

Заключение

Эксперимент доказал, что под воздействием разных источников света продукты питания приобретают различные цветовые оттенки.

В результате фотоэксперимента удалось выяснить, что при выборе продуктов питания покупатели большое значение придают их цвету, судят по цвету о свежести, натуральности, зрелости, вкусе продуктов питания. Следовательно, изменение цвета продукта может повлиять на решение о покупке того или иного товара.

Визит в несколько торговых точек показал, что сегодня продавцы (как сетевые магазины, так и от-

Рисунок 10. Вариант подсветки хлебобулочных изделий в супермаркете

Рисунок 12. Вариант подсветки сырной продукции в супермаркете

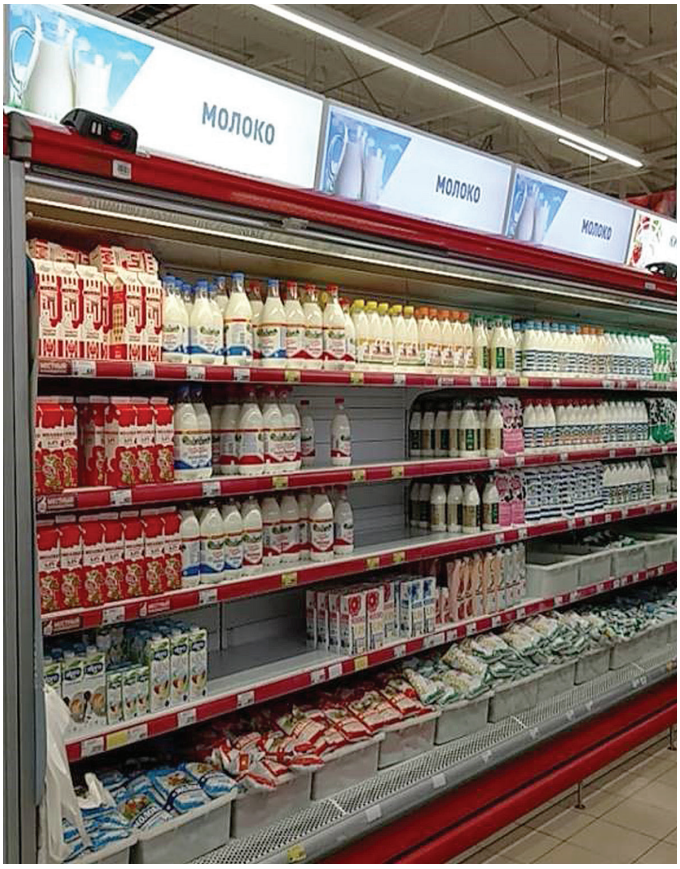


Рисунок 11. Вариант подсветки молочной продукции в супермаркете

дельные торговцы) активно используют различные источники света для отдельных групп продуктов питания.

Занимаясь этой работой, мы также пришли к выводу, что каждому покупателю важно знать, как свет может влиять на восприятие продуктов питания и быть внимательным при совершении покупки, чтобы не попасться на уловки продавцов и не приобретать некачественный товар. Теперь мы знаем, что такое свет и цвет, как свет может изменять цветовой тон продуктов питания, можем увидеть это в магазине и защитить себя и родных от ошибок при выборе товаров.

КРЕМЛЁВСКИЕ ТАЙНЫ. КАК ЗАЖИГАЛИ САМЫЕ ИЗВЕСТНЫЕ ЗВЁЗДЫ СТРАНЫ

Московский Кремль – одна из самых известных достопримечательностей не только Москвы, но и всей России. Наверное, каждому известно, что четыре кремлёвских башни украшены рубиновыми звёздами, которые днём и ночью сияют над столицей. Как же этим символам коммунизма удаётся неустанно светить долгие годы? Почему звёзды хорошо видны в любое время суток? Из чего они сделаны и как появились на вершинах крепостных башен? В нашем материале мы не только остановимся на исторической части вопроса, но и раскроем инженерно-технические и светотехнические секреты кремлёвских звёзд!

Прежде всего, обратимся к истории. Давайте выясним, кто был предшественником «рубиновых светил». С XVII века четыре башни Московского кремля – Троицкая, Спасская, Боровицкая и Никольская – украшались золочёными двуглавыми орлами, которые заменялись по мере износа (рисунок 1). Когда свершилась Великая Октябрьская революция (1917 г.), и на месте Российской империи появился Союз Советских Социалистических Республик, возник логичный вопрос о замене устаревших государственных символов.

Однако в первые годы Советской власти денег тотально не хватало, поэтому вопрос замены государственных символов долгое время откладывали. Возможность заменить орлов, потерявших свою политическую актуальность, появилась только в 1930-х годах. Царских орлов, украшавших Спасскую, Никольскую, Боровицкую и Троицкую башни Кремля, а также здание Исторического музея, сняли и уничтожили. К сожалению, привлечённый художник и искусствовед Игорь Грабарь заявил, что орлы не несут культурной и исторической ценности. После демон-

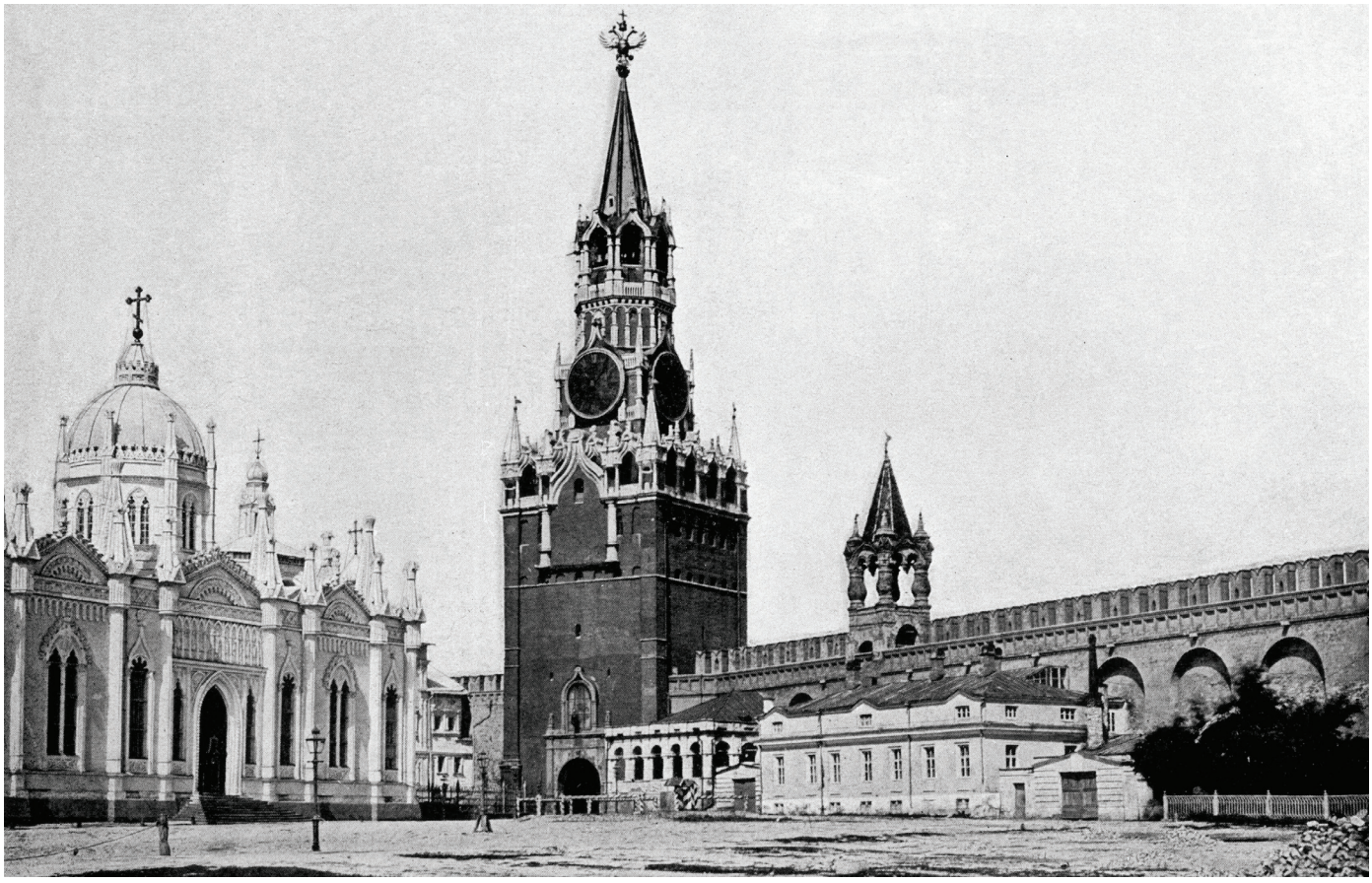


Рисунок 1. Орёл на Спасской башне Кремля в 1890 году

Рисунок 2. Пятиконечная звезда с серпом и молотом

тажа, в августе 1935 года, было принято решение установить на четырёх башнях Кремля пятиконечные звёзды с серпом и молотом (рисунок 2).

Первые кремлёвские звёзды не были связаны со светотехникой. Каркас каждой из них представлял собой конструкцию из нержавеющей стали, украшенную листами из красной меди. Металл покрыли золотом толщиной от 18 до 20 микрон. В центре каждой звезды крепились двухметровые эмблемы – скрещенные серп и молот, богато украшенные драгоценными камнями. Для изготовления восьми эмблем потребовалось около 7 тысяч камней величиной от 20 до 200 карат!

Однако таким звёздам было не суждено долго украшать Кремль. Спустя всего год камни и металл поблёкли и потеряли свой блеск. Поэтому в мае 1937 года было решено установить новые звёзды – светящиеся, рубиновые. Тогда и началось светотехническое волшебство!

Работа над новыми «светилами» началась в мае 1937 года, а завершить проект планировалось уже в октябре! Открытие хотели приурочить к 20-летию Революции. Перед светотехниками поставили цель – найти такое инженерное решение, которое позволит без дискомфорта для глаз наблюдать светящиеся звёзды как днём, так и ночью, при этом обеспечить их видимость.

Для получения нужного результата светотехникам требовалось решить две глобальные задачи. Во-первых, подобрать оптимальный источник света – тип, мощность и количество ламп внутри каждой звезды. Во-вторых, добиться равномерного свечения всей поверхности звёзд.

Учитывая сложную конструкцию звёзд, пришлось остановиться на минимальном количестве источников света – одной лампе накаливания мощностью 3,7 и 5 кВт. Изначально равномерное распределение света внутри звёзд предполагалось получить путём установки 15–20 ламп. Однако гарантировать при этом бесперебойную работу всей конструкции было невозможно. Кроме того, возникали сложности с заменой ламп. Ведь единственным способом замены было введение их через трубчатый шпиль, на котором установлены звёзды. Поэтому создатели остановились на варианте с одной лампой. Но как в этом случае добиться равномерного распределения света по внутренней поверхности? Оказалось, что освещённость в центре звезды была

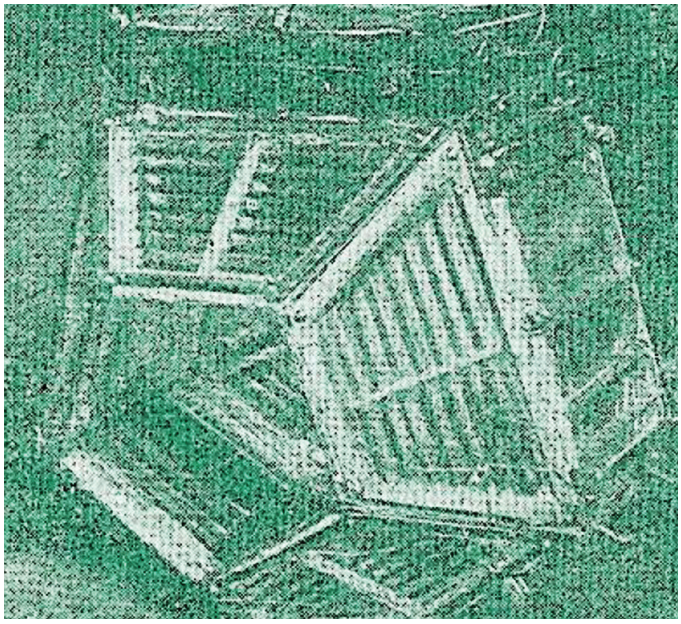


Рисунок 3. Рефрактор

в 150 раз больше, чем в конце её луча! Благодаря применению прослойки из молочного стекла под гладким красным стеклом освещённость в центре стала превышать освещённость в конце луча уже не в 150, а в 40 раз за счёт многократных отражений внутри конструкции. Однако и такую неравномерность нельзя назвать удовлетворительной. Поэтому было решено использовать специальный оптический прибор – рефрактор (рисунок 3). Каждый луч звезды освещался с помощью отдельной его секции.

На этом сложности не закончились. Из-за близкого расположения плиток рефрактора к лампе они нагревались до 250 градусов, что создавало риск износа. Решили эту проблему двумя простыми ходами. Во-первых, установили систему вентиляции, которая прогоняла до 600 кубометров воздуха в час мимо лампы. Во-вторых, плитки рефрактора были выполнены из специального термостойкого стекла.

Другая важная задача, которая стояла перед светотехниками, – подбор стёкол. Они должны были пропускать и рассеивать свет таким образом, чтобы звёзды воспринимались максимально эффектно. Для рассеяния света использовалось молочное стекло, о котором уже было сказано выше. Оно укладывалось двумя слоями толщиной от 3 до 4 мм. Что касается красного стекла, его покрывали селеновым красителем, прокатывали до толщины 10–20 мм, после чего шлифовали до толщины 6–10 мм. Для достижения необходимой термической и химической стойкости стёкла проходили многочисленные испытания. Кстати, чтобы создать необходимый рельеф, объём и уникальную архитектуру каждой звезды, использовалось три оттенка красного стекла.

Стремление к эффектному свечению звёзд и днём, и ночью привело к светотехническому противоречию. С одной стороны, для получения насыщенного цвета звезды в тёмное время суток требовалось применить красное стекло, которое практически не

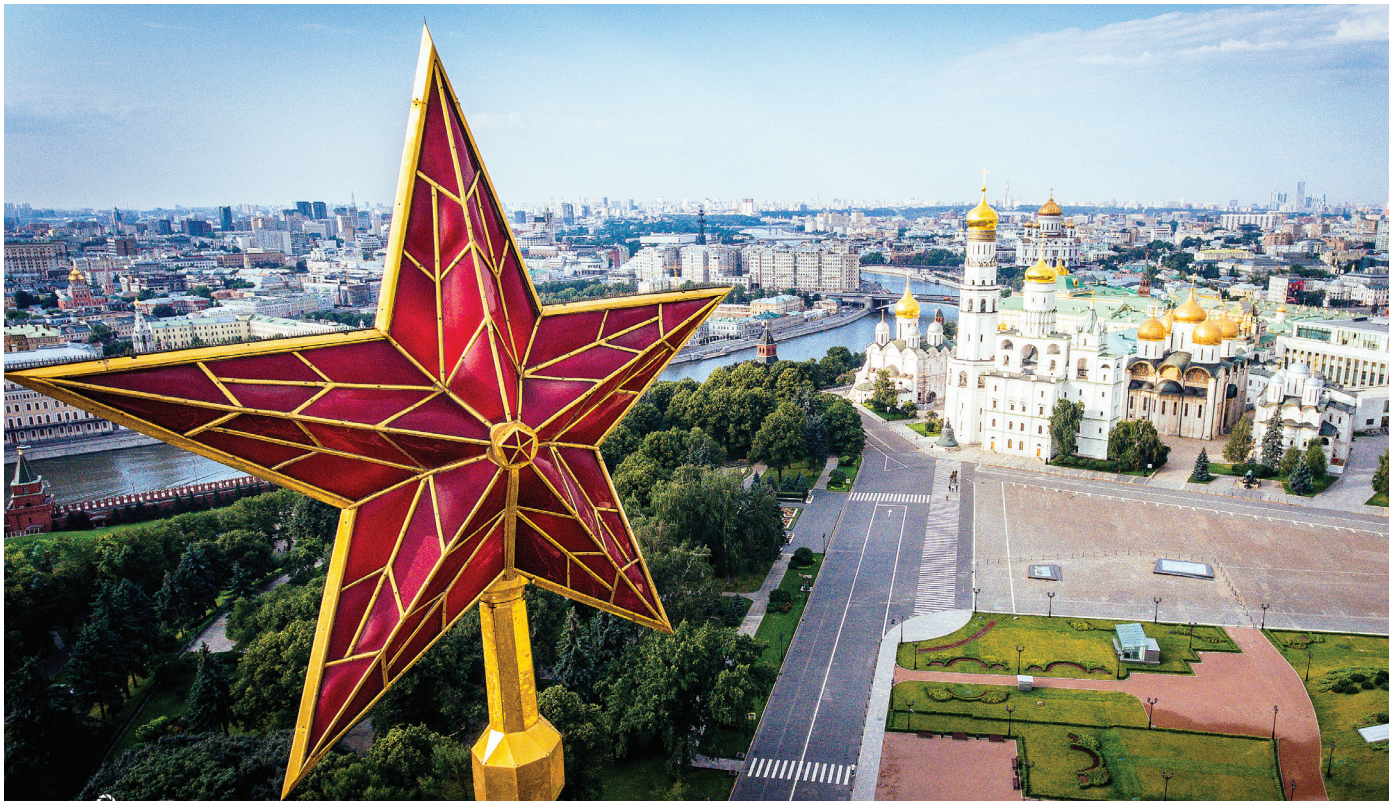


Рисунок 4. Кремлёвская звезда днём

Рисунок 5. Кремлёвская звезда ночью

пропускало свет. С другой стороны, днём такое стекло казалось бы буквально чёрным. Поэтому было предложено следующее решение: использовать стекло средней густоты. В этом случае днём звезда выглядела достаточно яркой (чему также способствовало рассеяние от молочного стекла) (рисунок 4). Ночью лампу питали пониженным напряжением, в результате чего уменьшалась яркость нити накала лампы, а цвет звезды становился насыщенным (рисунок 5).

Каждое стекло проходило тщательную проверку путём сравнения с образцами, заранее исследованными в лаборатории. Стёкла вырезались по специально подготовленным формам, а края подвергались дополнительной шлифовке. В каркас стёкла устанавливались с применением асбеста и специальной замазки для достижения максимальной водонепроницаемости и теплостойкости.

Вот мы с вами и познакомились с историей создания и тонкостями освещения звёзд Московского Кремля! Теперь мы знаем, как устроено это уникальное архитектурно-светотехническое изобретение. Однако это было лишь начало большого светотехнического исследования, его теоретическая база! Мы предлагаем вам спроектировать освещение кремлёвской звезды. В отличие от советских учёных-светотехников, мы имеем возможность пользоваться передовыми компьютерными программами, которые помогут нам решить поставленную задачу с большей точностью и потратив на это меньше времени. На странице 72 нашего журнала ты найдёшь материал, посвящённый первому этапу данной работы, – созданию 3D-модели звезды в программе 3DS Max. Модель понадобится нам для расчёта освещения звезды в программе DIALux evo. Об этом мы расскажем в следующем номере нашего журнала. Присоединяйся, попробуй свои силы вместе с нами!

СВЕТ И ВЫДЕРЖКА

Сегодня человечество ежедневно делает миллиарды фотографий и практически не прикладывает для этого усилий – все сложнейшие операции, скрытые от наших глаз, выполняет смартфон или цифровой фотоаппарат. А всего 30 лет назад, чтобы сделать красивое фото, требовалось потратить немало сил, времени, а главное обладать рядом важных умений и знаний. О важнейшем параметре фотомастерства – выдержке, а также неразрывной связи фотоискусства и светотехники рассказывает научный сотрудник Германского аэрокосмического центра Дмитрий Ефременко.

Когда я был школьником, то любил перечитывать (а скорее, перелистывать) «Краткую энциклопедию домашнего хозяйства» 1988 года, которая увлекательно рассказывала о самых разнообразных аспектах быта: от пересадки цветов и создания скворечника до вышивания крестиком и закатывания банок с компотом. Больше всего мне нравилось рассматривать иллюстрации в этой книге. В разделе «Домашняя техника» моё внимание привлекали модели советских фотоаппаратов с множеством непонятных колёсиков. Там же было написано, как сделать дома настоящую фотолабораторию и проявлять негативы в таинственном красном свете. Мне очень хотелось создать такую же лабораторию!

Детская мечта частично реализовалась, когда родители купили мне фотоаппарат. Это была простая «мыльница», которая выглядела совсем не так солидно, как фотоаппараты в энциклопедии. Всего одна кнопка! А проявлять пленку мы отдавали в фотоателье. Однажды мне попал в руки фотоаппарат из энциклопедии – «Зенит-11» (рисунок 1). Я даже сделал кадр! Однако эйфория сменилась разочарованием – вместо красивой фотографии я получил засвеченное и размытое изображение. Мне тогда пытались объяснить, что я поставил слишком длинную выдержку, но сознание девятилетнего мальчика не могло понять, о чём идёт речь. Поэтому процесс «осмысленного» фотографирования остался мною непознанным на практике. А безуспешная попытка самостоятельно разобраться в правиле Тамба окончательно похоронила интерес третьеклассника к фотографированию, и я продолжал снимать мыльницей. Такой негативный первый опыт, наверное, получали многие юные фотографы. Уже будучи школьником, я сделал вывод из этой банальной истории: выдержка – это что-то очень важное.

Сегодня, когда большинство фотографий делается с помощью смартфонов с автоматическими настройками и даже искусственным интеллектом, мотива разобраться со всеми тонкостями процесса фотосъёмки у большинства пользователей ещё меньше, чем было у меня более 20 лет назад. Однако эта тема сама по себе увлекательна и переплетается со светотехникой. В этой статье я остановлюсь подробнее на одном из важных параметров съёмки – выдержке. Мы постараемся рассмотреть её иначе, чем в учебниках по фотографии.

Рисунок 1. Фотоаппарат «Зенит-11»

Миллисекундные выдержки

Итак, формально выдержкой называют интервал времени, в течение которого свет падает на плёнку или светочувствительную матрицу. В фотоаппаратах выдержка обычно может изменяться от 1/4000 секунды до 30 секунд. Произведение выдержки на освещённость называется экспозицией. Освещённость регулируется размером диафрагмы – входного отверстия объектива. При малой экспозиции изображение получается тёмным, а детали тёмных участков изображения пропадают. И наоборот: если экспо-

Рисунок 2. Мюнхен, район музея BMW, фотография сделана автором статьи при длинной выдержке

зиция слишком велика, то фотография получается засвеченной, лишённой деталей в светлых участках изображения.

Чем меньше выдержка, тем меньше света попадает на матрицу и тем темнее становится фотография при неизменных значениях чувствительности матрицы и размера диафрагмы. Выдержки меньше 1/500 секунды иногда называют короткими. Они используются для съёмки движущихся объектов. Если объект изменяет своё положение, длительные выдержки (условно, больше секунды) приводят к размыванию движения. Также становится заметным влияние естественного дрожания рук, на жаргоне фотографов называемого «шевелёнка». Поэтому при фотографировании на длинных выдержках рекомендуется использовать штатив.

Однако иногда размазывание – не дефект, а художественный приём. Попробуйте вечером сфотографировать транспортный поток с выдержками 1–5 секунд. Если параметры подобраны удачно, проезжающие машины оставят световой след на фотографии, а сами при этом почти исчезнут из кадра (рисунок 2). Этот же принцип помогает, когда вы хотите запечатлеть памятник, но вам мешают прохожие. Сфотографируйте памятник на длинной выдержке – движущиеся прохожие исчезнут, а статичный архитектурный объект останется. Однако тут есть опасность засветки – придётся повозиться с чувствительностью и размером диафрагмы.

Вообще принцип фотосъёмки на длительных выдержках перемещаемых источников света лежит в основе направления в фотоискусстве, называемого «светоживопись» («светопись»). Только вместо холста – светочувствительная матрица фотоаппарата, а в роли кистей выступают источники света!

Эксперимент

В тёмной комнате установите фотоаппарат так, чтобы он смотрел на стену, установите выдержку 5 секунд. Начните съёмку и, пока открыта диафрагма фотоаппарата, перемещайте луч лазерной указки по стене. При удачном подборе параметров чувстви-

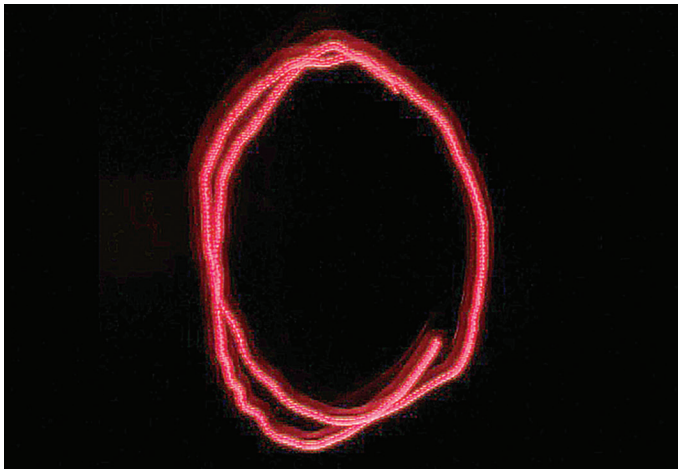


Рисунок 3. Эксперимент автора с лазерной указкой – выдержка 5 секунд, чувствительность ISO 200

тельности ISO и размера диафрагмы вы получите «след» лазера, подобный тому, что показан на рисунке 3. Источник света превратился в кисть художника! Вам не составит труда найти настоящие шедевры светоживописи. Я рекомендую посмотреть работы Тревора Уильямса (рисунок 4). Кстати, человеческий глаз тоже имеет выдержку – 1/24 секунды, которая задаётся зрительной корой головного мозга. Из-за этого мы не замечаем мерцание ртутных ламп.

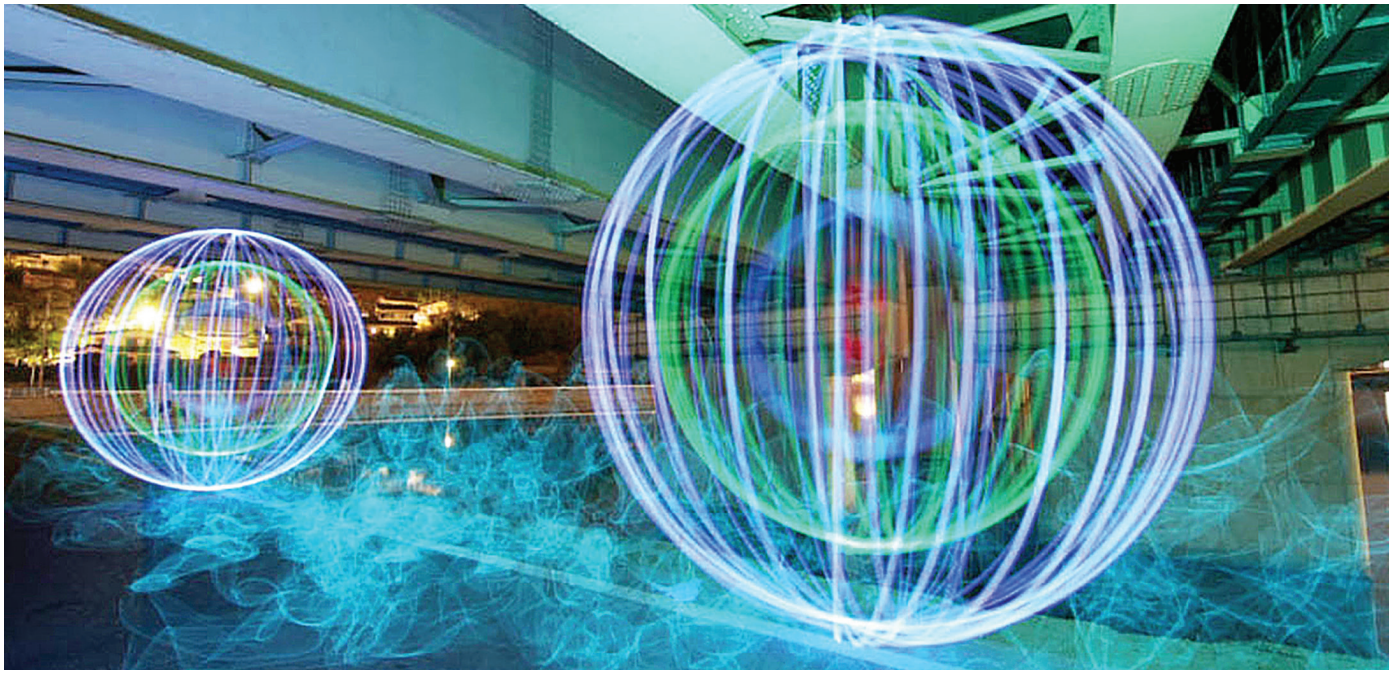


Рисунок 4. Шедевр мастера «светоживописи» Тревора Уильямса

Ультрадлинные выдержки

Давайте от искусства перейдём к более серьёзным делам. Для исследования космоса используются телескопы, расположенные в космосе, которые улавливают свет, приходящий от далеких звёзд. Основная трудность оптического исследования космоса состоит в том, что света из глубин космоса до нас доходит очень мало. Поэтому, чтобы разглядеть далёкие галактики и собрать как можно больше света, прибегают к фотографированию/наблюдению на длинных выдержках.

Одно из самых красивых изображений космоса было получено с помощью космического телескопа Хаббл. Оно называется HUDF (Hubble Ultra Deep Field). HUDF содержит несколько тысяч галактик (рисунок 5). Среди них одни из самых удалённых галактик, когда-либо запечатлённых оптическим телескопом. Для того чтобы мы с Земли могли разглядеть самые маленькие галактики, их яркость должна быть увеличена в миллионы раз!

Здесь на помощь приходит сверхдлинная выдержка. На каждом витке орбиты телескоп фотографирует выбранную область в космосе с выдержкой порядка 1000 секунд. После 1000 витков и объединения кадров в один получаем изображение с суммарной выдержкой порядка 1 миллиона секунд! Такие наблюдения космоса называются сверхглубокими, поскольку позволяют увидеть галактики, до которых от нас миллиарды световых лет. Интересно также и то, что

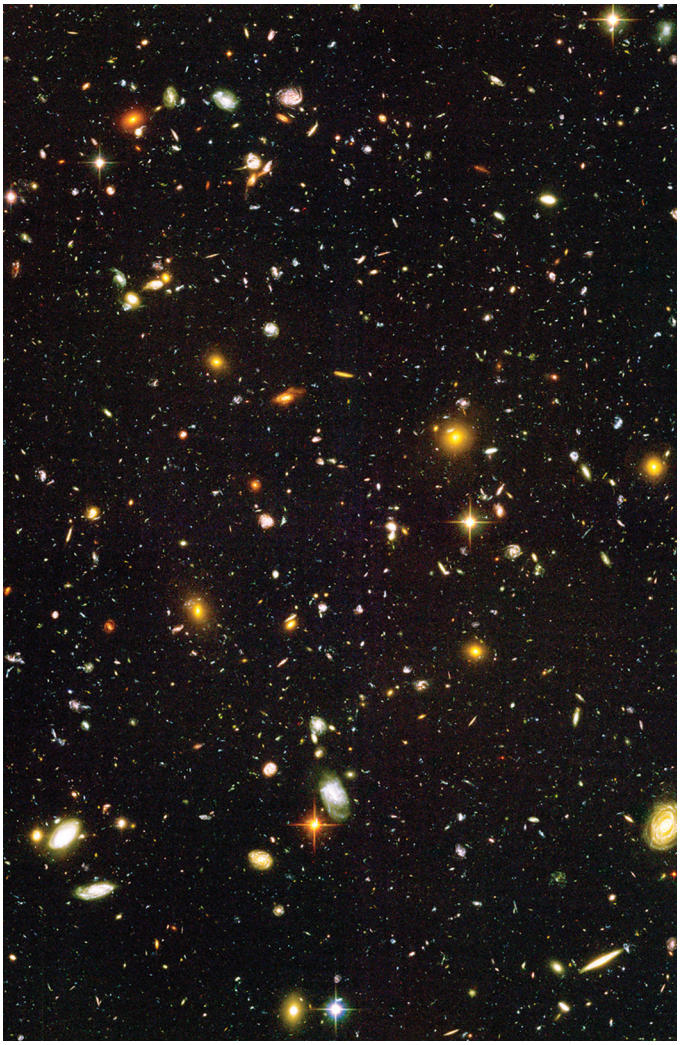


Рисунок 5. Изображение HUDF. Для получения изображения требовалось 800 снимков, сделанных в течение 400 орбит Хаббла вокруг Земли. Суммарная выдержка составила 11,3 дня (почти 1 миллион секунд). Наблюдения сделаны в период с 24 сентября 2003 по 16 января 2004 года (https://www.spacetelescope.org/images/heic0611b/)

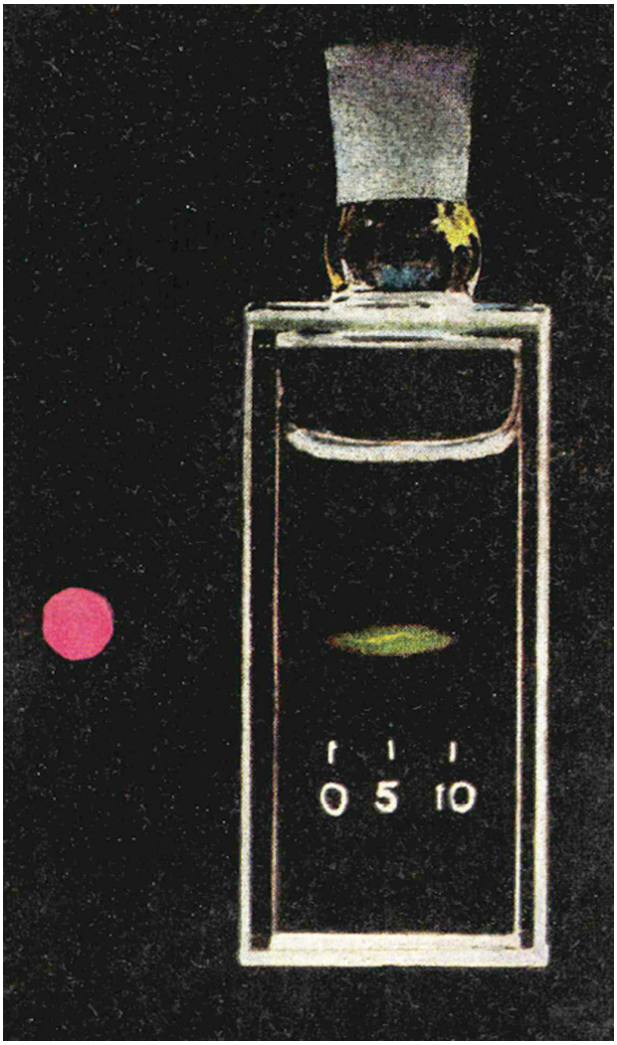


Рисунок 6. Фотография зелёного лазерного импульса во время пролёта через сосуд с водой. Выдержка равна примерно 10^{-11} с

мы их видим такими, какими они были миллиарды лет назад, то есть буквально смотрим в прошлое. Такие наблюдения очень полезны для понимания эволюции галактик.

Ультраскоростные фотографии

От длинных выдержек перейдём к очень коротким, порядка 10–11 секунды. Благодаря таким выдержкам можно запечатлеть состояние быстро меняющихся систем. Свет – самый быстрый объект во Вселенной. Он движется в пустом пространстве примерно со скоростью 300 000 км в секунду – это почти в миллион раз больше скорости звука в воздухе. Сотрудник лаборатории Bell Михаил Дюге использовал экстремально короткие выдержки, чтобы сфотографировать летящий свет!

Лазерный импульс распространяется прямолинейно в вакууме. Чтобы его запечатлеть, глядя перпендикулярно направлению распространения света, Дюге пропускал лазерный импульс через сосуд с водой, в котором были растворены несколько капель молока. Свет, проходя сквозь мутную среду, может изменять своё направление движения – этот феномен называется рассеянием. Некоторые фотоны (частицы света) после рассеяния попадают в объектив фотокамеры и формируют изображение. Пример получаемой фотографии показан на рисунке 6.

Для получения такой фотографии необходимы экстремально короткие выдержки – порядка 10–11 секунды. Это позволят сделать фотокамеры с ультраскоростным затвором.

Полная схема эксперимента представлена в статье Дюге «Свет, сфотографированный на лету». Там же описана конструкция затвора камеры, выполненного на основе ячейки Керра.

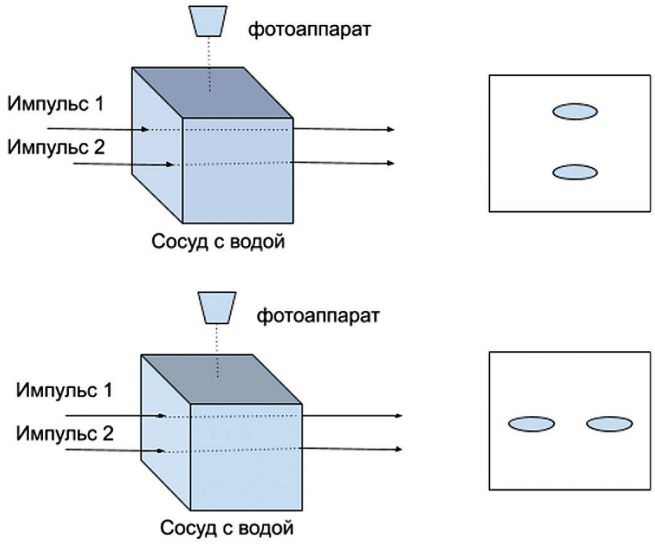


Рисунок 7. Иллюстрация опыта Дюге

Два световых импульса, выпущенных одновременно параллельно друг другу, образуют так называемую световую гантель. Михаил Дюге провёл серию поразительных экспериментов со световыми гантелями. Рассмотрим два случая (рисунок 7). В первом оба лазерных импульса расположены на одинаковом расстоянии от фотоаппарата. На снимке получается изображение световой гантели (импульсы распространяются слева направо). Если же расстояния от импульсов до камеры разные, то изображение одного импульса словно отстаёт от изображения второго. Но мы же знаем, что их скорость в среде одинакова! В чём же дело?

Разберёмся, почему так происходит. Пока свет от лазерных импульсов распространяется к фотоаппарату, положение самих импульсов меняется. Если мы одновременно снимаем лазерные импульсы, находящиеся на разных расстояниях от камеры, то в кадре получаются их изображения, соответствующие разным моментам времени. Поэтому на фотографии изображение дальнего импульса «сдвинуто» по времени в прошлое относительно ближнего.

Подобно фотографии HUDF, на одном снимке запечатлены объекты в разные моменты времени. Только в этом случае их визуализация стала возможной благодаря не сверхдлинным, а ультракоротким выдержкам.

Мы убедились, что выдержка – это очень важный параметр фотосъёмки. Из-за конечной выдержки фотография всегда запечатлевает не один момент времени, а некоторый временной интервал. Это приводит к тому, что разные объекты на фотографии смещены относительно друг друга по времени. Соответственно, создаётся эффект размазывания, который может быть как дефектом, так и полезным художественным приёмом в умелых руках фотографа. Для исследования космоса полезно использовать длинные выдержки, благодаря чему удаётся разглядеть далёкие галактики – буквально заглянуть в прошлое и увидеть, какой была наша Вселенная миллиарды лет назад. Фотографирование на ультракоротких выдержках позволяет запечатлеть объекты, движущиеся со скоростью света. В таких экспериментах также отчётливо проявляется эффект запаздывания. Необходимо помнить, что не всегда можно верить фотографии, и делать поправки на рассмотренные эффекты.

Для читателей, которые заинтересовались темой фотографии, рекомендуем следующую литературу:

1. **Евгенов С. В.** «Дагер, Ньепс, Тальбот. Популярный очерк об изобретателях фотографии» (1938).

2. **Дюге М.** «Свет, сфотографированный на лету». УФН 109 157–166 (1973).

3. **Болотовский Б. М.** «Что мы видим?». «Квант» 6 2–7 (1985).

ЗАДАЧА

Если вы увлекаетесь олимпиадами по физике, то, наверное, часто встречали Буратино в задачах на формулу тонкой линзы. Предлагаю решить ещё одну подобную задачу:

Папа Карло захотел сфотографировать Буратино в фас для афиши театра. Но Буратино постоянно вертел носом в горизонтальной плоскости с угловой скоростью $\omega = 2\pi$ ***рад/сек. Длина носа Буратино*** l ***= 15 см. Расстояние от Буратино до фотоаппарата*** d ***= 5 м. Оцените время экспозиции*** τ***, с которой папа Карло должен сфотографировать Буратино, чтобы фотография Буратино была чёткой. Фотоаппарат папы Карло имеет матрицу размером 22,5 мм на 15 мм с 5472 × 3648 пикселями. Фокусное расстояние объектива*** F ***= 50 мм.***

Ответ: $\tau \le \dfrac{p(d-F)}{\omega l F} \approx \dfrac{pd}{\omega l F} =$ ***0.4 мс,***

где $p = \dfrac{22.5 \text{ мм}}{5472}$ ***– линейный размер пикселя матрицы.***

Свето Техника

Кафедра «Светотехника» НИУ «Московского энергетического института»

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

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

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»!

НА ПОРОГЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ МИРА

Мы продолжаем знакомить Вас с историей развития увлекательной науки оптики. В прошлом номере мы рассказали о продолжительном периоде со времён Древнего Египта до XVII века, когда были заложены основы оптики. Узнали о работах Галилео Галилея, Рене Декарта, Кристиана Гюйгенса и других исследователей. Главными героями этого материала стали Йоханнес Кеплер и Тихо Браге, о которых рассказал доктор технических наук, профессор и главный редактор журнала «Светотехника» Владимир Павлович Будак

Йоханнес Кеплер (Johannes Kepler) (рисунок 1) родился 21 декабря 1571 года в городе Вайль-дер-Штадт (Weil der Stadt) герцогства Вюртемберг в винодельческом регионе на юго-западе Германии недалеко от Франции. Родители Кеплера происходили из состоятельных семей, которые растеряли всё богатство из-за плохого управления. Детство будущего учёного было непростым. Отец Кеплера служил в армии и посчитал возможным оставить свою беременную жену, чтобы выполнить военные обязательства. Йоханнес родился преждевременно и был слабым, болезненным ребёнком в ранние годы. Чтобы присоединиться к своему мужу, мать Кеплера оставила младенца с дедушкой. Последовали периоды болезни, семейные ссоры, случаи, когда Кеплер выполнял обязанности слуги в отцовском доме, и, наконец, дезертирство и смерть отца. Соответственно, раннее образование Кеплера можно назвать спорадическим. Тем не менее, Кеплеру удалось получить степень бакалавра в 1588 году и степень магистра в 1591 году. Кеплер посвятил свои школьные годы изучению философии, математики и лишь отчасти астрономии. Первоначально Кеплер планировал стать протестантским священником, но благодаря незаурядным математическим способностям был приглашён в 1594 году читать лекции по математике на кафедру астрономии протестантской семинарии в Граце, которая сейчас находится в Австрии. Там он занялся количественными измерениями размеров и движения планет. К этому времени он стал верным последователем теории Коперника. В Граце Кеплер провёл 6 лет. Здесь вышла в свет (1596) его первая книга «Тайна мироздания». В ней Кеплер попытался найти тайную гармонию Вселенной, для чего сопоставил орбитам пяти известных тогда планет (сферу Земли он выделял особо) различные «Платоновы тела» (правильные многогранники). Книгу «Тайна мироздания» Кеплер послал Галилею и Тихо Браге. Галилей одобрил гелиоцентрический подход Кеплера, хотя мистическую нумерологию не поддержал. В дальнейшем они вели оживлённую переписку, и это обстоятельство (общение с «еретиком»-протестантом) на суде над Галилеем было особо подчёркнуто как отягчающее вину Галилея.

Рисунок 1. Йоханнес Кеплер

Тихо Браге (дат. Tyge Ottesen Brahe, лат. Tycho Brahe, 1546, Кнудструп, Дания (ныне Швеция) – 1601, Прага) (рисунок 2), ведущий астроном Европы того времени, как и Галилей, отверг надуманные построения Кеплера, однако высоко оценил его знания, оригинальность мысли. В результате была начата переписка, и в 1600 году Кеплер посетил Тихо в Праге.

Наблюдения Тихо Браге являются воплощением точных измерений, сделанных без использования оптических приборов, усиленных линзами (например, телескопом). Его измерения звёздных и планетарных движений стали гигантским шагом на пути изучения Вселенной, а, следовательно, и углубления понимания света. Тихо Браге можно

Рисунок 2. Тихо Браге

уверенно назвать основателем современной европейской физики.

Тихо родился в Дании 14 декабря 1546 года в древней и благородной датской семье, став старшим из двух сыновей. Отец Тихо, Отте Браге, как и многие из его предков, занимал высокие военные и политические должности датского государства. По древнему обычаю викингов Отте Браге пообещал своему брату Йергену, адмиралу королевского флота, жившему в соседнем замке Тоструп, отдать первенца на воспитание. Однако когда дядя Тихо прибыл, чтобы принять ребенка, то отец отказался выполнять обещание. Тогда дядя тайком увёз Тихо. Родители легко смирились с произошедшим, вероятно, воодушевившись перспективой, что сын получит шанс унаследовать богатство своего дяди.

Адмирал, человек очень состоятельный, окружил заботой своего единственного приёмного сына, который получил блестящее образование. Уже в 12-летнем возрасте Тихо поступил в университет Копенгагена для изучения риторики и философии в рамках подготовки к карьере государственного деятеля. 21 августа 1560 года Тихо увидел частичное затмение Солнца. Это событие поразило 14-летнего молодого человека той точностью, с которой люди могли предсказать небесные явления. Так у юноши родился интерес к науке в целом и к астрономии в частности. Однако дядя Тихо предупредил мальчика, чтобы он не бросал занятия, которые могли бы привести к выбранной для него карьере.

Качество преподавания в Копенгагене было невысоким и ограничивалось изучением «семи свободных искусств»: искусства слова (грамматика и риторика), мышления (диалектика) и числа (арифметика, геометрия, астрономия, музыка). Первый цикл (из трёх учебных наук) назывался тривий (trivium), второй цикл (из четырёх) квадривий (quadrivium). После трёх лет в Копенгагене дядя Тихо посчитал, что пришло время отправить его в иностранный университет. Был выбран один из лучших университетов того времени в Лейпциге. Чтобы быть уверенным, что Тихо не займётся наукой, молодого человека сопровождал наставник. Само собой разумеется, молодой учёный так или иначе продолжал заниматься предметами, вызвавшими его интерес ночи напролёт проводил за астрономическими наблюдениями, для чего обзавёлся инструментами, часть которых купил, а часть изготовил самостоятельно.

Закончить обучение ему не удалось: в мае 1565 года началась очередная датско-шведская война, и адмирал отозвал Браге к себе в Копенгаген. Спустя месяц после его прибытия, спасая короля, сброшенного лошадью с моста в море, 60-летний приёмный отец Йерген простудился и вскоре умер. Всё его солидное состояние перешло к 19-летнему Тихо Браге. Несмотря на возражения семьи, Тихо открыто стал преследовать в учёбе научные цели. Обретённую независимость Браге решил использовать для завершения обучения в Лейпциге. В апреле 1566 года он прибыл в знаменитый Виттенбергский университет, оплот протестантской культуры (рисунок 3). Но эпидемия чумы вынудила его срочно уехать в Росток. Стоит отметить, что у молодого человека сформировался вспыльчивый характер и чрезмерная гордость – характеристика, которая будет следовать за ним всю жизнь. Отлично иллюстрирует непростой нрав учёного одна история. Во время рождественского сезона 1566 года Тихо и другой датский дворянин поссорились на одной вечеринке и решили урегулировать разногласия на дуэли. В результате Тихо потерял часть своего носа. Чтобы скрыть уродство, он сделал «протез» из сплава золота и серебра.

Когда эпидемия спала, Браге в апреле 1569 года прибыл в Аугсбург один из крупнейших торгово-финансовых центров Европы в Средние века. Здесь он провёл два года и заплатил местным ремесленникам значительную сумму за изготовление ряда астрономических инструментов по собственным чертежам. Новые инструменты Браге сразу же использовал для астрономических наблюдений. В эти годы он вступил в переписку с видными учёными. Известность Браге в научном мире возрастала.

Рисунок 3. Виттенбергский университет

К тридцати годам Тихо стал известным человеком. Его астрономические наблюдения имели большое значение. Примерно в это же время король Дании Фридрих II, который чувствовал себя обязанным адмиралу Йергену за спасение, признал гениальность Тихо и сделал ему замечательное предложение. Ему дали остров Вен и деньги, чтобы построить там обсерваторию – Храм астрономии, названный Тихо Ураниборгом в честь древнегреческой музы астрономии Урании. Это было первое в Европе здание, специально построенное для астрономических наблюдений (рисунок 4, 5). Средства, выделенные королём, были велики, но их всё равно не хватало, и Браге израсходовал на строительство и оборудование Ураниборга большую часть своего состояния. В течение двадцати лет Ураниборг был Меккой для философов, государственных деятелей, иногда королей и других людей со всей Европы.

Рисунок 4. Остров Вен с обсерваторией Ураниборг

Рисунок 5. Обсерватория Ураниборг

Однако гордость и нрав Тихо сохранялись. Он был склонен противоречить своим гостям, разоблачать их невежество и оскорблять.

Высокомерие и заносчивость Тихо принесли ему больше неприятностей, чем просто потеря носа. Отсутствие такта и дипломатии у Тихо раздражало многих его гостей и соседей. Когда Фридрих II умер, на учёного оказали сильное давление и заставили уйти. Браге перебрался в 1598 году в Прагу, где стал придворным математиком и астрологом Рудольфа II – императора Священной Римской империи. Император был большим любителем науки и искусств. Рудольф II назначил Браге крупное жало-

ванье, аванс на обустройство, передал дом в Праге и выделил расположенный неподалёку замок Бенатки для устройства обсерватории, куда Тихо отправил свои инструменты из Вены.

Вероятно, в это напряжённое время Браге пришёл к выводу, что ему нужен молодой талантливый помощник-математик для обработки накопленных за 20 лет данных. В это время в католическом Граце начались гонения на протестантов. Кеплер, занесённый в список изгоняемых «еретиков», был вынужден покинуть город. Узнав о гонениях на Йоханнеса Кеплера, незаурядные математические способности которого он уже успел оценить из их переписки, Тихо пригласил его к себе в качестве помощника. Кеплер присоединился к Браге в 1600 году, когда ему ещё не было тридцати. В феврале Браге встретился с ним и объяснил главную задачу – вывести из наблюдений новую систему мира, которая должна прийти на смену как птолемеевской, так и коперниковой.

В 1601 году Тихо Браге и Кеплер начали работу над новыми, уточнёнными астрономическими таблицами, которые были закончены в 1627 году и служили астрономам и морякам вплоть до начала XIX века. В октябре Браге неожиданно заболел и, несмотря на участие лучших врачей императора, умер спустя 11 дней от неизвестной болезни. По словам Кеплера, перед смертью он несколько раз произнёс: «Жизнь прожита не напрасно». Кеплеру достались исключительные по точности наблюдения Тихо Браге. Во всех своих дальнейших книгах Кеплер подчёркивал, сколь многим он обязан Тихо Браге, его самоотверженному труду во имя науки.

Инструменты Тихо и его методы их использования, безусловно, превосходили любые, сделанные до него. В руках Кеплера данные, собранные Тихо, позволили определить эллиптический путь Земли вокруг Солнца. Это также стимулировало исследования, ведущие к определению скорости света. Многие из тонких характеристик света, которые были ненаблюдаемые, вскоре стали объектом пристального внимания исследователей.

Находясь в Праге, Кеплер предпринял исследование геометрических свойств оптики и физиологических процессов, связанных со зрением. Он дал хорошее приближение к законам рефракции и чётко описал большую часть физиологии глаза.

Кеплер также обменивался корреспонденцией с Галилеем, а в 1610 году даже получил телескоп от Галилея. Он смог изучить этот инструмент и продолжить свою теорию преломления, чтобы описать возможности формирования телескопа.

Одной из важнейших работ, которую Кеплер начал совместно с Браге, было составление астрономических таблиц, которые в честь их покровителя называются таблицами Рудольфина (рисунок 6).

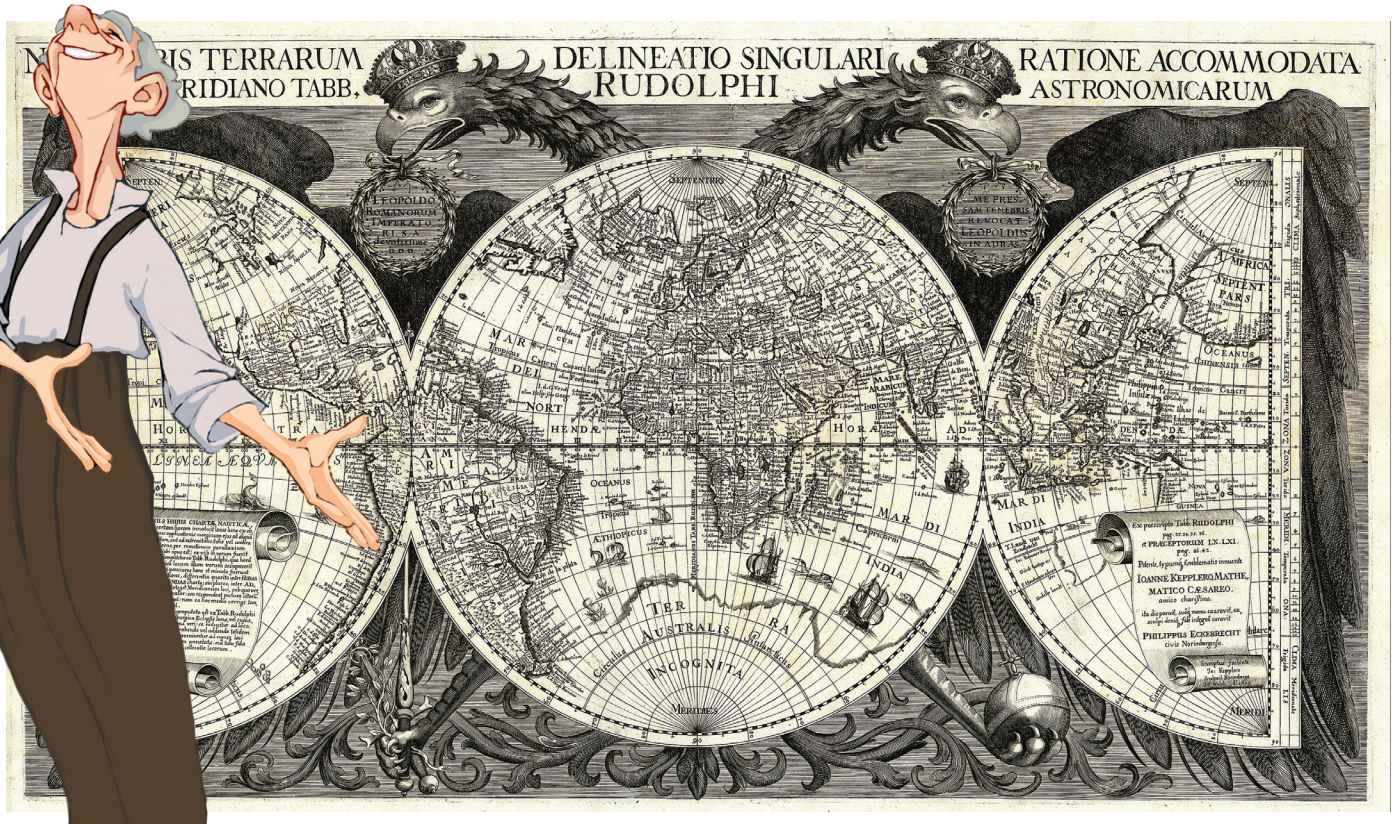


Рисунок 6 . Карта мира, опубликованная в Рудольфинских таблицах

Хотя их первоначально планировалось опубликовать в первом десятилетии XVII века, они вышли в свет только в 1627 году. Масштабы вычислений дают понять, почему логарифмы, разработанные Джоном Нейпером (1550–1617 гг.), были так жадно получены Кеплером. Сегодня любой компьютер рассчитает логарифмы за считанные секунды! Таким образом, Кеплер вёл свои исследования в тесной связи с другими великими учёными своего времени.

Астрономические наблюдения и точные измерения потребовали от Кеплера большего понимания зрения.

Более 20 столетий оптика занималась световыми явлениями. Она возникла, чтобы объяснить явление зрения. На протяжении почти полутора тысяч лет самой признанной была теория «зрительных лучей», предложенная древнегреческими геометрами: из глаз во внешний мир якобы исходят прямолинейные лучи, ощупывают предметы и передают информацию глазам и душе, которые, воссоздавая фигуры на основе этой информации, видят предметы, обнаруживаемые лучами.

Когда в XIII веке начали случайно применять линзы для исправления дальнозоркости, теоретики-оптики оказались в затруднительном положении. Не зная, как функционирует глаз, чем именно обусловлена дальнозоркость, как действует линза, нельзя объяснить, почему линзы нейтрализуют дальнозоркость. Действительно, древнегреческая теория стала вызывать сомнения – если зрительные лучи выходят из глаза, постигая внешний мир и затем сообщая о результатах этого исследования душе, то их отклонение от прямой в результате странного преломления при прохождении через стёкла с кривыми поверхностями не могло не затруднять задачу и не усложнять истолкование получаемой информации.

Первые идеи, которые впоследствии должны были привести к нахождению этого ключа, высказал Альгазен (Абу Али аль Хайсам). В своём оптическом шедевре «Kitab al-Manazir» («Книга оптики»), вероятно, написанном в 1027 году, Аль Хайсам отверг идею лучей зрения, испускаемых из глаза. Он утверждал, что это не может быть так, иначе мы могли бы видеть ночью и смотреть на Солнце, не повреждая глаз.

Примечательно, что Kitab al-Manazir, по-видимому, не изучался в арабском мире. Укороченный латинский перевод появился в Европе в XIII веке. Его эффект был немедленным и глубоким. Под названием De aspectibus или Perspectiva, латинская версия работы Аль Хайсама стала основным текстом для оптического исследования в Европе на 400 лет. Печатное издание этого латинского перевода появилось в 1572 году. Важно отметить, что в этом переводе не было первых трёх глав книги, поэтому европейская версия работы Аль Хайсама не содержала анализа радиационных свойств света.

Основными оптиками средневековой Европы были клирики Роберт Гроссетест (Robert Grosseteste, 1170–1253) – епископ Линкольна и канцлер университета в Оксфорде, основатель оксфордской философской и естественнонаучной школы, теоретик и практик экспериментального естествознания, его францисканский студент Роджер Бэкон (Roger Bacon, 1214–1292), силезский исследователь Якуб Вителло (Erazmus Ciołek Witelo, 1220-1280) и Джон Пекам (John Peckham, 1230-1292) архиепископ Кентерберийский, издавший влиятельную книгу Perspectiva communis (Общая оптика).

С пробуждением обучения в Европе изучение оптики унаследовало аристотелевские традиции, а также работу Аль Хайсама в её усечённом латинском переводе. Все эти люди писали об оптике, производя работы, которые в значительной степени опирались на De aspectibus Аль Хайсама.

Средневековый учёный Вителло Эразм Циолек (рисунок 7) издал сочинение «Оптика» в 10 книгах, написанное между 1270 и 1278 годом. Это сочинение представляет собой переработку «De aspectibus» Аль Хайсама, существенно дополненное различными экспериментами. Экспериментальное искусство в области оптики достигает у Вителло весьма высокого уровня. Занимаясь исследованиями радуги, он сконструировал лучшую для своего времени призму для изучения спектра. Ввёл термин перспектива.

В 1604 Кеплер опубликовал Ad Vitellionem paralipomena (Дополнение к Вителлио) и в 1611 Dioptrice (Диоптрика). В этих работах определена геометрическая оптика лучей и пучков лучей, установлен механизм формирования изображения на сетчатке глаза хрусталиком как линзой, исследованы свойства преломления света для создания приборов видения.

Лучи света – фундаментальная идея работ Кеплера. Он предполагал их основными элементами света, являющимися прямыми линиями в однородном пространстве, излучаемыми независимо

Рисунок 7. Витело Эразм Циолек

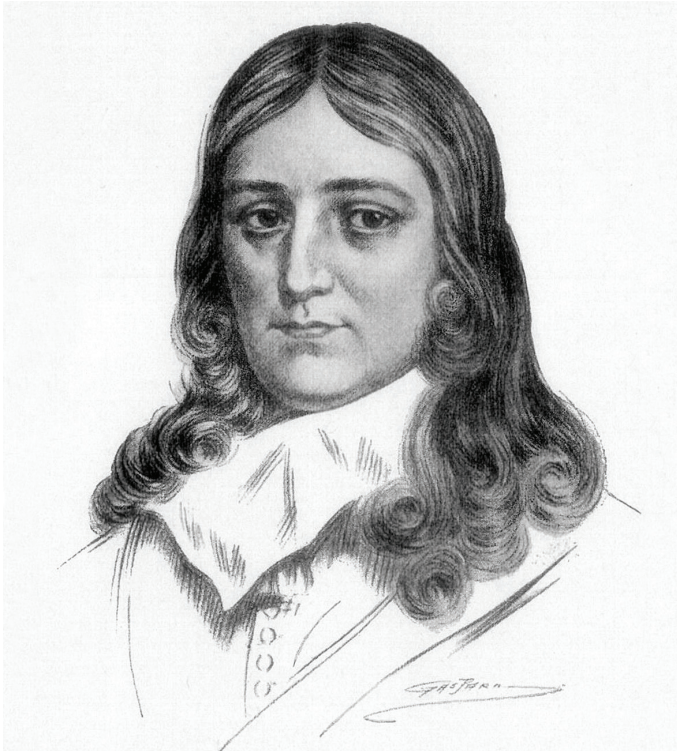


Рисунок 8. Джон Мильтон

от всех точек объекта, испытывающими преломление и отражение на границах раздела двух сред, что определяло для них законы геометрической оптики. Геометрическая оптика определяла закон обратных квадратов от расстояния и объясняла изображение в камере обскура.

Эти два фундаментальных понятия – ослабление плотности с обратным квадратом расстояния и пучки лучей, определяемые элементами протяжённого светящегося источника или апертуры, – в конечном итоге стали основой современных лучевой оптики и светотехники.

Гениальный комплекс работ Кеплера содержит все основные понятия современной геометрической оптики: ничто не утратило здесь значения за минувшие три с половиной столетия. Если какое-либо из положений Кеплера забыто, то об этом следует только пожалеть. Нынешнюю оптику можно с полным правом назвать кеплеровской.

Изучая развитие науки в XVII веке, необходимо упомянуть, что огромное значение на её развитие оказали культурные достижения того времени. Знаменитым деятелем культуры является Джон Мильтон (рисунок 8). Отец воспитывал его как глубоко религиозного человека, однако Мильтон испытывал отвращение к церкви. Вместо этого он посвятил себя поэзии, и карьера литератора принесла ему огромную известность. В 1638 году он много путешествовал по континенту, встречаясь с выдающимися личностями, деятелями культуры и науки, представителями власти. Среди них был Галилео Галилей. Работы Мильтона неизменно отражали его категорическую нетерпимость к церкви и поддержку республиканских принципов. Очевидно, что Мильтон оказал немалое идеологическое влияние на науку того времени, а активное развитие научных изысканий в XVII веке сформировали мировоззрение литератора.

КАК СТАТЬ СВЕТОТЕХНИКОМ? РЕЦЕПТ ВЛАДИМИРА ПАВЛОВИЧА БУДАКА

Многие из вас, прочитав наш журнал, наверняка задавались непростым вопросом: «Как же стать настоящим светотехником»? Ещё немного, и вы это узнаете! Мы побеседовали с одним из заслуженных светотехников России, профессором, доктором технических наук и главным редактором журнала «Светотехника» Владимиром Павловичем Будаком. Исследователь и учёный с большой буквы рассказал, как прошёл путь от юноши, увлечённого точными науками, до профессионала своего дела, а также дал несколько ценных советов молодёжи. Ну что же, начнём наше интервью!

– Владимир Павлович, расскажите, как началось Ваше знакомство с наукой в целом и светотехникой в частности?

– С самого детства меня влекла физика и математика, а светотехника стала привлекать значительно позже. Интерес к точным наукам мне привили книги, например, такое замечательное советское многотомное издание, как «Детская энциклопедия». Позже отец подписал меня на журналы «Юный техник» и «Горизонты техники для детей». Затем я поступил в физико-математическую школу – очень хотел стать физиком-теоретиком, совершать открытия и проводить исследования. Именно так началось моё знакомство с наукой.

– Ваше увлечение физикой и математикой, а в дальнейшем и светотехникой, было чем-то обусловлено? Возможно, ваши родители были инженерами или светотехниками?

– На моё становление, как учёного-светотехника, повлияла одна интересная история.

Мой отец после окончания Ленинградского училища инженеров радиотехники (ЛУИР) по распределению попал на службу в Алёшинские казармы (Крутицкие казармы), расположенные в Москве. Там в ночь с 21 на 22 июня 1941 года, впервые заступив в должность помощника дежурного по части, он первым принял сообщение о начале Великой Отечественной войны. Первые месяцы войны он служил прожектористом – засветил восемь вражеских самолётов, за что был удостоен Ордена Красной Звезды. Уже в январе для отслеживания немецкой авиации стали применять локаторы, поэтому отца перевели в Радиотехническое бюро локации Московского энергетического института. С тех времён мой отец знал, что МЭИ – это храм

Владимир Будак у здания МЭИ. 1973 год, 1-ый курс обучения

науки. Поэтому после моей неудачной попытки поступить в Московский физико-технический институт отец сразу же посоветовал мне попробовать свои силы в МЭИ. Так с 1978 года я занимаюсь светотехникой. 42 года назад я впервые

Владимир Будак на Стажировке в Германии, Greifswald. 1989 год, Physikalische Institut

Владимир Павлович Будак на отдыхе в Киттиле, Финляндия

пришёл в аудиторию 516 корпуса «Е», куда прихожу и по сей день. Мечта японца – родиться и умереть в одной кровати. Так что японцы могут практически завидовать моей судьбе в МЭИ!

– Владимир Павлович, что представляла собой светотехника в 1970–80 годы?

– В середине XX века светотехника была не очень популярной наукой, ей уделялось сравнительно мало внимания абитуриентов. Интересно, что на рубеже XIX–XX веков светотехника переживала революционный подъём, как смартфоны сегодня. Ко второй половине столетия ажиотаж сошёл на «нет», а освещение стало восприниматься как обыденность. В XXI веке появление светодиодов, компьютерного моделирования и управления освещением свершило переворот в светотехнике, сделав её опять одной из самых популярных и динамично развивающихся наук.

– Вы никогда не жалели, что предпочли карьере физика судьбу светотехника? Расскажите о студенческой жизни молодых светотехников.

– Ни разу! Моя подготовка в области физики стала надёжной основой для исследований в области светотехники. Мне посчастливилось попасть в великолепную научную группу молодых и инициативных ребят. До позднего вечера шли дискуссии и научные баталии. Нас приходилось просто выгонять из института, когда время близилось к ночи! Нам действительно было интересно работать. Конечно, кроме науки в студенческой жизни было много интересного: концерты популярных музыкальных групп, тех же Uriah Heap, Deep Purple, Nazareth, спортивные соревнования, знаменитые выезды на картошку. Студенческие годы я вспоминаю с радостью.

– Расскажите о Вашей научной деятельности во время учёбы в институте. Чем именно Вы занимались?

– Судьба так распорядилась, что я исследовал распространение излучения, создаваемого прожекторами, в атмосфере. Наставником нашей научной группы был известный учёный, одна из ярчайших личностей советской науки – Николай Алексеевич Карякин. Все прожектора, применявшиеся во время войны, были спроектированы именно им! Ему тогда было около 80 лет, а мне чуть больше 20, но это не помешало нам стать хорошими друзьями. Нашей научной группе под началом Карякина предстояло решить одну важную светотехническую задачу. Луч про..жектора просто пропадал в атмосфере. То есть человек отлично видел сам луч, однако самолёта, который тот должен осветить, видно не было. Позже данная задача трансформировалась, и мы стали исследовать вопрос распространения света под водой.

– Чем отличается современный подход в обучении светотехников?

– Сегодня во главе угла стоит цифровизация. Компьютерные технологии совершили революцию практически во всех отраслях жизни человека, и светотехника – не исключение. Раньше при проектировании стояла задача обеспечить только

Владимир Павлович представляет журнал «Светотехника для детей и их родителей» на конференции в Московской Государственной Художественно-промышленной Академии им. С. Г. Строганова

среднее значение освещённости на плоскости, а советским стандартом были установлены «средние по больнице» 300 люкс. Современные программы компьютерного моделирования дают возможность проектировать освещение всего пространства. Как следствие, проектировщик сегодня становится не просто светотехником, а ещё и дизайнером.

– Владимир Павлович, каким научным достижением Вы гордитесь больше всего?

– Известно, что на могиле Архимеда изображена квадратура круга. Для меня знаковым открытием, которое достойно быть увековеченным, является малоугловая теория светового поля. Многие светотехники пытались посчитать рассеяние в очень малом (узком) угле. У каждого был свой подход, однако яркость пытались найти в виде функции, зависящей от угла. Мне пришло в голову искать её через угловой спектр! Данное открытие оказалось исключительно полезным при моделировании переноса излучения в океане и земной поверхности.

– Сложно ли быть светотехником?

– Быть посредственным специалистом всегда просто, а мастером высокого класса – тяжело. Я считаю, что нужно всегда метить в ряды лучших.

– На какие направления науки молодёжи стоит обратить внимание?

– Основа любой науки – это фундаментальная физико-математическая подготовка и умение работать «руками» – паять, мастерить. Сегодня такая практика во многом утрачена, однако настоящим профессионалом без таких элементарных навыков стать невозможно. Также современность требует развития совсем нетипичных для прошлых лет навыков. Так, например, современному светотехнику абсолютно необходимо обучаться дизайну, прививать правильный вкус.

– Какие передовые направления в светотехнике стоит осваивать молодым исследователям?

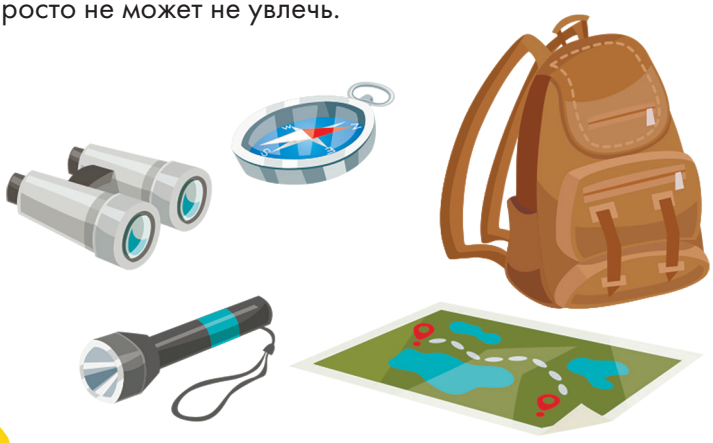
– На сегодняшний день важнейшим вопросом для светотехники остаётся качество освещения. Человечество научилось освещать практически любые объекты и помещения с точки зрения количественных величин. Однако оптимальный рецепт освещения для различных жизненных ситуаций нам по-прежнему неизвестен. Например, нет чёткого понимания, как свет влияет на циркадные ритмы человека. Сегодня «на передовой» светотехники находится тепличное освещение. На пороге времена, когда овощи и фрукты будут выращиваться непосредственно в магазине и прямиком с ветки отправляться к покупателю.

– Как Вы думаете, какой следующий шаг сделает светотехника?

– Пожалуй, это невозможно предсказать! Человечество сегодня подходит к границам понимания действительности. Поэтому на передний план выходит эксперимент, когда мы эмпирическим (опытным) путём открываем новые грани окружающего мира. Поэтому я хочу пожелать юному поколению учёных дерзать, узнавать новое, не бояться экспериментов, делать новые открытия.

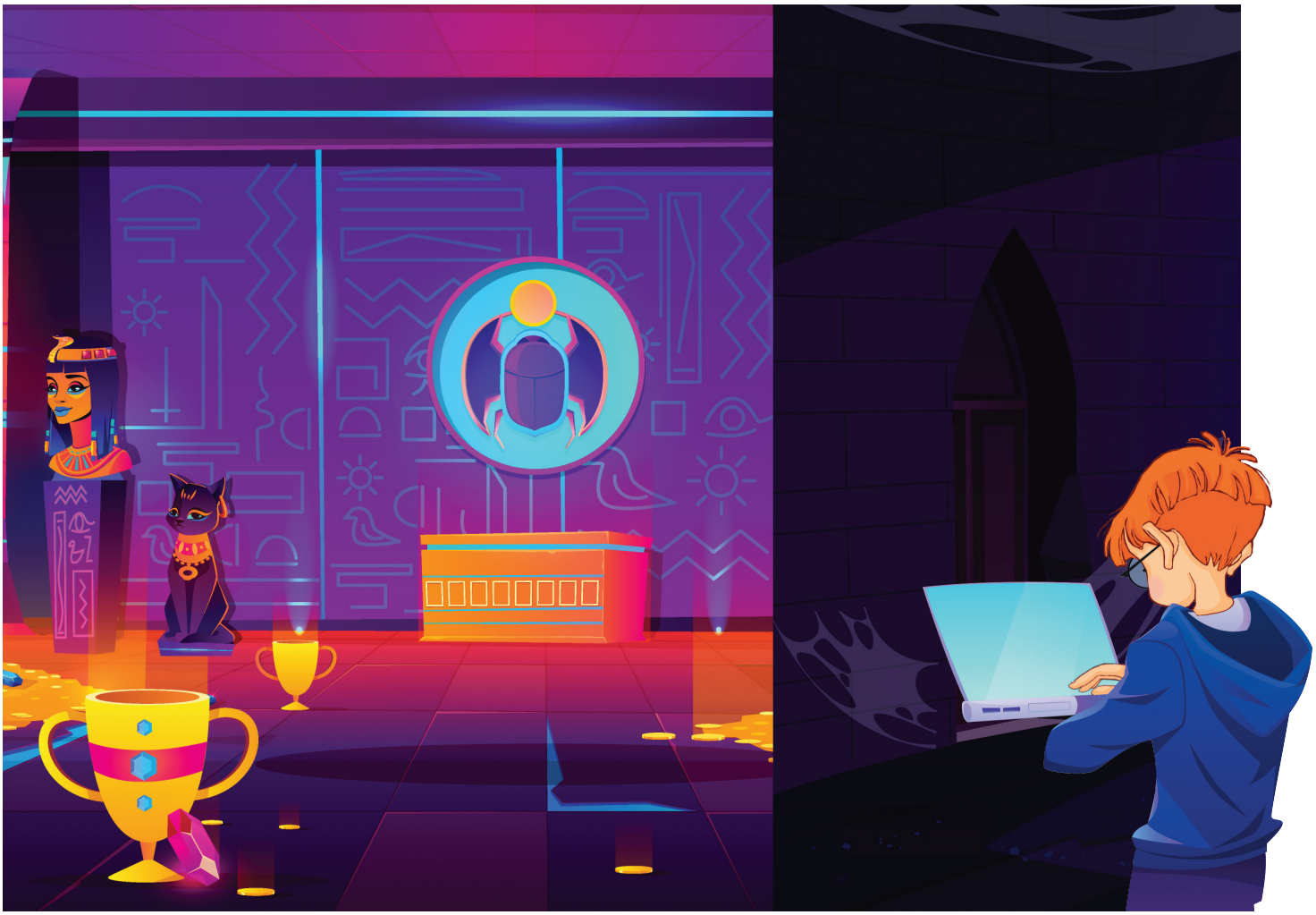
– Как привлечь детей к светотехнике?

– Нужно заинтересовать детей светом. Это настолько огромное и увлекательное явление, что оно просто не может не увлечь.



У СВЕТА «ДЛИННЫЕ РУКИ»

Представь, что ты отважный археолог-исследователь, настоящий Индиана Джонс, который открыл таинственную пирамиду где-нибудь среди песков Египта, и бесстрашно пробираешься по древним руинам. Но вот незадача – коридор завален! Ты замечаешь маленькое отверстие, пытаешься разглядеть, что же впереди, но ничего не выходит, потому что недостаточно света. И обычный фонарик здесь бессилен. Что же делать? Здесь поможет светотехника, точнее, волоконные световоды. Проще говоря, гибкие стеклянные или пластиковые прутики, которые доставляют свет в самые труднодоступные места. Как такое возможно? Об этом ты узнаешь из нашей статьи.



Давайте же разберёмся, как устроены волоконные световоды! Основная идея, лежащая в основе действия световодов, – использование эффекта полного внутреннего отражения. В чём заключается этот эффект? Рассмотрим две среды – воду и воздух – и границу их раздела. Вода является оптически более плотной средой, чем воздух: её показатель преломления n_1 больше, чем показатель преломления воздуха n_2. Представим, что свет распространяется в воде и падает на границу раздела вода–воздух под некоторым углом θ. Что произойдёт в результате попадания света на границу? Свет может частично попасть в воздух, преломившись на границе, может также частично остаться в воде, отразившись от границы сред. Однако если угол падения θ больше некоторого предельного угла θ_c, то свет полностью отразится и останется в воде (рисунок 1)! Это возможно только в том случае, если свет движется из более плотной среды в менее плотную. Возможно, с таким интересным эффектом сталкивался и ты, наш юный читатель: если, находясь под водой, посмотреть под некоторым углом

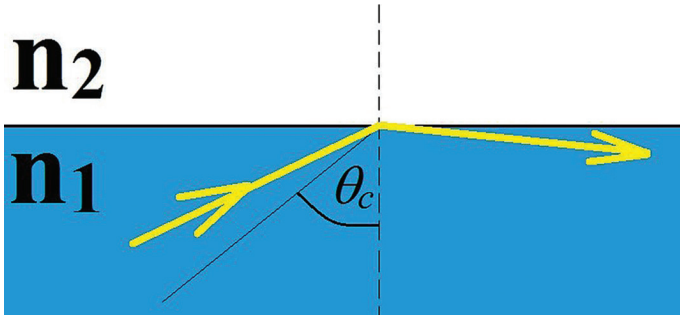


Рисунок 1. Полное внутреннее отражение

на границу раздела вода-воздух, то можно увидеть отражение дна! Угол θ_c строго связан с характеристиками двух рассматриваемых сред, и может быть легко найден, что и используется при создании световодов.

Световод – это тонкая жила из свинцового или органического стекла, которая напоминает гибкую «прозрачную соломинку», состоящую из сердцевины с показателем преломления n_1 и оболочки с показателем преломления n_2, причём $n_1 > n_2$. Если посмотреть на световод, может показаться, что это обычный кусочек стекла. Однако став частью осветительного устройства, он приобретает почётную роль проводника, который доставляет световой поток от источника в любое необходимое место за счёт эффекта полного внутреннего отражения, возникающего огромное количество раз внутри него (рисунок 2).

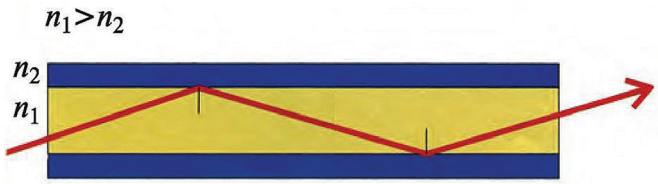


Рисунок 2. Волоконный световод

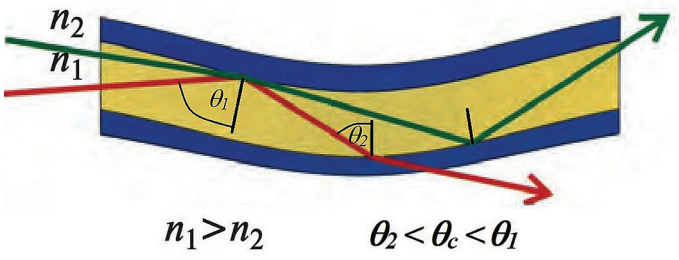


Рисунок 3. Гибкий волоконный световод

Часто возникает необходимость сгибать световод, чтобы «обогнуть препятствия» и доставить свет в нужное место. Поэтому световоды принято характеризовать минимальным радиусом изгиба. При этом часть излучения выходит из световода (рисунок 3).

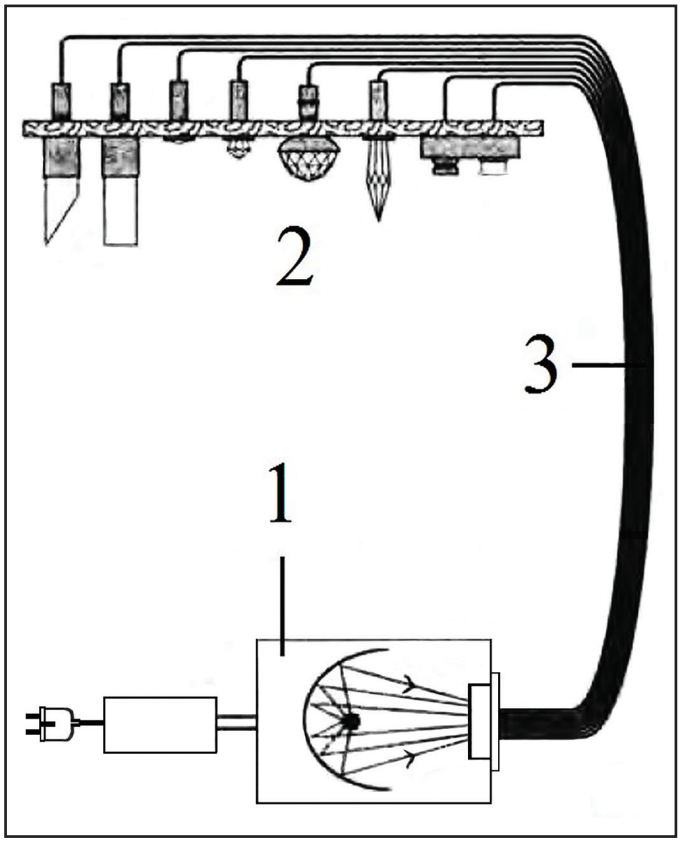


Рисунок 4. Схема осветительного устройства с гибкими волоконными световодами: 1 – вводное устройство; 2 – оптические насадки; 3 – световод

Как же выглядит осветительное устройство со световодами? Конструкция, можно сказать, элементарная. Она включает три компонента: вводное устройство, оптическую насадку и, собственно, световод (рисунок 4).

Как работает такое осветительное устройство? Вводное устройство, которое содержит источник света (например, светодиод или лампу накаливания) концентрирует световой поток и направляет его в световод. В результате многократных отражений световой поток попадает с одного края световода на другой. К световоду крепится насадка, которая перераспределяет свет.

А теперь давайте подробнее рассмотрим каждую составляющую осветительного устройства со световодами.

Световоды можно разделить на одножильные и многожильные. Первые состоят из одного «прутика» и получаются довольно громоздкими из-за необходимости использовать индивидуальное вводное устройство. Обычно они используются в осветительных установках, рекламных конструкциях, а также для медицинских целей. Именно они являются частью эндоскопа и помогают хирургам рассмотреть всё, что происходит

в человеческом организме, не травмируя его. Также их применяют для решения сложных технических задач. Например, осмотра автомобилей на таможенном контроле или проверки целостности бензобаков.

Многожильные световоды (рисунок 5) состоят из «пучка» одножильных световодов, связанных вместе и прикреплённых к вводному устройству. Этот тип имеет очень широкий диапазон применения. Преимущественно это ландшафтное и декоративное освещение.

Толщина отдельно взятого световода может варьироваться от 50–150 мкм до 1 мм. Наиболее тонкие используются для декоративного и акцентирующего освещения, а толстые – преимущественно в осветительных и светорекламных установках, в медицинских и других приборах для освещения труднодоступных мест. Также существуют моноволоконные световоды с одним гибким стержнем 15–20 мм в диаметре.

Световоды бывают торцевого и бокового свечения. Принцип работы торцевых световодов основан на передаче света с минимальными потерями в заданную точку пространства, то есть с максимально эффективным использованием полного внутреннего отражения. Световоды бокового свечения (рисунок 6) основаны на побочном эффекте свечения оптоволокна, возникающем из-за потерь, когда часть света проходит наружу. Это происходит в тот момент, когда волокно изгибается и угол падения становится меньше угла полного внутреннего отражения. Проще говоря, боковой световод излучает свет по всей длине, а торцевой – только на конце. Поэтому для световодов бокового свечения используется прозрачная оболочка.

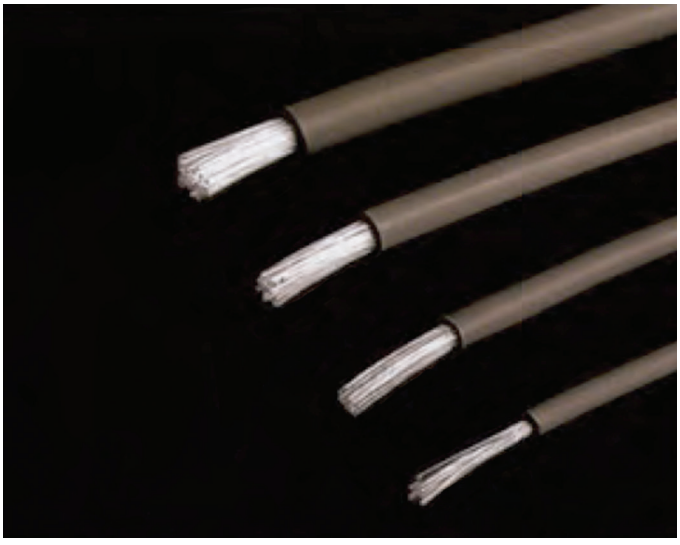


Рисунок 5. Многожильные световоды

Рассмотрим подробнее вводные осветительные устройства. Основным их элементом является источник света, который помещён в металлический корпус вместе с другими составляющими, дающими возможность создать и направить необходимый световой пучок в световод. Изначально в качестве источника света применялись галогенные лампы накаливания. Однако из-за развития производства многожильных световодов пришлось задуматься об их замене, потому что галогенные лампы накаливания обладают малым сроком службы и низкой световой отдачей. На сегодняшний день в качестве источников в вводных осветительных устройствах используются как разрядные источники света (короткодуговая одноцокольная металлогалогеновая лампа МГЛ мощностью 200 Вт, стандартная металлогалогеновая лампа 150 Вт), так и светодиоды.

Несколько слов стоит сказать и об оптических насадках. Такие насадки являются «лицом» осветительного устройства со световодами. Их встраивают в подвесные потолки, мебель, торговое оборудование или музейные стеллажи. Они, как насадки на кондитерский шприц, придают выдавливаемому крему необходимую форму. Так и на торец каждого световода устанавливается (если есть такая необходимость) оптическая насадка, формирующая необходимое светораспределение. Обычно она сделана из хрустального стекла или пластмассы.

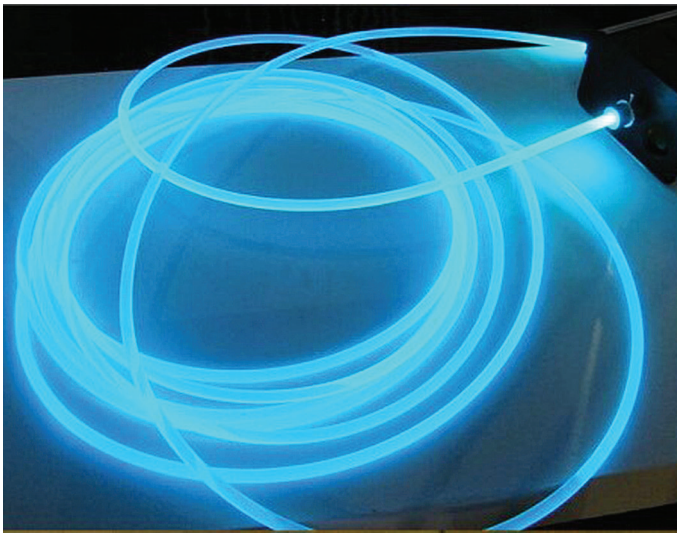


Рисунок 6. Световоды бокового свечения

Некоторые насадки позволяют регулировать диаметр и форму светового пучка, а поворотные насадки дают шанс менять его направление. Как правило, такие насадки применяются при ланд-

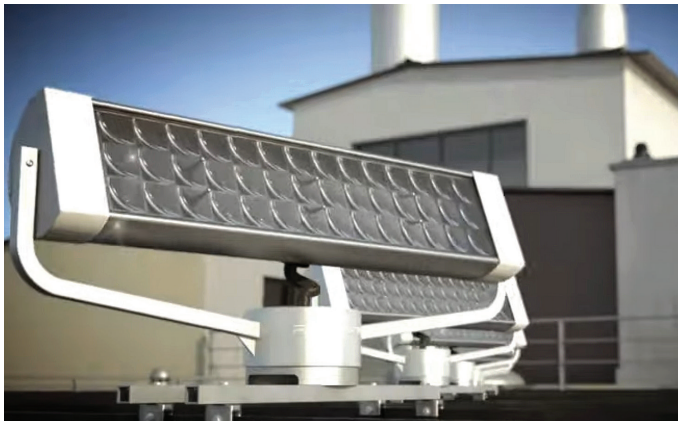


Рисунок 7. Система естественного освещения со световодами (компания Parans, Швеция)

Рисунок 9. Имитация звёздного неба с помощью световодов

шафтном освещении – подсветке кустарников, деревьев, фонтанов.

Кстати, существуют световоды, которые можно использовать без искусственных источников света – они могут перенаправлять естественный солнечный свет! Такое освещение сегодня активно используется, например, при строительстве домов с применением исключительно энергоэффективных и экологичных технологий (рисунок 7).

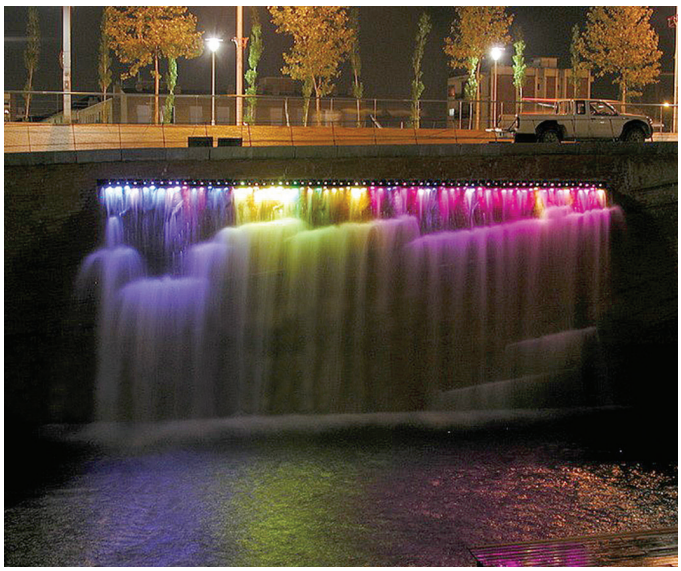


Рисунок 8. Освещение фонтана с помощью световодов

Зачем же нужны световоды? Они обладают рядом преимуществ, которые просто не способны дать другие осветительные системы. Во-первых, световоды абсолютно безопасны для применения на производствах, где есть риск взрыва или возгорания, благодаря вынесенным источникам питания. Например, их можно легко использовать на заводе по производству пиротехники. Во-вторых, световоды дают бесконечные возможности по созданию световых композиций в архитектурном освещении (рисунок 8). Можно добиться уникальных эффектов, таких как «звёздное небо» (рисунок 9) и многих других (рисунок 10) благодаря гибкости световодов, эстетической привлекательности и отсутствию жёсткой связи между источником света и оптическими насадками.

Рисунок 10. Художественная люстра на основе световодов

В-третьих, световоды позволяют доставить свет в самые труднодоступные места без лишних проводов.

Световоды в очередной раз доказывают, что светом можно и, конечно, нужно эффективно управлять! Возможно, благодаря своему удобству и безопасности, световоды скоро будут практически везде – в общественном транспорте, городском пространстве, архитектурном освещении, музеях.

«КРЫЛАТАЯ» ЛАБОРАТОРИЯ

Инновационные технологии становятся неотъемлемой частью нашей жизни. Сегодня практически всё можно сделать с помощью искусственного интеллекта – отправить письмо, сделать фото, даже открыть окно можно через смартфон и пропылесосить квартиру с помощью мини-робота. Светотехника также стремится к инновациям. Так сотрудники лаборатории ВНИСИ предложили нестандартный способ измерения облучённости в теплицах – с помощью квадрокоптера! Теперь скучная процедура замеров превратилась в увлекательный авиаэксперимент. О необычной разработке рассказали её авторы Михаил Федорищев и Вячеслав Панин.

Круглый год жители России лакомятся свежими овощами, фруктами, ягодами и зеленью. Каким образом в разгар зимней стужи, когда световой день длится всего 6–7 часов, на прилавках магазинов ежедневно появляются сочные томаты или, например, клубника? Ответ прост. Их выращивают в современных тепличных комплексах, где обеспечены идеальная температура, влажность, а главное облучённость. Как и люди, растения постоянно нуждаются в свете, и это неудивительно. Свет является важнейшим условием для нормального существования растений. Помнишь школьную программу по биологии? Основа жизни любого растения, будь то пальма или лист салата, заключается в фотосинтезе – преобразовании солнечной энергии в органическую. В теплицах искусственное освещение успешно заменяет работу небесного светила. Даже незначительное изменение в работе светильников может снизить урожай или вовсе убить растение! Поэтому облучённость теплиц должна находиться под непрерывным наблюдением.

Молодые учёные Михаил Федорищев и Вячеслав Панин решили сделать данный процесс проще, современнее, эффективнее и намного веселее. Для

измерения уровня облучённости они решили использовать роботов! А если быть точным, квадрокоптеры, которые сегодня весьма популярны у любителей фотографии или поклонников летательных аппаратов.

Возможно вы, ребята, ещё не знаете, что такое облучённость и чем она отличается от освещённости? А главное, почему наш квадрокоптер «охотится» именно за ней. Действительно, прежде чем продолжить рассказ, необходимо разобраться в этом непростом понятии.

Человек отлично научился подбирать освещение для своего комфортного существования – эксперты прекрасно знают, какой свет потребуется для работы на промышленном предприятии, домашнего чтения или спортивной тренировки. Поговорить же с саженцем томатов или редисом и поинтересоваться его уровнем комфорта невозможно, поэтому единственный выход – путём экспериментов выяснить, что нужно растению для процветания.

Сложность заключается в том, что человеческий глаз реагирует исключительно на видимый диапазон спектра электромагнитного излучения (380–780 нм) – свет. Растения же реагируют на другой диапазон электромагнитного излучения, который принято называть Фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Поэтому в теплицах необходимо исследовать именно этот диапазон электромагнитного излучения.

Какую величину необходимо контролировать в теплицах? Фотосинтетическую фотонную облучённость (PPFD)! Эта величина является аналогом другой величины в системе световых величин – освещённости. Ещё эту величину называют поверхностной плотностью лучистого потока. Фотосинтетическая фотонная облучённость равна отношению потока излучения к площади облучаемой поверхности. Единица измерения – мкмоль/(м^2·с).

Теперь, когда мы разобрались в терминологии, вернёмся к нашему изобретению.

Традиционно измерение облучённости тепличных хозяйств в России проводится «вручную»: специалист с измерительным прибором исследует прямоугольный участок под девятью светильниками (рисунок 1). Такая методика очень трудоёмкая, продолжительная по времени и не позволяет получить объективную оценку облучённости всей площади теплицы.

Каждому растению в теплице требуется определённое количество излучения. Даже незначительные изменения облучённости, вызванные, например, выходом из строя светильника, чреваты как минимум снижением урожая или даже гибелью саженцев. В связи с этим нужно проводить контроль облучённости в теплицах.

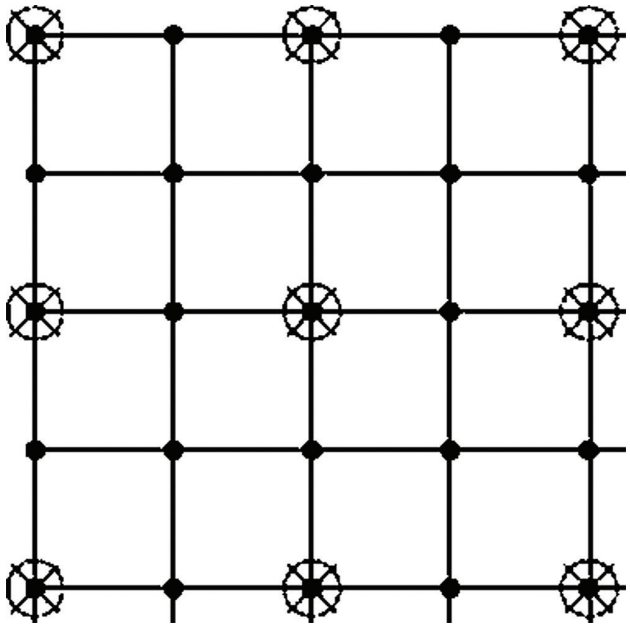


Рисунок 1. Схема расположения и нумерация контрольных точек измерения

– проекция центра прибора на плоскость измерения

– контрольная точка измерения

Транспортной базой для измерительной установки стал квадрокоптер (рисунок 2). На него установлен датчик облучённости и передатчик, который в режиме реального времени направляет собранные данные на компьютер, где измеренные значения облучённости сохраняются и строится график зависимости облучённости от времени (рисунок 3).

Каким образом проводятся измерения? Специалист запускает квадрокоптер в теплице и с помощью пульта управления направляет летательный аппарат. Также можно использовать интеллектуальный режим управления, когда дрону заранее задаётся траектория полёта, по которой он двигается (рисунок 4). Оптимально подобранная траектория и скорость движения позволяет беспилотнику максимально быстро исследовать уровень облучённости на территории всей теплицы.

Но каким образом определить, какому месту в теплице соответствует то или иное измеренное значение облучённости? Параллельно с измерением значений облучённости фиксируется зависимость координат квадрокоптера от времени – такой функционал заложен практически во все

Рисунок 2. Внешний вид мобильной установки

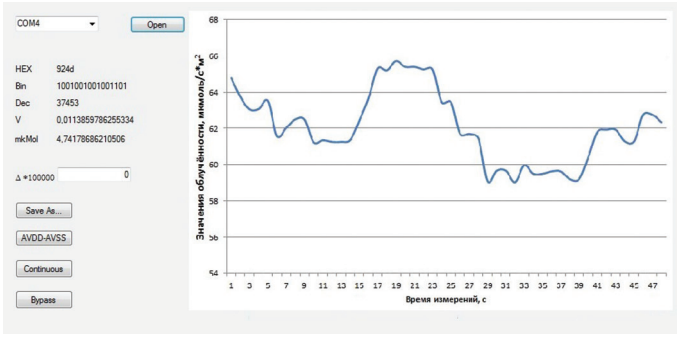


Рисунок 3. График зависимости облучённости от времени

ния растений сверху, до появления растений или в промежутках между урожаями. Конечно, измерение облучённости требуется не ежедневно, однако регулярный анализ этого показателя обеспечит уровень облучённости необходимый каждому растению, а, следовательно, отличный урожай, который окажется на столе у россиян.

На сегодняшний день разработка летающей лаборатории для экспресс-измерений облучённости в теплицах завершена, и изделие готово к работе.

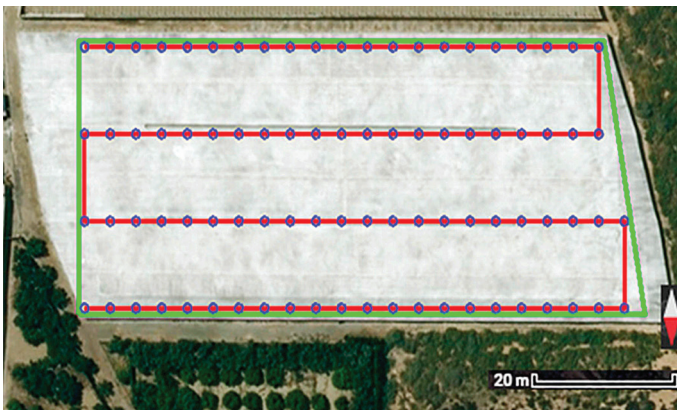


Рисунок 4. Траектория движения беспилотного летательного аппарата

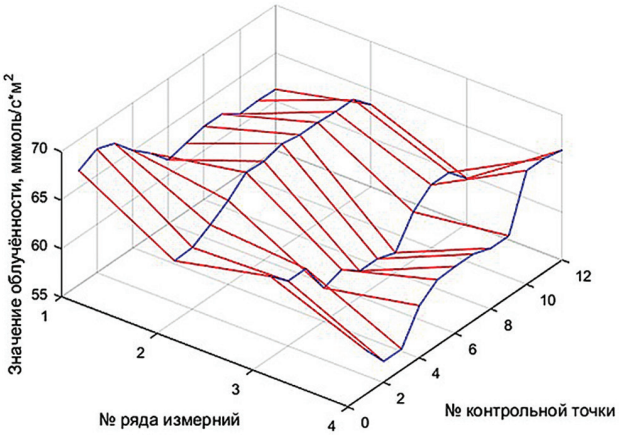


Рисунок 5. Пример карты распределения облучённости

современные квадрокоптеры. Таким образом, мы знаем точное время измерения и координаты каждого значения облучённости, что позволяет нам построить карты облучённости (рисунок 5).

Установку планируется применять в тепличных помещениях, предназначенных для облуче-

Думаем, оно позволит сделать тепличные овощи и фрукты такими же вкусными, как с садовой грядки и даже лучше. Однако останавливаться на достигнутом нельзя! Автоматизация и роботизация всех процессов нашей жизни только начинается.

Новые открытия за вами, наши юные читатели!

БЫСТРЕЕ, ЧЕМ СВЕТ

Наверное, каждый слышал, что быстрее всего во вселенной распространяется свет. Его скорость настолько велика, что её трудно себе даже вообразить – $300 \cdot 10^6$ м/с (хотя здесь возможны оговорки, но об этом – в конце статьи)! Первые исследования по определению скорости света были проведены в далёком XVII веке Олафом Рёмером. Давайте подробно разберём, как ему это удалось. А поможет нам в этом студент 2 курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Антон Гримайло.

Планета Юпитер имеет множество спутников (сейчас их насчитывается 79). Наиболее известными из них являются открытые Галилео Галилеем Ио, Европа, Ганимед и Калисто (рисунок 1). Из строномических наблюдений за ними известно, что *средний промежуток времени между двумя последовательными затмениями* какого-нибудь определённого спутника *зависит от того, на каком расстоянии* друг от друга находятся Земля и Юпитер во время наблюдений. Метод Рёмера, датского астронома (рисунок 2), основан на этих наблюдениях.

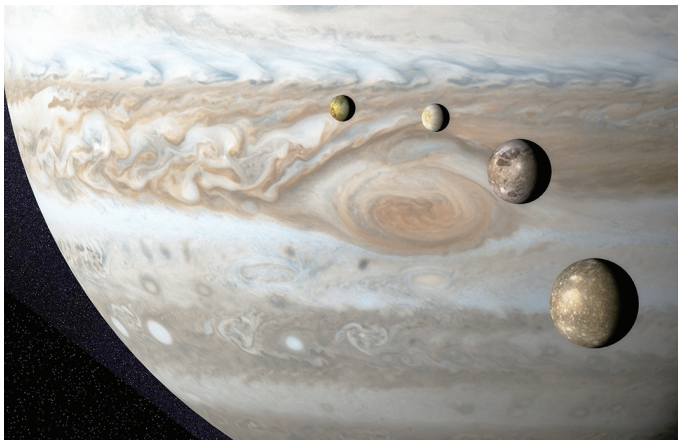


Рисунок 1. Юпитер со спутниками (по мере удаления): Ио, Европа, Ганимед и Калисто

Рисунок 2. Олаф Рёмер

Предлагаем самым смелым из читателей разобраться в методе Рёмера для определения скорости света.

Допустим, что в определённый момент времени Земля ($З_1$) и Юпитер ($Ю_1$) находятся в противостоянии, то есть Солнце, Земля и Юпитер находятся на одной линии, причём Земля – между Солнцем и Юпитером (рисунок 3). Допустим, что в этот момент один из спутников (сп) – например, Ио – наблюдаемый с Земли, исчезает в тени Юпитера. Однако на Земле это будет видно не сразу: чтобы пройти огромные космические расстояния свету тоже требуется время.

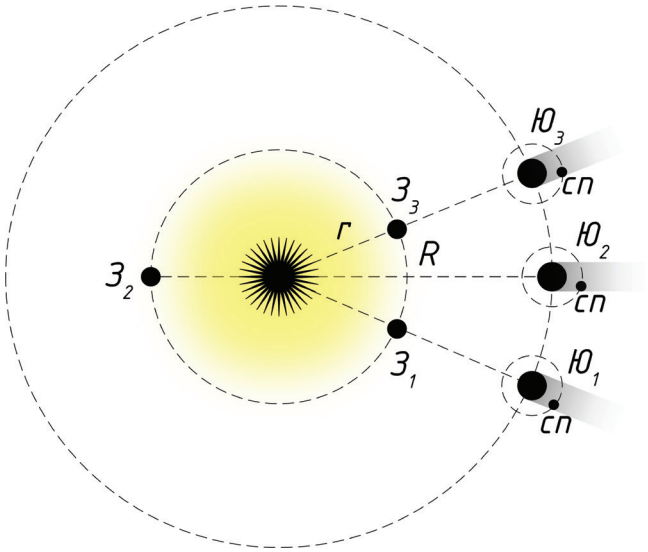


Рисунок 3. К определению скорости света по методу Рёмера

Если обозначить радиус орбиты Земли r, радиус орбиты Юпитера – R, а скорость света – c, то время Δt_1, которое пройдёт перед тем, как на Земле увидят исчезновение спутника, составит:

$$\Delta t_1 = \frac{R-r}{c}.$$

По истечении 0,545 года Земля $(З_2)$ и Юпитер $(Ю_2)$ находятся в соединении, то есть Солнце, Земля и Юпитер находятся на одной линии, причём Солнце – между Землёй и Юпитером. Если в это время происходит n-ое затмение того же спутника, то на Земле оно будет зарегистрировано уже с опозданием Δt_2:

$$\Delta t_2 = \frac{R+r}{c}.$$

Обозначив период обращения (время одного полного обращения) спутника вокруг Юпитера t, сможем определить промежуток времени T_2, прошедший между первым и n-ым затмениями, наблюдавшимися с Земли:

$$T_1 = (n-1)t = \underbrace{(n-1)t}_{1} + \underbrace{\Delta t_2 - \Delta t_1}_{2}, \text{ где}$$

1 – время $(n-1)$ оборотов спутника вокруг Юпитера;

2 – разница задержки во времени регистрации первого и n-го затмений на Земле. Она обусловлена тем, что в момент *2* Земля находится дальше от Юпитера по сравнению с моментом *1*.

Если подставить в последнюю формулу выражения для Δt_1 и Δt_2, а затем провести небольшие преобразования, то:

$$T_1 = (n-1)t + \Delta t_2 - \Delta t_1 = (n-1)t + \frac{R+r}{c} - \frac{R-r}{c} =$$

$$= (n-1)t + \frac{\cancel{R}+r-\cancel{R}+r}{c} = (n-1)t + \frac{2r}{c}$$

По истечении ещё 0,545 года Земля $(З_3)$ и Юпитер $(Ю_3)$ будут снова находиться в противостоянии. За это время совершится ещё $(n-1)$ новых оборотов спутника вокруг Юпитера и $(n-1)$ новых затмений, из которых первое – в момент *2*, а последнее – в момент *3*. Соответственно, первое наблюдалось с Земли с задержкой Δt_1, а последнее – с задержкой $\Delta t_3 = \Delta t_1$, так как расстояние между Юпитером и Землёй в момент *3* такое же, как и в момент *1*. Тогда промежуток времени T_2 между первым и последним затмениями в этом случае будет равен:

$$T_2 = (n-1)t + \Delta t_3 - \Delta t_2 = (n-1)t + \frac{R-r}{c} - \frac{R+r}{c} =$$

$$= (n-1)t + \frac{\cancel{R}-r-\cancel{R}-r}{c} = (n-1)t - \frac{2r}{c}$$

Если вычесть T_1 из T_2, то получим:

$$T_1 - T_2 = \cancel{(n-1)t} + \frac{2r}{c} - \cancel{(n-1)t} + \frac{2r}{c} = \frac{4r}{c}$$

Значит, измерив промежутки времени T_1 и T_2 и зная расстояние от Земли до Солнца r, можно вычислить скорость света c по формуле:

$$c = \frac{4r}{T_1 - T_2}$$

Измерения показывают, что $T_1 - T_2 \approx 1980$ *с*. Если принять среднее расстояние от Земли до Солнца равным примерно $150 \cdot 10^9$ м, то, подставив данные величины в последнюю формулу, получим для скорости света значение:

$$c = \frac{4r}{T_1 - T_2} = \frac{4 \cdot 150 \cdot 10^9}{1980} \approx 300 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

Другие более современные методы позволяют получить величину скорости света с большей точностью – с = 299 792 458 м/с.

Строго говоря, сам О. Рёмер никогда не пользовался именно этим методом и не рассчитывал скорость света в земных единицах измерения. Он наблюдал за спутником Ио, когда Земля находилась в положениях F, G, H, L, K (рисунок 4),

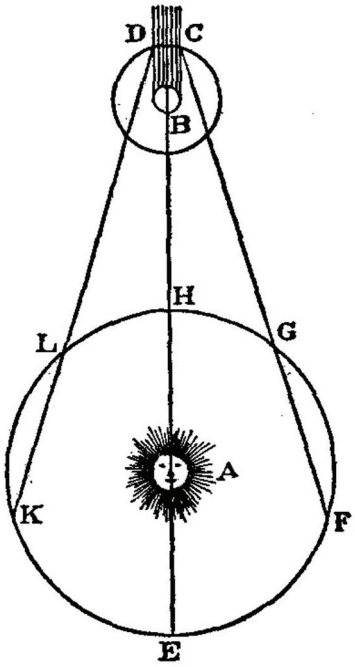


Рисунок 4. Иллюстрация из работы О. Рёмера

и доказал, что скорость света конечна, хотя и имеет невообразимо большое значение. Это произвело сильное впечатление на современников и в том числе подтолкнуло Х. Гюйгенса (1629–1695) к представлениям о волновой природе света.

Скорость света является фундаментальной физической константой, которая входит в состав множества законов, а также используется для установления международных эталонов. Специальная теория относительности гласит, в частности, что скорость света в вакууме является максимально возможной скоростью, и никакое взаимодействие во вселенной не может происходить быстрее. Однако, если свет распространяется в некоторой среде (например, в воде), это выполняется не всегда.

Наглядным примером тому является излучение Вавилова-Черенкова (рисунок 5). В 1934 году П. А. Черенков, работавший под руководством С. И. Вавилова (рисунок 6), обнаружил необычное излучение в самых разных веществах, которые были подвергнуты облучению, и предположил, что его происхождение связано с движением электронов через вещество. Полное разъяснение явления было дано в теоретическом исследовании (1937 г.) советских физиков И. Е. Тамма и И. М. Франка (рисунок 6). Они показали, что свечение должно иметь место, если скорость электрона превосходит скорость света в данном веществе.

В 1958 году И. Е. Тамм, И. М. Франк и П. А. Черенков получили Нобелевскую премию по физике «За открытие и истолкование эффекта Черенкова». Объяснение этого явления выходит далеко за рамки школьного курса физики и может оказаться недоступным для неподготовленного читателя, поэтому попробуем объяснить суть происходящих физических процессов на более наглядных примерах.

Эффекты, сходные с излучением Вавилова-Черенкова, хорошо известны в области волновых явлений. Нечто похожее можно наблюдать, когда судно движется по поверхности воды со скоростью, превышающей скорость распространения волн. Тогда под носом судна образуются волны (рисунок 7), которые, отставая от него, формируют плоский конус волн, угол раскрытия которого зависит от соотношения скорости судна и скоро-

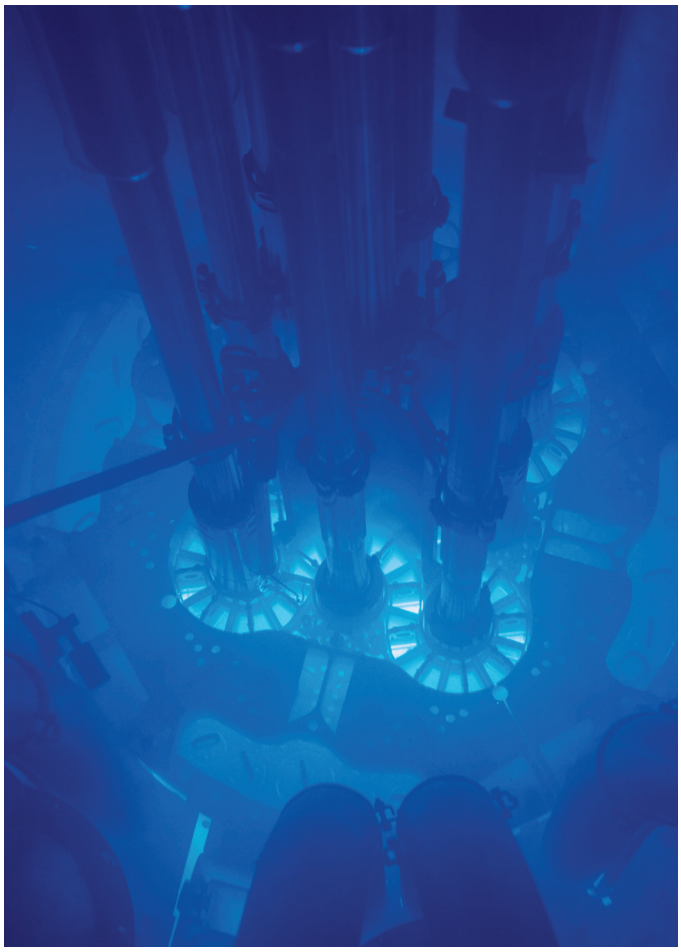


Рисунок 5. Излучение Вавилова-Черенкова, наблюдаемое в ядерных реакторах

Рисунок 6. Слева направо: *С. И. Вавилов, И. Е. Тамм, И. М. Франк, П. А. Черенков*

сти поверхностных волн. Этот эффект можно наблюдать и у себя дома, если достаточно быстро провести пальцем по воде. То же происходит, когда электрон движется в среде быстрее, чем свет: за ним образуются световые волны, которые формируют конус.

Излучение Вавилова-Черенкова нашло разнообразные применения в экспериментальной ядерной физике и физике элементарных частиц. Несмотря на чрезвычайную слабость свечения, приёмники света достаточно чувствительны, чтобы зарегистрировать излучение, порождённое единственной заряженной частицей. Созданы приборы, которые позволяют по излучению Вавилова-Черенкова определять заряд, скорость и направление движения частицы, её энергию. Практически важно применение излучения Вавилова-Черенкова для контроля работы ядерных реакторов.

Рисунок 7. Плоский конус волн под носом корабля

Международная
светотехническая
корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

На португальском побережье снова лето
От «БЛ ГРУПП» сияют волны света!

ПОРТУГАЛИЯ

www.bl-g.ru

ПОРТУГАЛИЯ

ООО «МСК БЛ ГРУПП»
129626, г. Москва, ул. Проспект Мира, 106

+7 (495) 785-20-95

ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ НА СОЛНЦЕ

Ты когда-нибудь задумывался, откуда берётся энергия на Земле? Ответ на этот вопрос всегда рядом (во всяком случае, так нам кажется!). Главный источник энергии на Земле – Солнце. В этой статье ты соприкоснёшься с наукой, близкой к светотехнике, – астрономией. А гидом в этом путешествии будет аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Денис Савельев.

Если ты изучаешь физику в школе, то тебе известен закон сохранения энергии (ЗСЭ). Его основная суть заключается в том, что энергия не берётся из ниоткуда и не исчезает бесследно. Всегда есть источник энергии. Для нашей современной жизни – это электростанции. Но у них есть свой источник, заставляющий крутиться генераторы, – это ресурсы планеты и полезные ископаемые, энергия воды и ветра.

Говоря о Солнце, мы, как правило, сразу вспоминаем этот яркий шар в небе, на который невозможно смотреть без тёмных солнцезащитных очков. Мы хорошо себе представляем такие явления, как рассвет (рисунок 1), закат. Мы с детства умеем рисовать Солнышко в углу листочка с длинными лучиками. При этом мы редко можем сказать что-то большее, чем то, что Солнце является звездой. Однако современная наука уделяет особое внимание главной звезде Солнечной системы, регулярно наблюдает за изменениями структуры Солнца. Почему? Давай обо всём по порядку.

Рисунок 1. Рассвет

Что такое Солнце?

Солнце – одна из бесчисленного множества звёзд нашей галактики «Млечный путь». Она ближе всего к Земле, поэтому именно ее люди начали изучать первой. Это позволило учёным изучить, классифицировать и распределить по группам и более далёкие звёзды. Сейчас «Млечный путь» включает более 100 млрд. звёзд, а таких галактик около 300 млн. Пытаться сосчитать звёзды – это то же самое, что сосчитать все песчинки на Земле.

Солнце – центральное тело Солнечной системы (рисунок 2), представляющее собой горючий газовый шар. Радиус солнца 700000 км, что в 109 раз превышает радиус Земли. Масса равна 2×1030 кг, что в 750 раз превосходит все остальные тела Солнечной системы вместе взятые. Именно поэтому все планеты этой системы можно приближённо считать вращающимися вокруг Солнца. Землю Солнце «перевешивает» в 330 000 раз. На солнечном диаметре можно было бы разместить цепочку из 109 таких планет, как наша.

Наблюдая за Солнцем, учёные установили, что оно тоже вращается вокруг своей оси, однако на экваторе период обращения – 25 суток, а около полюса – 30 суток! Разница объясняется тем, что Солнце не является твёрдым телом, а состоит из газовой смеси.

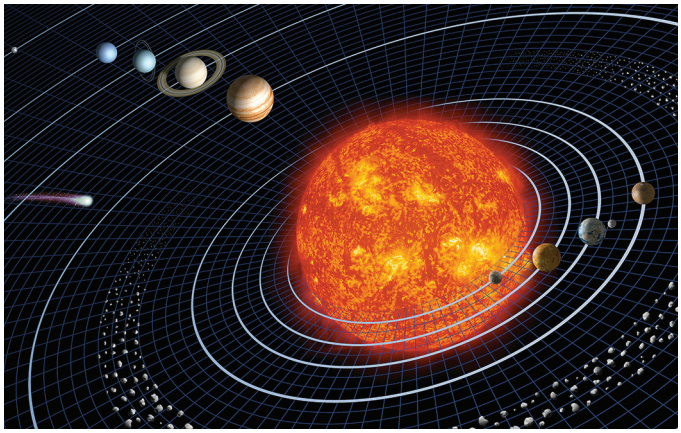


Рисунок 2. Солнечная система

Определить химический состав Солнца учёные смогли, анализируя спектр его излучения (тему спектрального состава излучения и способов его определения мы раскроем в одном из ближайших номеров).

Оказывается, оно на 71% состоит из водорода, 27% составляет гелий, а на остальные элементы

приходится всего 2% массы. Согласно классической теории, изначально Солнце состояло из водорода, ведь именно он в процессе термоядерных реакций превращается в гелий.

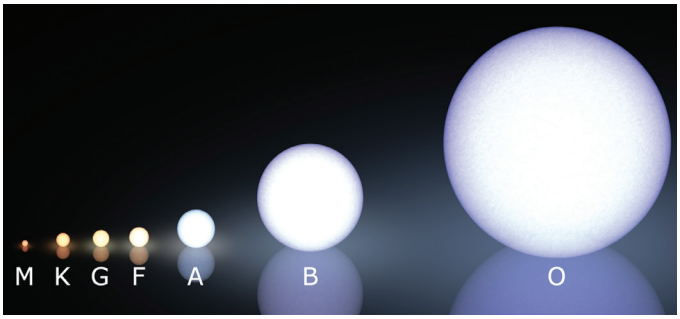


Рисунок 3. Разделение звёзд по спектральным классам: M – оранжевые и красные звёзды; K, G, F – жёлтые и оранжевые звёзды; A, B, O – белые и голубые звёзды гиганты и сверхгиганты

Современная классификация звёзд, разработанная в Гарвардской обсерватории в 1890–1924 годах, относит Солнце к категории жёлтых карликов (средняя по размеру звезда). Классификация учитывает не только размер звезды, но, прежде всего, спектральный состав её излучения. Нам сложно воспринимать главный источник тепла на планете в статусе карлика, однако существуют категории нормальных звёзд, звёзд гигантов и сверхгигантов, превышающих Солнце по размерам в десятки раз (рисунок 3).

Излучение Солнца и его характеристики

Судя по останкам древнейших организмов, светимость Солнца (характеристика мощности его излучения) за последние 3 млрд. лет существенно не изменилась. А ведь есть основания предполагать, что оно светило ещё задолго до этого. Измерения освещённости (количества света, упавшего на единицу площади), которую создаёт Солнце на Земле, показали, что на поверхность размером 1 м^2 перпендикулярную Солнцу приходится 1370 Дж энергии. Это значение солнечной энергии получило название солнечной постоянной (E_o = 1,37 кВт/м^2).

Пользуясь этим параметром, можно рассчитать мощность энергии Солнца, излучаемой со всей поверхности за 1 секунду. Расчёты показывают, что полученное значение окажется в районе 4×10^{26} Вт, что практически в 1018 раз больше, чем энергия одной современной атомной станции. При этом на долю нашей планеты приходится лишь одна двухсотмиллиардная доля всей энергии Солнца, однако этого хватает для поддержания многообразия жизни на Земле.

Судить о температуре звёзд мы можем только по их излучению. Астрономы предполагают, что излучение Солнца похоже по своим свойствам на излучение тепловых источников света, например, лампы накаливания. Используя законы излучения таких источников, можно определить, что максимум излучения Солнца приходится на длину волны – $\lambda_{макс} = 4{,}8 \times 10^{-7}$ м^2, а цветовая температура его излучения равна 6000 К (температура по шкале Кельвин). Именно это значение принято за среднюю температуру излучения Солнца.

Удивительный факт! Цвет излучения лампы накаливания 2800 К, люминесцентной трубчатой лампы – 4000 К. Чем выше цветовая температура, тем более холодным мы воспринимаем источник света. Так почему же Солнце мы всегда рисуем жёлтым, на закате его видим красным, а не холодным белым? Попытайся найти ответ на этот вопрос самостоятельно и пришли его в нашу редакцию. За правильный ответ мы наградим тебя!

Строение Солнца

Излучение Солнца, воспринимаемое человеком, образуется в его самых верхних слоях – в атмосфере. Вообще строение этого небесного тела очень схоже со строением Земли.

Самый глубокий и плотный слой атмосферы – фотосфера. Она имеет толщину около 200 км, а плотность её существенно ниже плотности атмосферы Земли. Несмотря на это, она является непрозрачной для всех видов излучений, образующихся в глубинных слоях Солнца. Это делает невозможным наглядные наблюдения за подфотосферными слоями Солнца и затрудняет изучение процессов генерации его энергии. На рисунке 4 изображена структурная схема Солнца.

В фотосфере видна зернистая структура, получившая название грануляции. Гранулы по виду напоминают зёрна риса и имеют длину до нескольких тысяч километров. При этом гранулы постоянно движутся, они живут от 5 до 10 минут, а после смерти на их место приходят новые.

На ярком фоне фотосферы можно заметить тёмные пятна, используя специальные светофильтры. Размер пятен может достигать 10 000 км, а измере-

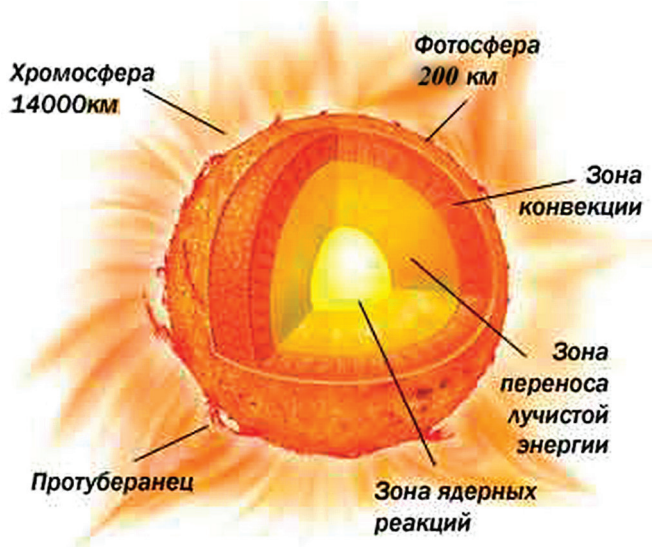


Рисунок 4. Строение Солнца

ния показали, что их яркость в 5–10 раз ниже яркости фотосферы. Пятна имеют цветовую температуру порядка 4000 К. Наблюдения также показали наличие сильного магнитного поля в пятнах, что и является причиной их низкой температуры. Связано это с тем, что фотосфера представляет собой плазму – вещество, состоящее из заряженных частиц, которые в результате перемещений и создают магнитные поля.

Если взглянуть на снимок Солнца, сделанный во время полного солнечного затмения, то можно наблюдать внешнюю часть солнечной атмосферы – корону, которая выглядит как лучистое жемчужное сияние. Она прослеживается на расстояния до 10 радиусов Солнца, имея яркость в миллионы раз меньше яркости фотосферы (рисунок 5).

Наблюдения показали, что излучение короны нагрето до температуры 2×10^6 К, при которой оно соответствует рентгеновскому диапазону длин волн. Действительно, это можно отчётливо наблюдать в рентгеновские телескопы, установленные на космических астрономических обсерваториях за пределами земной атмосферы.

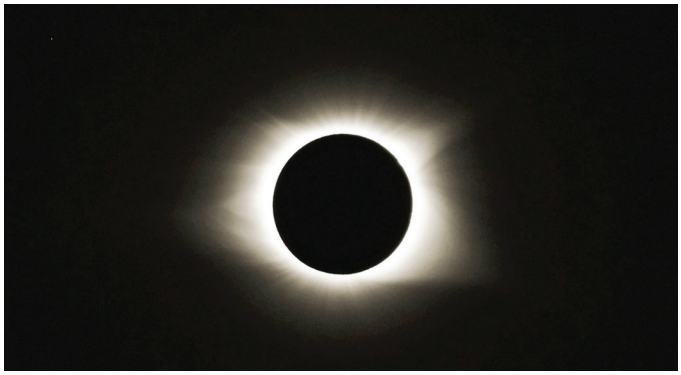


Рисунок 5. Корона, наблюдаемая во время солнечного затмения

Во время полных солнечных затмений на краю поверхности Солнца можно заметить струи горячего вещества, похожие на выступы или фонтаны. Их называют протуберанцы. Одни из них длительное время висят над поверхностью, другие внезапно быстро поднимаются на высоту в десятки или даже тысячи км и затем также стремительно падают вниз. Из короны в межпланетное пространство истекает непрерывный поток частиц (протонов, ядер гелия, ионов, электронов), называемый солнечным ветром. Они вылетают с такой огромной скоростью, что даже притяжение Солнца не может удержать их (рисунок 6).

В зависимости от количества пятен на Солнце, говорят об изменяющейся солнечной активности. Период таких изменений составляет примерно 11 лет. В результате резкого увеличения солнечной активности могут возникать длительные вспышки, во время которых выделяется колоссальное количество энергии, а учёные наблюдают увеличение ультрафиолетового излучения, появление мощного рентгеновского и гамма-излучения.

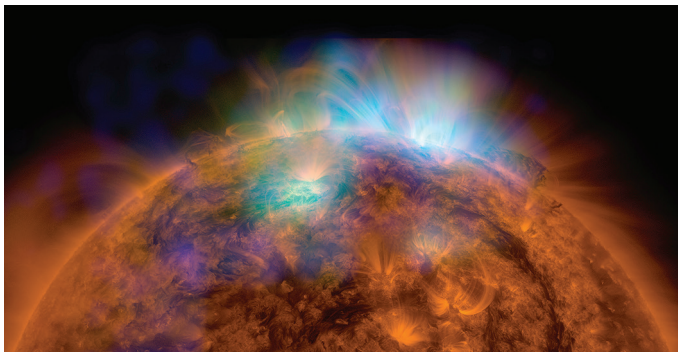


Рисунок 6. Процессы, протекающие в солнечной атмосфере, снятые со спутника

Внутренне строение и источник энергии Солнца

Отсутствие способов заглянуть внутрь Солнца оставляет учёным лишь теоретическую возможность судить о его строении на основании физических свойств и характеристик.

Солнце не расширяется и не сжимается, оно находится в гидростатическом равновесии, т. к. силе гравитации, стремящейся сжать Солнце, препятствуют силы газового давления изнутри.

Температура Солнца меняется с глубиной, причём цветовая температура в центре может превышать температуру на поверхности в 3–3,5 раза и достигает значения 14 млн К. Это свидетельствует тому, что плотность вещества в центре Солнца более чем в 100 раз превышает его среднюю плотность.

Американский астрофизик Ханс Бете ещё в 1939 году предложил, что главным источником энергии Солнца являются термоядерные реакции, протекающие в области, которая получила название ядро. Вне ядра температура недостаточна для протекания термоядерных реакций. Однако вся эта теория строится на предположении о выполнении закона сохранения энергии на Солнце, что в современной науке некоторые считают предрассудком. Связано это, прежде всего с идеей о том, что привычные нам законы физики могут иначе работать в мире огромных по размеру тел.

В том, что реакции синтеза (объединение атомов водорода с выделением энергии) происходят на Солнце, нет сомнений. Однако неясно являются ли они источником колоссальной энергии? Виной тому отсутствие прямых доказательств физики процессов возникновения солнечной энергии. Открытия В. Л. Гинзбурга (1998–2002 гг.), наблюдавшего за потоком частиц от Солнца, и, как казалось, доказавшего природу появления такой колоссальной энергии Солнца, получают всё больше опровержений с развитием науки и техники. И всё больше укрепляется идея о наличии других источников энергии на Солнце. Более того, современные исследования поверхностных потоков солнечных масс, проводимые в Обсерваториях Солнечной Динамики NASA, США, ставят под сомнения классические представления о строении Солнца.

Дальнейшие рассуждения о процессах излучения не только Солнца, но и других звёзд во вселенной, приведут нас к очень сложным понятиям и заставят обратить внимание на труды таких учёных, как Стивен Хоукинг, Э. Б. Глинер и Н. И. Козырев. Однако спор учёных остаётся открытым.

Влияние Солнца на нашу планету

В этом вопросе хочется пойти от большого к меньшему. Связь изменения солнечной активности и климата на Земле начали изучать ещё в 1900-м году. Ч. Г. Аббот из Смитсоновской астрофизической обсерватории занимался исследованием активности Солнца, позже он учредил солнечную обсерваторию в городе Калама (Чили), по результатам исследований в которой была установлена связь солнечных циклов и погоды. Спустя более 100 лет появилась возможность регулярного мониторинга солнечной активности с привлечением спутников. В 2003 году установлено, что в течение последних 11-летних циклов число пятен на Солнце должно быть максимальным за последние 1150 лет, а уровень солнечной активности в течение последних 70 лет является исключительным.

В повседневной жизни мы не замечаем этих эффектов, ведь увеличение или снижение солнечной активности не влечёт мгновенные изменения, а влияет на глобальные вещи, такие как климат и средняя температура на Земле. Хотя учёные регулярно наблюдают замирание радиоволн, магнитные бури, полярные сияния и тому подобные явления. Регулярно Солнце оказывает и локальное воздействие на каждый живой организм. В процессе эволюции каждый обитающий на поверхности Земли вид приспособился к солнечному излучению.

Так, например, максимальная чувствительность органа зрения человека приближена к области максимальной активности естественного света. Растения также восприимчивы к тем диапазонам излучения Солнца, которые достигают поверхности нашей планеты через плотные слои её атмосферы.

У каждого живого организма существуют циркадные ритмы – внутренние биологические часы, контролирующие гормоны и позволяющие нам отдыхать и бодрствовать, т. е. жить согласно привычным дневным ритмам. В 2017 году лауреатами Нобелевской премии по медицине стали Джеффри Холл, Майкл Росбаш, Майкл Янг за открытие молекулярных механизмов, лежащих в основе этих циркадных ритмов. И дневной свет играет весомую роль в их регуляции.

Так в организме человека в течение дня вырабатываются два гормона – мелатонин (гормон сна) и кортизол (гормон бодрствования). Концентрация этих гормонов напрямую зависит от цветности излучения, при котором находится человек. В утром и вечером в дневном свете преобладает больше излучения красной и дальней красной областей спектра. При этом у нас больше вырабатывается гормона сна – мелатонина. Днем цветовая температура естественного света составляет порядка 6000 K, что позволяет вырабатываться кортизолу и мы активно проводим это время на работе.

Растения также приспособились к суточным ритмам естественного света. Излучение в дальней красной области спектра выполняет регуляторную функцию, тем самым растения «чувствуют» смену дня и ночи. Излучения красного и синего диапазонов спектра влияют на рост ботвы и плодов растений.

Помимо видимого диапазона излучения Солнца, на живые организмы воздействуют и другие. Например, если влияние длинноволнового инфракрасно-

го излучения ограничивается греющим действием, то УФ-излучение может оказывать как полезное, так и негативное влияние на живые организмы.

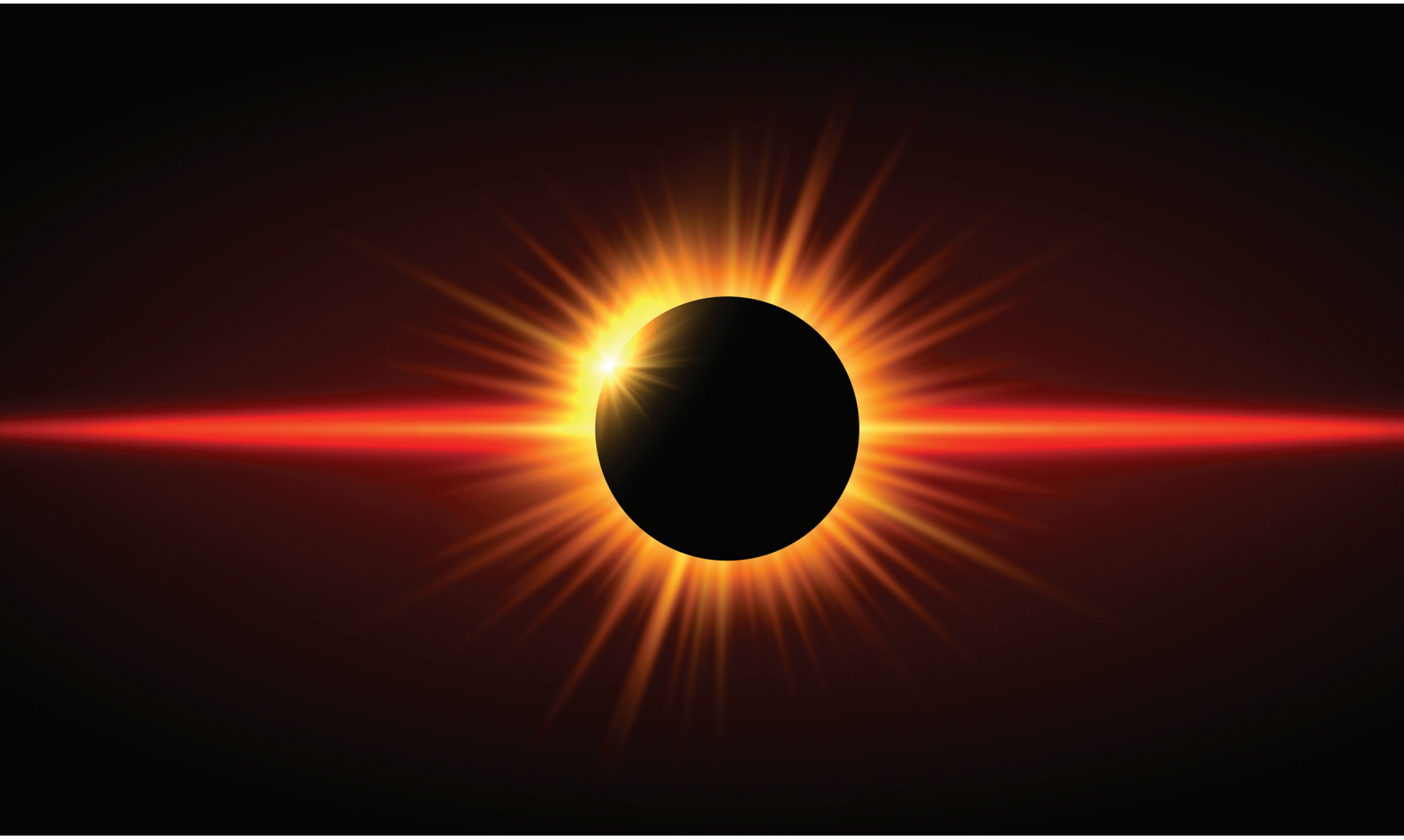
Самый простой пример положительного влияния ультрафиолетового излучения на организм человека – загар. Солнечные лучи способствуют выработке витамина D. Это повышает иммунитет и влияет на кожу, делая ее смуглой. Именно поэтому солнечные ванны так полезны, особенно детям. Однако слишком долгое нахождение на открытом Солнце в часы его максимальной активности может вызвать серьёзный ожог. Смотреть на Солнце без защитных очков строго запрещено, ведь то же самое ультрафиолетовое излучение вызывает повреждение сетчатой оболочки глаз, а высокая яркость Солнца вызовет зрительный дискомфорт и ослепление.

Заключение

Неистощимость Солнца всегда поражала человеческое воображение, ведь оно светит на протяжении миллиарда лет, и есть все предпосылки считать, что ещё столько же лет звезда будет жить. Хотя исследования других звёзд дают возможность предположить, что, когда водород в центре Солнца будет на исходе, оно увеличится в размерах и станет красным гигантом, что негативным образом скажется на нашей планете. И хотя до этого события ещё очень много лет, уже сейчас мы всё чаще говорим о негативных эффектах, связанных прежде всего с озоновым слоем Земли и увеличением солнечной активности.

Из-за развития производств и роста населения человечество всё больше загрязняет атмосферу Земли, что влияет на состояние озонового слоя, сдерживающего излишнее излучение Солнца. Снижение концентрации этого слоя и возникновение «озоновых дыр» приводит к парниковому эффекту и увеличению средней температуры воздуха на планете. Как следствие, таят ледники, снижается объём мирового океана, исчезают некоторые виды флоры и фауны.

Многие процессы на планете сложны для изучения, а некоторые данные и факты, собираемые сейчас, найдут практическое применение лишь в будущем. Человек, при всём своём могуществе, не является главной движущей силой в Мире. Мы обязаны наблюдать за окружающими нас явлениями, стараться объяснить их и понимать, как мы можем влиять на них. От этого будет зависеть состояние и стабильность экосистемы, частью которой являемся мы с вами.



Международная
светотехническая
корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

www.bl-g.ru

Объята нежным светом вся аллея
Пусть память о героях просветлеет!

ООО "СВЕТОСЕРВИС-ПОДМОСКОВЬЕ"
143441, Московская область,
Красногорский район, п/о Путилково,
69 км МКАД, строение 1

+7 (495) 786-85-82

ВИЖУ ТЕБЯ НАСКВОЗЬ. КАК РАБОТАЕТ МРТ?

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) является на сегодняшний день одним из наиболее эффективных методов диагностики различных заболеваний. Наряду с другими методами медицинской визуализации УЗИ, компьютерной томографией (КТ), рентгеном он призван заглянуть внутрь организма человека, не повреждая его. О принципах работы МРТ и его тесной связи со светотехникой рассказывает кандидат технических наук Олег Владимирович Шагалов

Получение изображений внутреннего строения человеческого организма с помощью явления магнитного резонанса (МР) находится на стыке физики и медицины, а также неразрывно связано со сложной математической обработкой на компьютере. Хотя сама идея относительно проста, она не перестаёт быть удивительной.

Метод магнитно-резонансной томографии обладает двумя важными преимущества перед другими сходными методами:

- В МРТ пациент не подвергается воздействию ионизирующего (вредного) излучения;
- Изображения, полученные с помощью МРТ, дают очень хороший контраст между различными тканями. Например, рентген отлично показывает преимущественно кости, а на снимках МРТ также различимы мышцы, жир, связки и другие, более мелкие внутренние структуры организма.

Явление магнитного резонанса – это возможность ядер некоторых химических элементов при определённых условиях создавать электрический ток в находящихся рядом проводниках (приёмных катушках). Давайте выясним, ядра каких элементов в организме человека являются источником МР сигнала. Также установим, какие условия необходимы, чтобы измерить в катушке ток, создаваемый этими ядрами, и использовать его для получения медицинских изображений.

Водород – всему голова

Как известно, человеческий организм больше чем наполовину состоит из воды. Оказывается, водород, входящий в состав молекулы воды, не только обладает нужными свойствами для создания магнитного резонанса, но и даёт самый большой сигнал по сравнению с другими химическими элементами. Поэтому для получения медицинских изображений с помощью МРТ условия резонанса создаются именно для ядер водорода. Поскольку ядро водорода состоит только из одного протона, далее термины «ядро» и «протон» будем считать синонимами.

Важнейшим свойством протона для использования его в качестве источника МР-сигнала является то, что он обладает зарядом и движется, то есть обладает магнитными свойствами, а значит, на его движение в пространстве можно влиять с помощью магнитного поля. Для чего влиять на движение протонов? Почему бы просто не поднести приёмную катушку поближе к телу и померить в ней ток? Дело в том, что протоны находятся в постоянном тепловом движении и в каждый момент времени ориентированы хаотично. То есть на каждый протон, создающий микроскопический ток в одном направлении, найдётся протон, создающий точно такой же ток в противоположном, и их сумма будет равна нулю. Поэтому необходимо воздействовать на протоны, чтобы временно сориентировать их в пространстве таким образом, чтобы их сигналы складывались.

Протон можно сравнить с обычным постоянным магнитом. Во-первых, он имеет полярность, во-вторых, попав в постоянное внешнее магнитное поле, пытается сориентироваться вдоль его силовых линий (например, как стрелка компаса в магнитном поле земли). Почему «пытается», а не «ориентируется»? При комнатной температуре тепловое взаимодействие молекул в организме сильнее магнитного, поэтому для достижения нужного результата необходимо помещать пациента в очень сильное внешнее поле. Большинство современных томографов имеют магнитную индукцию в 1,5 Тесла. Много ли это? Примерно в 1,5 раза сильнее, чем поле электромагнитного крана для подъёма металлолома! И даже при такой величине поля в каждый момент времени протоны создают суммарную намагниченность, равную шести протонам с каждого миллиона.

Представьте выключенную стиральную машину, в которой лежит много компасов. Все они

указывают на север, то есть создают суммарную намагниченность в направлении силовых линий магнитного поля земли. Если мы включим машину, то компасы начнут двигаться хаотично. Поскольку магнитное поле земли никуда не делось, в каждый момент времени в направлении его силовых линий всё же будет наблюдаться небольшая суммарная намагниченность от пытающихся выстроиться вдоль поля стрелок. В данном примере включенная стиральная машина аналог теплового движения протонов в теле человека. К счастью, такого мизерного количества ориентированных в каждый момент времени в одном направлении протонов достаточно для создания измеряемого сигнала, который позволяет получить изображение высочайшего качества.

Карусель из протонов

Итак, помещение исследуемого образца (пациента) в сильное однородное магнитное поле – первое условие для наблюдения явления магнитного резонанса. Зачем же нужны какие-то ещё условия? Суммарная намагниченность протонов просто незаметна на фоне огромного внешнего поля, потому что они ориентированы в одном направлении. Чтобы измерить сигнал только суммарной намагниченности протонов, необходимо её «отвернуть» от внешнего поля. Сильное внешнее поле принуждает протоны выстраиваться вдоль его направления, поэтому протонам необходимо передать дополнительную энергию, чтобы они могли повернуться перпендикулярно к нему. Тогда приёмную катушку можно будет сориентировать так, чтобы ток в ней создавали только протоны, а внешнее поле никак не влияло.

Что же это за энергия, и как её передать протонам? Оказывается, протоны всё время вращаются вокруг своей «оси», а попав во внешнее поле, начинают также вращаться вокруг его силовых линий (как волчок в гравитационном поле земли) (рисунок 1). При этом частота вращения протонов вокруг силовых линий напрямую зависит от величины внешнего поля. Для 1,5 Тесла значение этой частоты составляет примерно 64 МГц, то есть лежит в радиодиапазоне. Поэтому энергию, которая передаётся протонам, чтобы повернуть их суммарную намагниченность, обычно называют радиочастотным (РЧ) импульсом. Что представляет собой этот импульс? На самом деле, это просто ещё один источник магнитного поля, только гораздо более слабого и переменного во времени (вращающегося). Зачем переменное? Если мы посмотрим на протоны с вершины вектора суммарной намагниченности, то увидим, что протоны хоть и вращаются с одинаковой частотой, их фаза ориентирована хаотично, то есть суммарный сигнал в перпендикулярном направлении всё равно будет нулевым.

Давайте посмотрим, что будет, если в направлении, перпендикулярном направлению внешнего поля, мы добавим дополнительное поле, которое

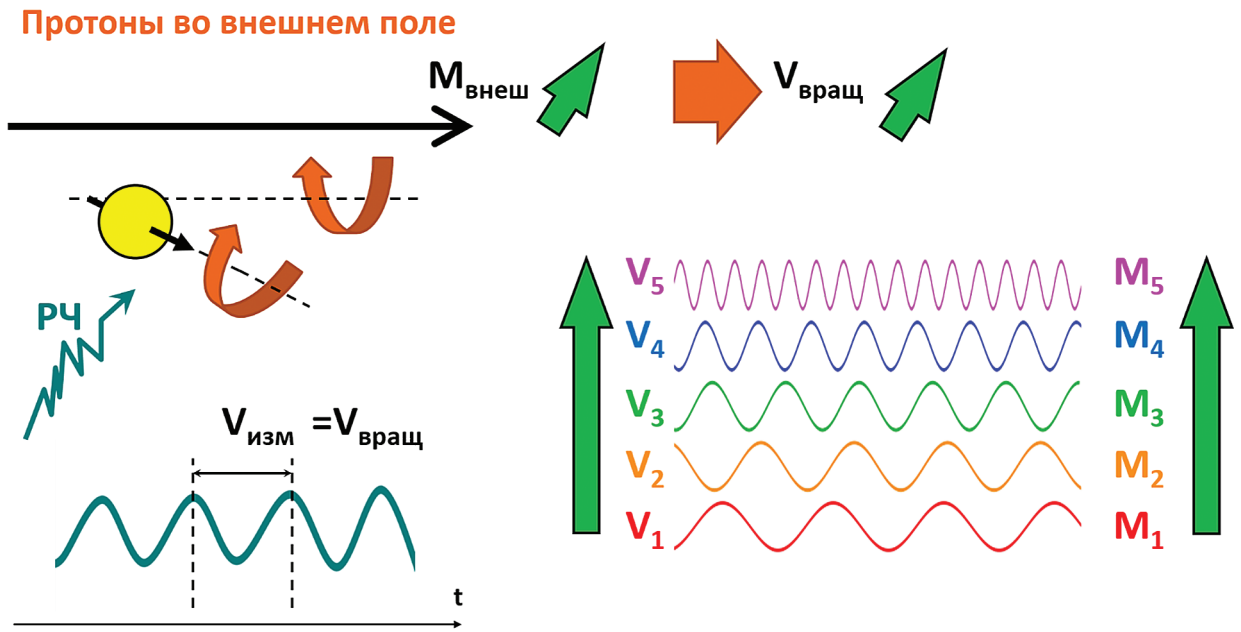


Рисунок 1. Протоны вращаются вокруг своей оси, а также, при попадании во внешнее магнитное поле, вокруг его силовых линий. При этом частота вращения протонов во внешнем поле линейно связана с его напряжённостью – чем больше поле, тем больше частота вращения

будет вращаться с такой же частотой, с какой вращаются протоны вокруг внешнего поля. Для этого будет удобно перейти в систему отсчёта, которая вращается вместе с протонами и дополнительным полем. Поскольку все трое – протоны, дополнительное поле и мы – в новой системе координат вращаются с одинаковой скоростью, вращение можно не учитывать и рассмотреть статическую картинку. В данной системе отсчёта дополнительное поле также является для протонов неподвижным, поскольку вращается с такой же скоростью. Протоны попытаются выстроиться вдоль силовых линий дополнительного поля, которое перпендикулярно стационарному. Таким образом, через некоторое время протоны (а значит, и их суммарная намагниченность) под воздействием дополнительного переменного поля тоже сориентируются перпендикулярно к стационарному. После отключения дополнительного поля, пока протоны будут переориентироваться вновь вдоль стационарного поля, у нас есть время измерить ток, который они создадут в приёмной катушке.

Почему так важно, чтобы поле было переменным, причём частота его изменения совпадала с частотой вращения протонов? Представьте, что кто-то катается на детской карусели, а вы пытаетесь его разогнать сильнее, подталкивая. Очевидно, если вы будете толкать в случайные моменты времени (когда мимо вас не проносятся перила или когда перила бьют вас по руке), вы либо не добьётесь никакого результата, либо добьётесь противоположного желаемому. Соответственно, чтобы сообщить карусели дополнительную энергию, вам необходимо делать это в определённые моменты времени, то есть подавать импульсы с определённой частотой – частотой вращения карусели. Поэтому и дополнительное магнитное поле должно изменяться с частотой вращения протонов. Это и есть второе условие магнитного резонанса и, собственно, само явление резонанса.

Разложить человека по полочкам

Итак, для получения сигнала от протонов водорода в организме человека необходимо: вынудить достаточное их количество выстроиться вдоль одного направления – «причесать» протоны с помощью сильного внешнего магнитного поля; повернуть протоны перпендикулярно внешнему полю с помощью РЧ-импульса, чтобы можно было измерить ток в приёмной катушке. Мы выяснили, как измерить суммарный сигнал от протонов водорода в теле пациента. Однако для диагностики нужно знать, из какого конкретно участка тела пациента исходит сигнал, и чем меньше эти участки, тем точнее мы видим внутреннюю структуру. Это значит, что необходимо разделить сигнал от всех протонов на сигналы отдельных срезов (двумерных изображений), а в каждом срезе – на сигналы от максимально малых участков тела пациента (вокселей – элементов объёма), и поставить им в соответствие значения яркости элементов изображения (пикселей) (рисунок 2).

Сначала разберёмся, как получить сигнал только от одного среза. Для этого вспомним, что, попав

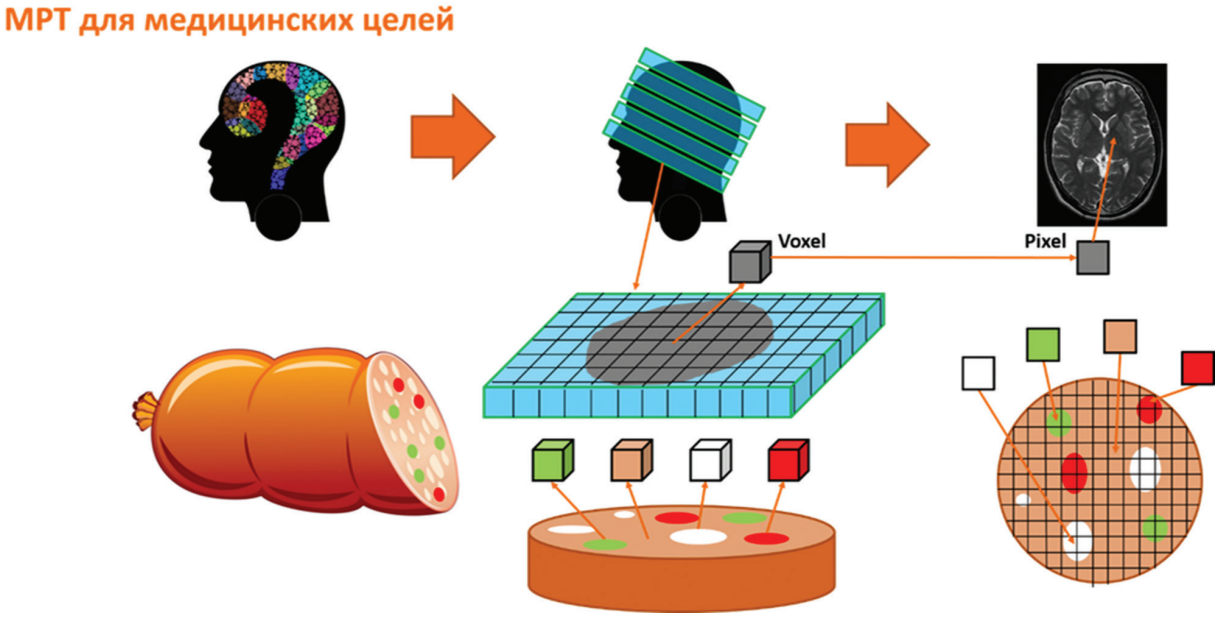


Рисунок 2. В современных системах толщина среза – «глубина» вокселя – обычно лежит в пределах от 1 до 5 мм (хотя бывают исключения в обе стороны). Размеры вокселя в плоскости (то есть, размер пикселя) обычно не превышают 1 мм²

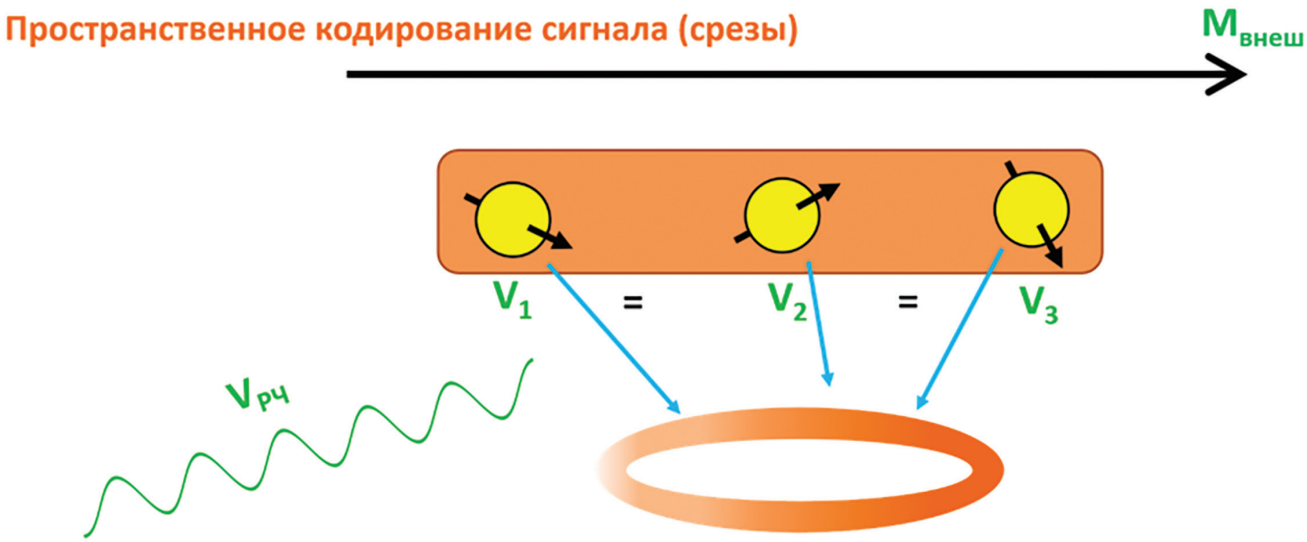


Рисунок 3. При подаче РЧ-импульса на частоте, с которой протоны вращаются во внешнем поле, мы получим сигнал от всех протонов образца (пациента) одновременно

во внешнее поле, протоны начинают вращаться вокруг его силовых линий, причём частота вращения линейно связана со значением его напряжённости (чем больше поле, тем быстрее вращаются протоны и наоборот). Если подать РЧ-импульс на данной частоте, то в резонанс войдут все протоны, и мы получим сигнал от всего тела сразу (рисунок 3).

Чтобы получить сигнал от одного среза, необходимо вдоль одного направления немного изменить значение внешнего поля (для этого используются дополнительные источники магнитного поля – катушки индуктивности, называемые градиентными). При этом вдоль выбранного направления частота вращения протонов изменится везде, кроме центра магнита, где вклад градиента равен нулю. Если подать такой же РЧ-импульс, в резонанс войдут только протоны из центрального среза, у которых частота вращения осталась неизменной. Соответственно, чем правее от центра магнита находится интересующий нас срез, тем больше должна быть частота РЧ-импульса и наоборот (рисунок 4).

Сыграем в морской бой?

Теперь необходимо отделить друг от друга сигналы элементов объёма (вокселей) внутри выбранного среза. Для каждого нужно определить двумерные координаты – как буквы и цифры в игре «Морской

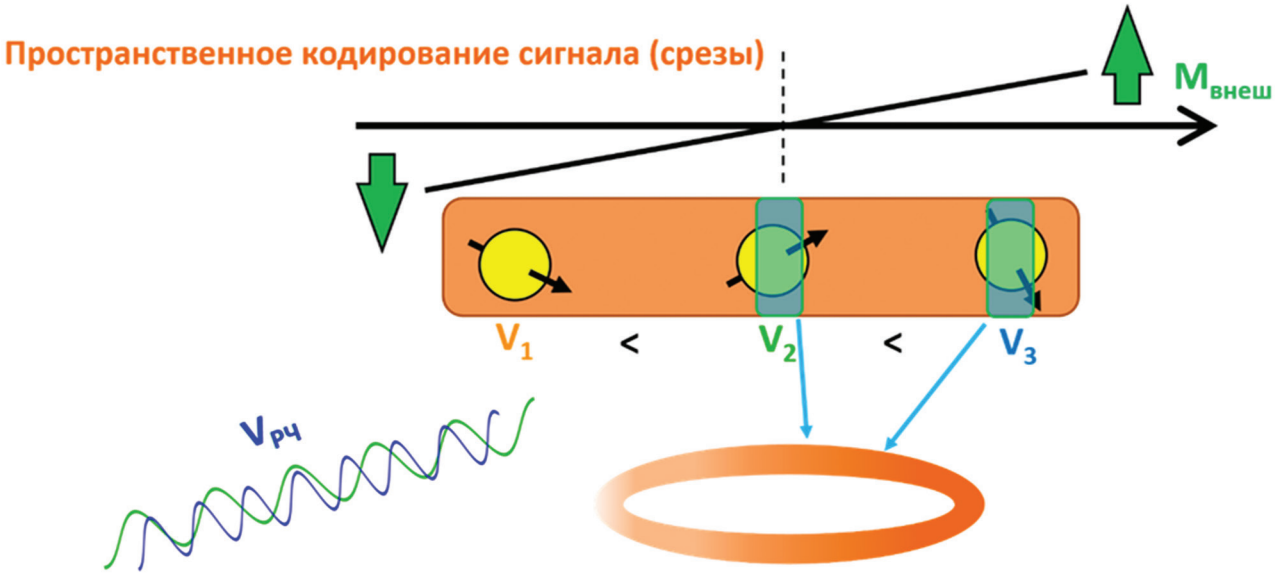


Рисунок 4. Если немного изменить величину поля вдоль одного направления (включить дополнительные источники магнитного поля – градиентные катушки), то частоты вращения протонов изменятся. Меняя частоту РЧ-импульса, можно заставить резонировать протоны только в области интереса (конкретного среза)

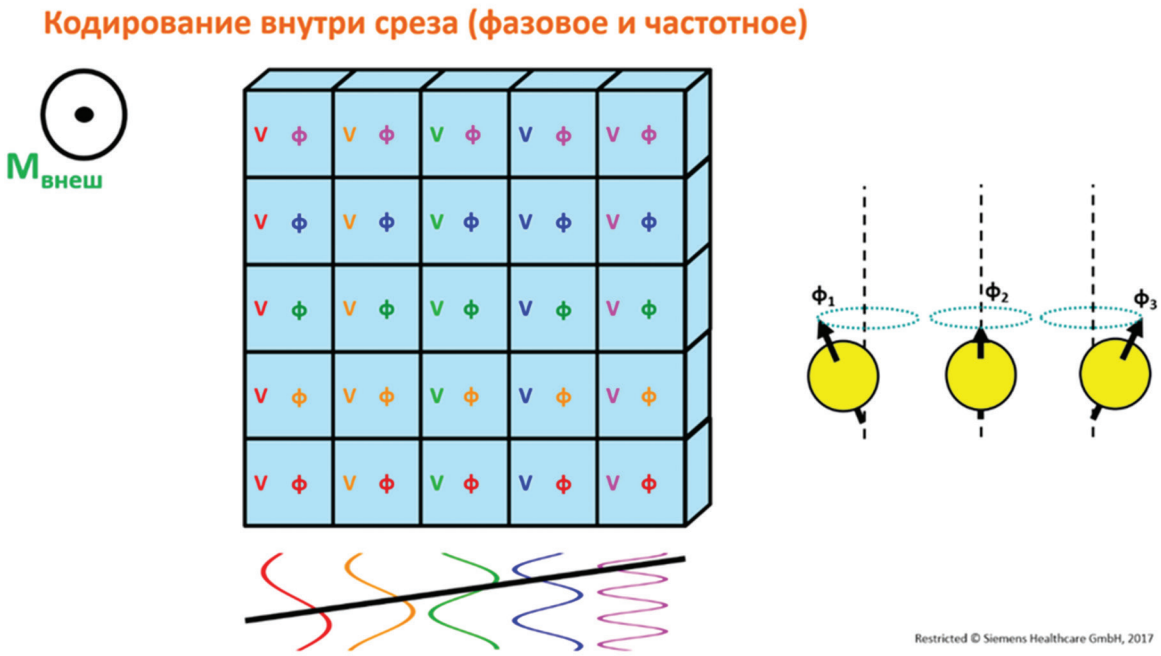


Рисунок 5. Упрощённый пример 5x5 (обычно количество вокселей в каждом направлении – от 256 до 512, в зависимости от анатомической области и задачи исследования). Зелёным цветом показаны частота и фаза вращения протонов в отсутствие дополнительных градиентов. Изменив значение магнитного поля вдоль горизонтального направления (включив градиентную катушку), мы получаем различные значения частоты вращения протонов в столбцах. Включив градиентную катушку вдоль вертикального направления на короткое время, мы вынуждаем протоны в разных строках вращаться с разными частотами, что после выключения данного градиента приводит к набегу и отставанию по фазе в различных строках. Таким образом, в каждом вокселе образуется своё уникальное сочетание «частота-фаза»

бой». Поскольку мы имеем дело с вращательным движением, координатами станут частота и фаза вращения протонов в каждом вокселе. Однако после подачи РЧ-импульса для выделения сигнала одного среза все резонирующие протоны в нём вращаются с одинаковыми частотами и фазами. То есть пространственное кодирование отсутствует, и их сигналы неотличимы друг от друга.

В одном направлении (которое соответствует, например, цифрам в «Морском бое») применяется такой же приём, как при выделении среза, – с помощью градиентов немного изменяют значение поля и получается, что в этом направлении в каждом столбце протоны уже вращаются с разными частотами (рисунок 5). Почему нельзя в другом направлении использовать тот же приём? Если также включить градиент, то частота вращения протонов в каждом вокселе будет определяться суммой изменений, которые вносят градиенты. И для каждого вокселя относительно главной диагонали будет симметричный воксель с точно такой же частотой. Соответственно, сигнал от каждой пары система будет определять как сигнал от одного вокселя и построить изображение не сможет.

Для пространственного кодирования во втором направлении используется другой способ. До сих пор в стороне оставался второй параметр вращательного движения – фаза, на которую также можно влиять с помощью градиентов. Во втором направлении включают аналогичный первому градиент, но на короткое время. На протяжении этого времени одни протоны вращаются с большей частотой, другие – с меньшей. Через определённое время градиент выключают, и протоны продолжают вращаться с прежними частотами, которые задал градиент в первом направлении. Однако за время включения второго градиента из-за разницы в частотах вращения вдоль второго направления одни протоны вращались быстрее, другие – медленнее, и в результате образовалась разность фаз, и теперь вдоль направления «букв» в «Морском бое»» у каждой строки вокселей появилось своё уникальное значение фазы. Таким образом, от каждого вокселя система зарегистрирует сигнал с определёнными значениями частоты и фазы.

Однако сигналы от всех вокселей принимаются катушкой одновременно, то есть на выходе система имеет сложный электрический сигнал, состоящий из огромного набора составляющих с различными частотами и фазами. Чтобы определить уровень сигнала от каждого вокселя, системе необходимо отделить сигналы с разными частотами и фазами

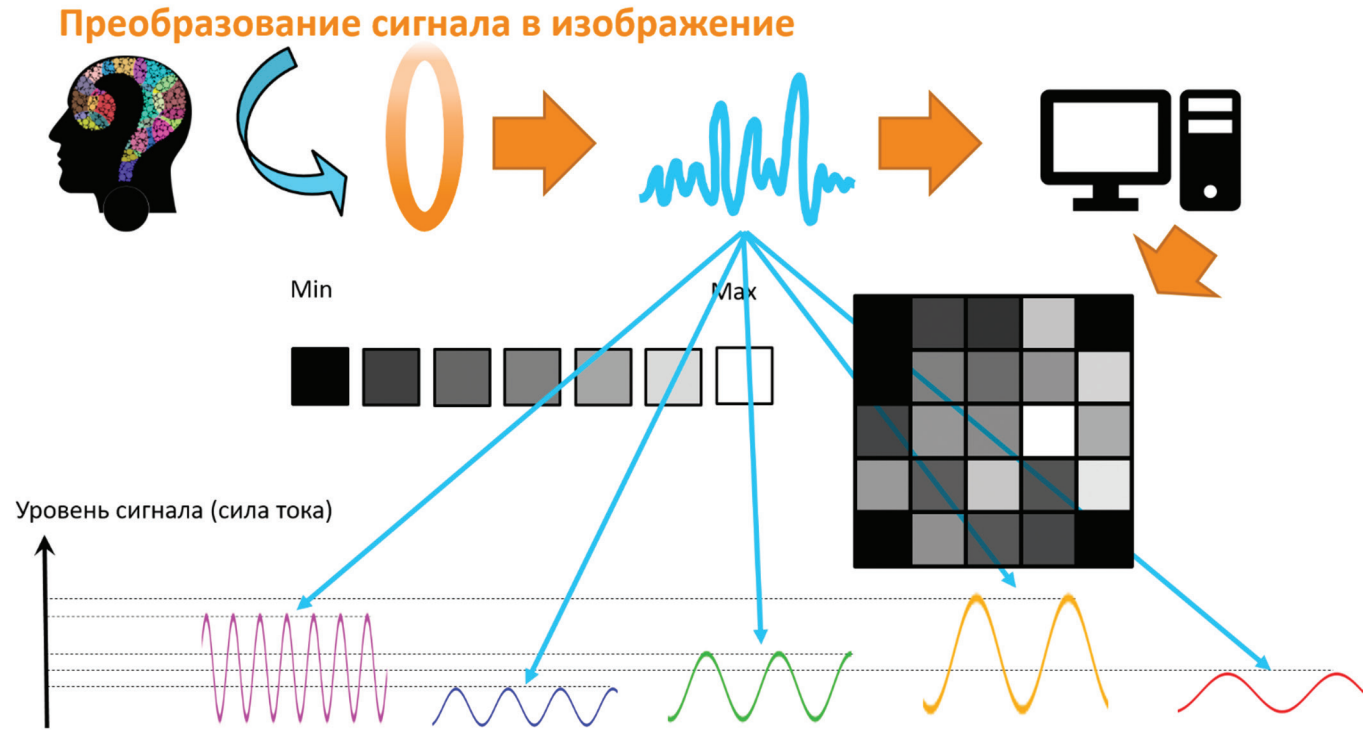
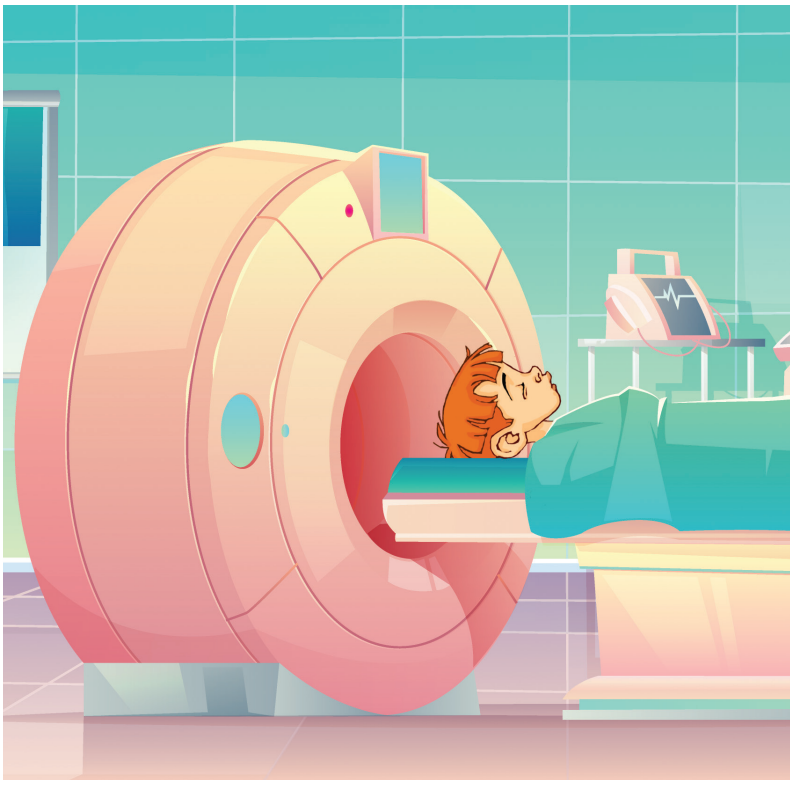
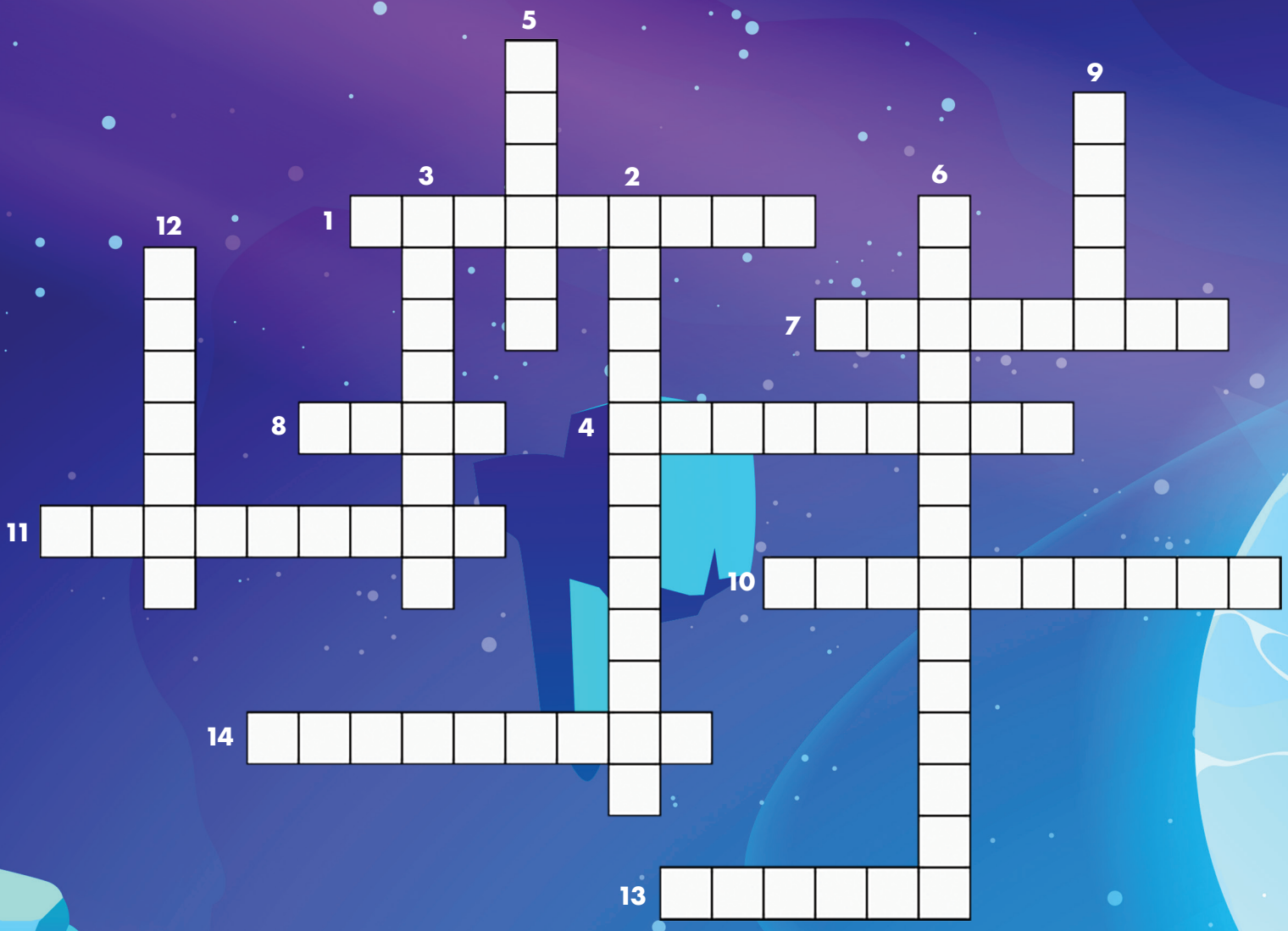


Рисунок 6. После измерения система получает огромный набор сложных сигналов, в каждом из которых содержится информация о каждом вокселе. Измерения проводятся многократно при различных значениях градиентов в направлении фазового кодирования (эти данные необходимы системе для распознавания сигналов с различными фазами). В результате сложной математической обработки получается цифровое изображение нужного среза в оттенках серого цвета

друг от друга. Такую процедуру позволяет сделать компьютерный алгоритм на основе математического аппарата под названием «преобразование Фурье». После того, как система определит силу тока от протонов в каждом вокселе, наименьшему значению она присваивает чёрный цвет, наибольшему – белый, а промежуточные значения распределяет между ними, формируя двумерное изображение выбранного среза (рисунок 6).

Мы рассмотрели базовые принципы формирования изображения с помощью магнитно-резонансного томографа. Конечно же, в реальности всё гораздо сложнее. За пределами этой статьи остались такие вопросы, как механизмы отдачи протонами полученной РЧ энергии (релаксация), которые используются для получения различных контрастов между мягкими тканями организма и патологиями; артефакты (искажения) изображения и способы борьбы с ними, связанные с нелинейными эффектами, физиологическим движением, и прочие, которые могут быть интерпретированы как патология или, наоборот, замаскировать её; методы ускорения исследований, так как сигнал от протонов очень мал, и для сбора достаточного его количества на фоне электронных шумов требуется довольно продолжительное время, и ещё многие-многие другие. Для желающих углубиться в данную тему искренне рекомендую сайт mriquestions.com – на мой взгляд, наилучший проводник в удивительный мир МРТ как с точки зрения физики и математики, так и клинических вопросов.





По горизонтали:

1. Направление фотоискусства, подразумевающее съемку перемещаемых источников света на длительных выдержках.

4. Первое в Европе здание, специально построенное для астрономических наблюдений.

7. Астрономическое явление, когда одно небесное тело заслоняет свет от другого.

8. Вероятный источник энергии Солнца, где происходят термоядерные реакции.

10. Структура фотосферы Солнца, которая напоминает зерно риса и имеет в длину до нескольких тысяч километров.

11. Система из звёзд и звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли, и тёмной материи.

13. Знаменитый европейский учёный, сформулировавший закон рефракции, а также исследовавший физиологию глаза. Ученик Тихо Браге.

14. Преломление световых лучей в атмосфере. Проявляется в кажущемся смещении удалённых объектов или изменении их формы.

По вертикали:

2. Огромные облака газа или плазмы, вырывающиеся из хромосферы и образующие корону Солнца.

3. Термин в фотографии, обозначающий интервал времени, когда свет воздействует на светочувствительный материал или матрицу.

5. Крупнейшая планета солнечной системы.

6. Устройство для преобразования кинетической энергии ветра в электричество.

9. Элементарная частица, квант электромагнитного излучения (в узком смысле — света).

12. Аналог двумерных пикселей для трёхмерного пространства. Часто используется для визуализации и анализа медицинской и научной информации.

СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ВИКТОРИНА

Самые сложные и познавательные материалы четвёртого номера нашего журнала позади. Настало время проверить полученные знания. Мы предлагаем вам решить небольшой тест, состоящий всего из одиннадцати вопросов. Вам необходимо внимательно прочитать вопрос и выбрать один из трёх вариантов ответа. Небольшая подсказка – все ответы можно найти на страницах нашего журнала!

ЭТО ЛЕГКО!

Вопрос №1

Для каких целей чаще всего применяются одножильные световоды?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Для освещения парков;
Б. При создании декоративного освещения;
В. В медицинском оборудовании.

Вопрос №2

Для чего при создании звёзд Московского кремля использовали кроме красного стекла ещё и слой молочного стекла?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Для повышения прочности конструкции;
Б. Для рассеяния света;
В. Для снижения яркости.

СКОРЕЕ РЕШИ!

Вопрос №3

Какое из перечисленных небесных тел не является спутником Юпитера?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Калисто;
Б. Пандора;
В. Ио.

ВЫБЕРИ ПРАВИЛЬНЫЙ

Вопрос №4

К какому типу звёзд по современной классификации относится Солнце?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Жёлтый карлик;
Б. Белый карлик;
В. Красный гигант.

Вопрос №5

Какую цветовую температуру имеет Солнце?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. 6000 К;
Б. 2800 К;
В. 10 000 К.

Вопрос №6

Какой химический элемент составляет более 70% массы Солнца?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Гелий;

Б. Водород;

В. Углекислый газ.

Вопрос №7

Что затрудняет для учёных исследование глубинных слоёв Солнца?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Фотосфера непроницаема для всех видов излучения;

Б. Высокая плотность хромосферы не позволяет разглядеть более глубокие слои Солнца;

В. Мешает мощное энергетическое излучение, создаваемое звездой.

Вопрос №8

Какая выдержка точно не подойдёт для «светописи»?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. 1/250 секунды;

Б. 5 секунд;

В. 30 секунд.

Вопрос №9

Какой химический элемент, входящий в состав человеческого организма, делает работу МРТ максимально эффективной?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Водород;

Б. Железо;

В. Углерод.

Вопрос №10

Для чего служил Ураниборг, созданный Тихо Браге?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Для астрономических наблюдений;

Б. Для проведения опытов с электричеством;

В. Это был особняк эксцентричного учёного.

Вопрос №11

Известно, что учёный Тихо Браге лишился носа. Как это случилось?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

А. Неудачный химический опыт;

Б. Нападение дикого животного;

В. Отстрелили на дуэли.

СВЕТ – ГЛАВНЫЙ АРХИТЕКТОР

Наверняка вы частенько прогуливаетесь по вечернему городу? Помните, как здания переливаются и играют огнями: арки, колонны, шпили, портики, лестницы? Свет преображает любые строения, делает их воздушными, наделяет объёмом, подчеркивает уникальную геометрию. Мы воспринимаем иллюминацию городов как данность, но это результат кропотливого творческого труда. Давайте же разберёмся, как рождается архитектурное освещение, а в качестве примера возьмём Коммунальный мост в Красноярске. Нашим «проводником» в мир светодизайна и архитектурного освещения станет главный инженер проекта компании ООО «СветоПроект» Александр Фотин.

Для освещения любого архитектурного сооружения, будь то вантовый мост, «стеклянный» небоскрёб, готический храм или жилой панельный дом требуется индивидуальный подход. Конечно, существует целый ряд приёмов и методов, однако каждый проект – это их уникальная совокупность. Коммунальный мост в Красноярске (рисунок 1) стал одним из таких особых светотехнических проектов.

Рисунок 1. Коммунальный мост в Красноярске

Традиционно над любым проектом архитектурного освещения трудится целая команда специалистов: светодизайнеры, проектировщики, конструкторы, программисты, монтажники и многие другие. Первостепенная задача светотехников – провести детальный анализ сооружения, которое предстоит осветить. Так, необходимо определить ключевые конструктивные особенности, выявить значимые архитектурные элементы, определить материал и многое другое.

Огромное значение при освещении имеет поверхность сооружения, так как видим мы именно тот свет, который от неё отражается. Например, матовые материалы отражают свет диффузно, т. е. одинаково во всех направлениях. Некоторые материалы отражают свет направленно. Их часто называют глянцевыми. Если сооружение выполнено из такого материала, то очень важно правильно выбрать места установки осветительных приборов. Одна из задач комфортного освещения – это отсутствие ярких слепящих точек от источников света. Наблюдатель должен видеть именно освещаемый объект, а не световые отверстия прожекторов. Для решения этой задачи используют специальные антислепящие аксессуары. Например, защитные козырьки, экраны, решётки и т. п.

Перечисленные особенности являются фундаментом для разработки концепции освещения конкретного архитектурного сооружения, а в дальнейшем и проектной документации (рисунок 2).

Давайте разберёмся, как сделать эстетичное и функциональное освещение. Предлагаю для наглядности посмотреть на конструкцию Коммунального моста.

Первое, что отметили светотехники, познакомившись с Коммунальным мостом, – это монолитно-железобетонная конструкция, обладающая большим количеством арок и плоских поверхностей. Что же эта информация даёт светотехнику? Очень многое!

Данный факт определил то, как именно будет освещено сооружение. Во-первых, светотехники решили «залить» светом внутреннее пространство между ламелями, которые делят арочный свод на своеобразные фрагменты или ячейки. Во-вторых, было решено подсветить нижние поверхности арок. Таким образом, сформировался световой контраст между тёмными боковыми фасадами моста и подсвеченными арками (рисунок 3). Благодаря этому мост выгодно выделяется на фоне города в ночное время, а также выглядит лёгким и невесомым, несмотря на свою массивную конструкцию.

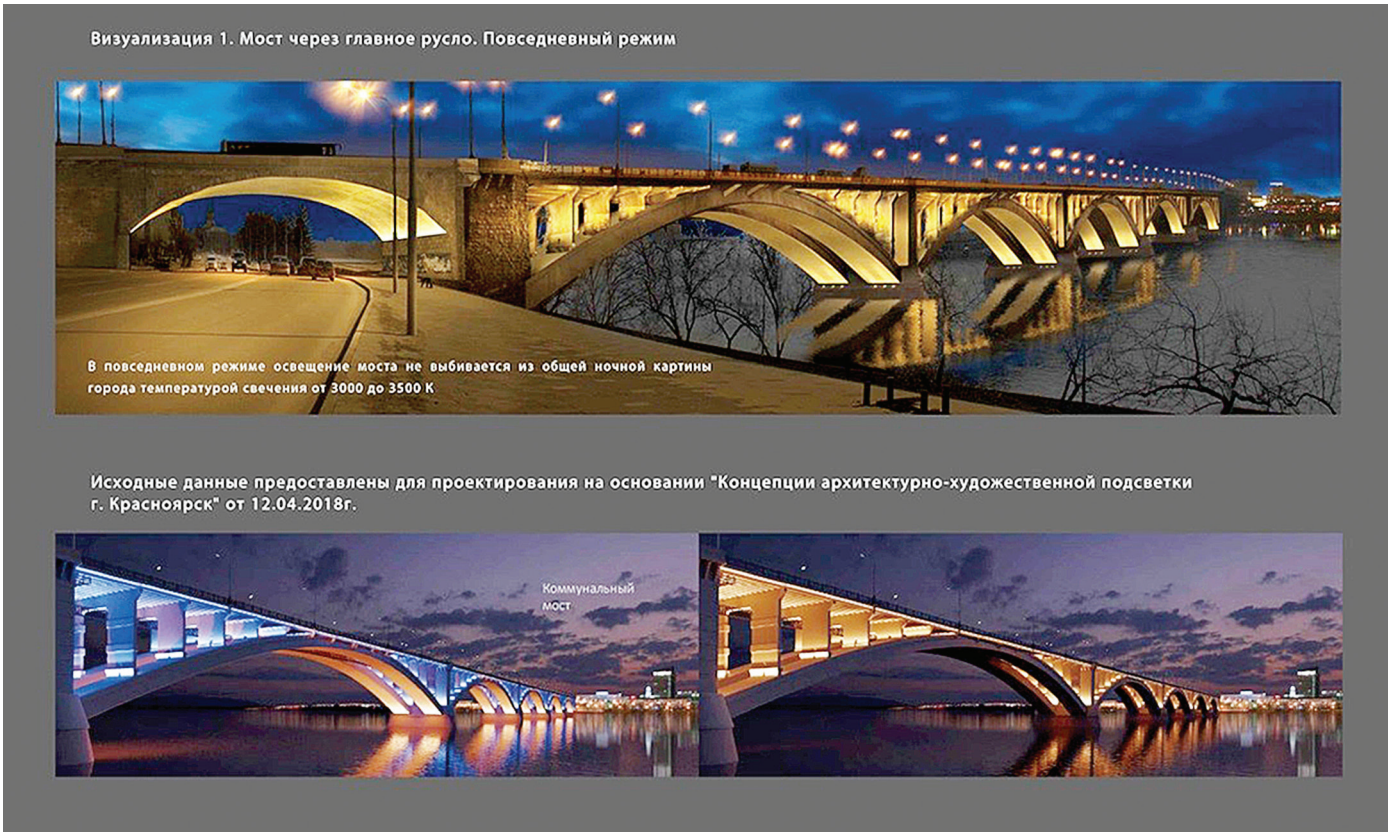


Рисунок 2. Концепция архитектурно-художественной подсветки Коммунального моста

Рисунок 3. Арки и ламели Коммунального моста

Ключевой светотехнической характеристикой в архитектурном освещении является яркость освещаемых объектов, так как человеческий глаз реагирует именно на яркость, которая является результатом отражения света от объекта, и характер отражения в этом случае играет очень важную роль. В проекте освещения Коммунального моста заказчик заложил необоснованно большую яркость объекта, которую можно было обеспечить только мощными осветительными приборами, что было чревато огромными затратами на электроэнергию, а также дискомфортом при наблюдении моста. Так как мост находится на фоне слабоосвещённой части города, то для создания комфортных условий наблюдения и подчёркивания облика моста совсем не требовались большие яркости (рисунок 4).

Для освещения моста через реку Енисей (Коммунального моста) используются полноцветные управляемые RGBW-светильники, способные создавать различные цветосветовые сценарии. Для освещения путепровода на Острове Отдыха было найдено следующее решение: внешний фасад въездного портала освещён приборами с холодной цветовой температурой, а внутренний свод – с тёплой. Такой контраст позволяет выделить въезд в путепровод. Мост через Абаканскую протоку потребовал иного подхода – внутренние объёмы арок освещены синим светом, а нижние поверхности арок оборудованы осветительными приборами с цветовой температурой 2700 К (такую цветность обозначают словом Amber, что с английского переводится как янтарный).

Наверное, главной особенностью Коммунального моста является возможность управлять его освещением. Для данного сооружения было разрабо-

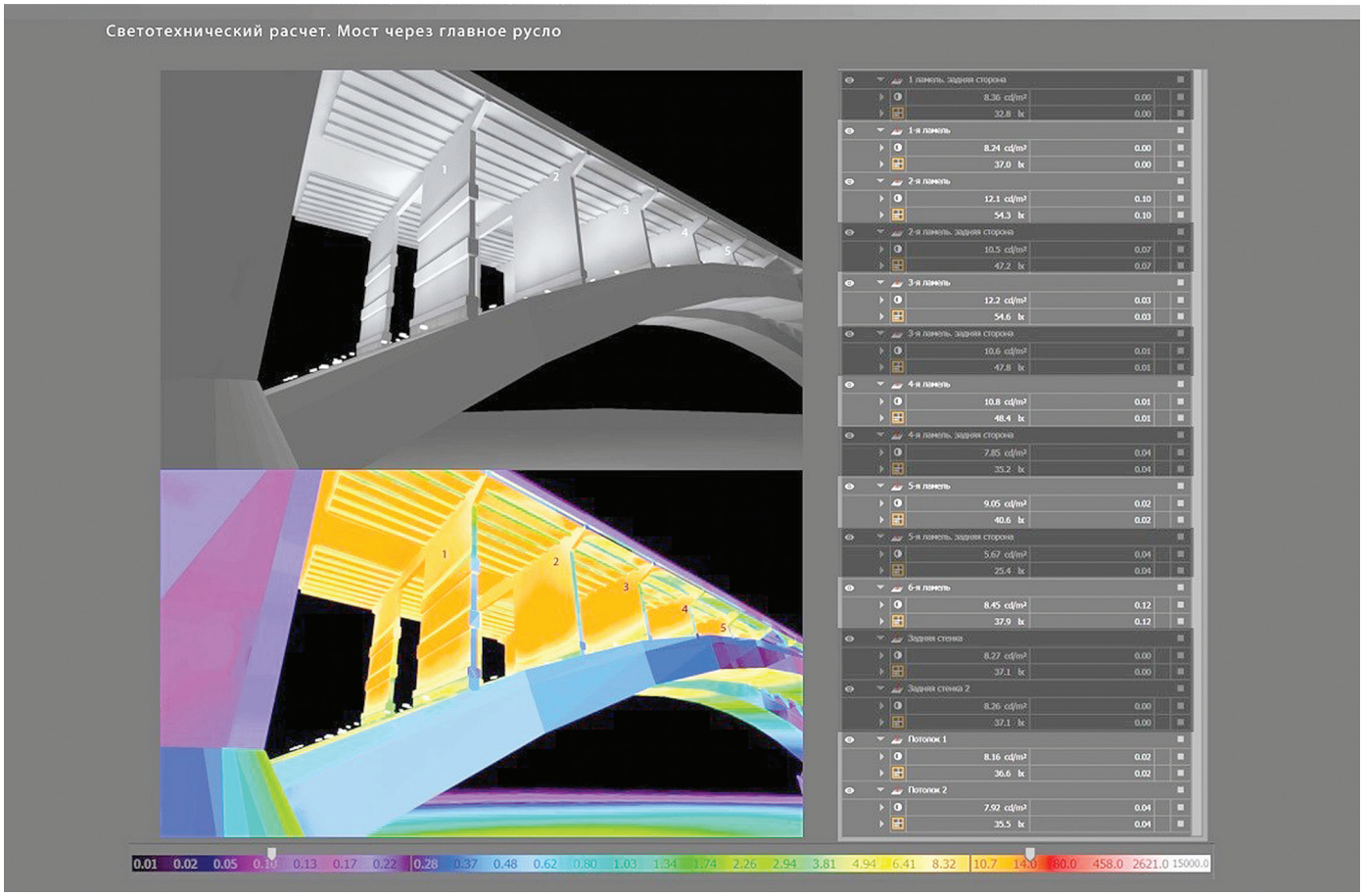


Рисунок 4. Расчёт яркости Коммунального моста в программе DIALux evo

тано 8 цветодинамических сценариев для разных праздников: Новый год, 9 Мая, 23 Февраля и т. д.

Здесь талант светодизайнера раскрывается в полном объёме. Он выступает своего рода дирижёром оркестра светодиодных светильников! При создании цветодинамических сценариев полёт фантазии автора практически ничем не ограничен: всё зависит от его вкуса и вдохновения. Это чистая творческая работа, подкреплённая отличными техническими знаниями в области светотехники.

Под каждый праздник светодизайнер полностью продумывал работу осветительных приборов моста – набор цветов, переливы, скорость и последовательность включения и выключения светильников. В результате получился цельный цветодинамический сюжет, который передаёт настроение того или иного праздника.

Управление цветодинамическими сценариями ведётся из специального пункта (шкафа) управления, который находится неподалёку от самого моста. Отсюда можно с помощью ноутбука управлять каждым светильником в отдельности или всей системой одновременно, запускать и отключать цветодинамические сценарии. Также можно в режиме реального времени проверить работоспособность осветительных приборов. Стоит отметить, что современные технологии позволяют вести удалённый контроль за освещением таких объектов и с помощью мобильных устройств.

Ещё одна уникальная особенность осветительной установки Коммунального моста – возможность быть частью системы «Умного города». Мост может с помощью цвета демонстрировать, насколько сильно он загружен. Например, красный цвет соответствует серьёзным пробкам, а зелёный говорит нам о том, что дорога практически свободна.

Для понимания масштабов проделанной работы приведём несколько цифр. На Коммунальном мосту установлено 630 светильников, на путепроводе Острова Отдыха – 70, на мосту через Абаканскую протоку – 250.

Теперь, ребята, вы знаете, что практически любой архитектурный объект, который вечером и ночью восхищает ваш взор волшебной игрой огней, – это результат большой и сложной работы как технической, так и творческой. Дерзайте и сможете сами освещать великие архитектурные шедевры.

BL Group

Международная светотехническая корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

www.bl-g.ru

Светильники здесь вызревают
Для повышенья урожая!

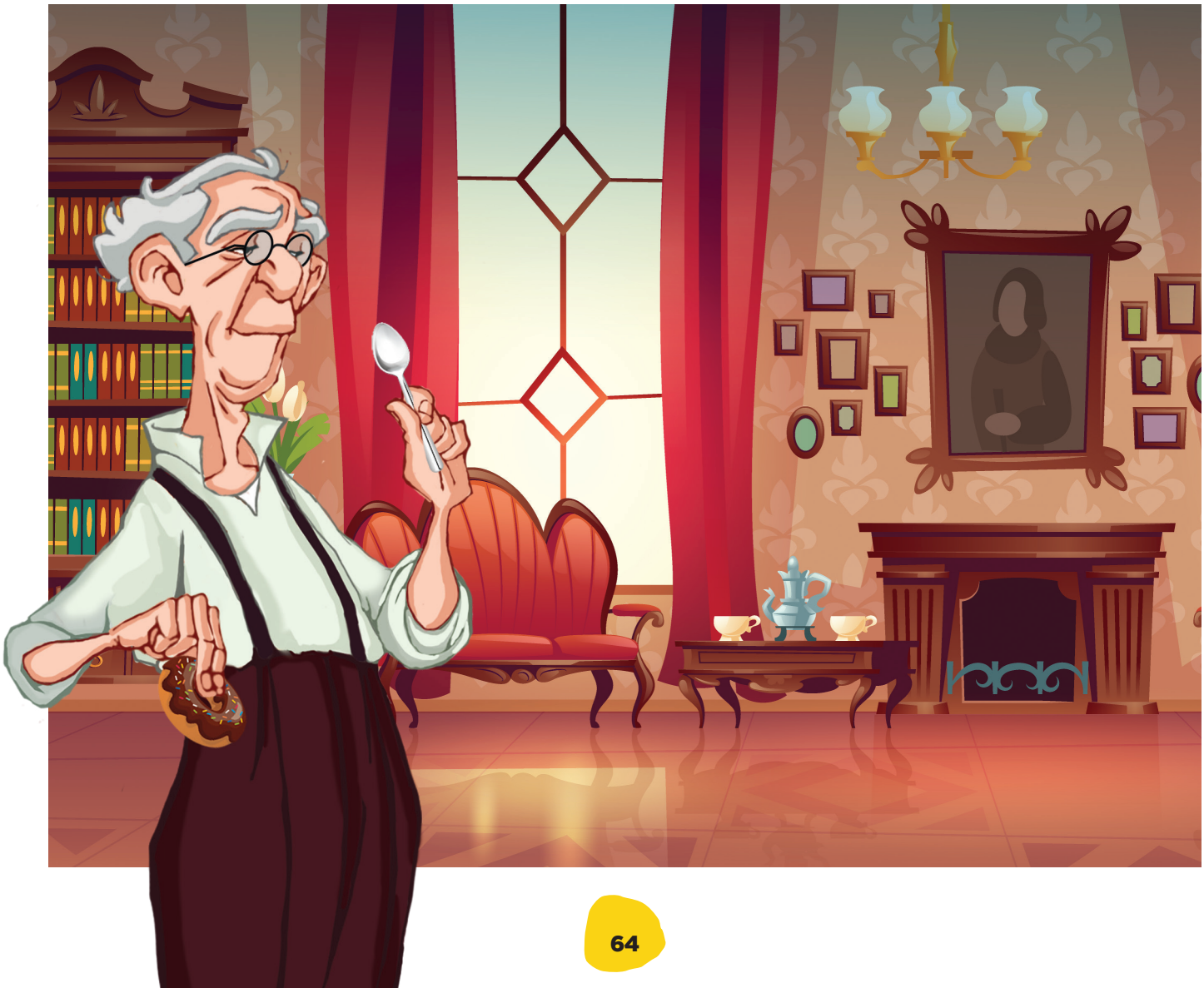
АО "КЭТЗ"
431900, Республика Мордовия,
п. Кадошкино, ул. Заводская, 1

(83448) 2-31-21

ПРОЕКТИРУЕМ С ПРОФЕССОРОМ ЛЮКСОМ

Если вам необходимо спроектировать освещение для дорог, то поможет вам в этом программа Light-In-Night Road – единственная сертифицированная программа для расчётов освещения в России. В программу заложены все правила расчёта дорожного освещения согласно стандартам, которые приняты в нашей стране. Если же вы хотите спроектировать освещение внутреннего пространства, то можно воспользоваться другой полезной программой – DIALux evo. В настоящей статье, от лица многоуважаемого Профессора Люкса, о создании освещения целой квартиры в программе

В прошлом выпуске мы познакомились с основным нормативным документом, без которого ни один проектировщик не сможет создать комфортную световую среду; узнали, что называют освещённостью, цветовой температурой, равномерностью и КСС, а также осветили мою комнату в соответствии с российскими нормами, как самые настоящие профессионалы! Но помните ли вы, с какой проблемой мы столкнулись? На первый взгляд, для освещения помещения хватило одного светильника, но оно всё равно казалось тёмным: лишь одно светлое пятнышко в центре комнаты напоминало луч солнца, пробивающийся в пещеру сквозь небольшое отверстие сверху. А мне хотелось бы жить в светлом, как ясный день, доме! В качестве домашнего задания я предложил вам решить эту проблему самостоятельно. Ну что? Получилось? Если нет, то сегодня мы вместе справимся с этой задачей! Нам предстоит поговорить о типах светильников и приёмах освещения жилых помещений. Вы своими руками построите целую квартиру и научитесь быстро подбирать световое оборудование, чтобы реализовать все свои идеи.



ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Начнём с построения квартиры по имеющемуся чертежу (рисунок 1). У проектировщиков есть специальные программы, позволяющие строить планы объектов, например, AutoCAD, о которой вы сможете узнать подробнее в одном из следующих номеров журнала. Файлы, созданные в этой программе, сохраняются в специальных форматах DWG или DXF, а затем используются в DIALux evo, чтобы проектировщику было проще построить здание со всеми деталями, сохранив при этом пропорции и масштаб. Мы с вами новички в этом деле, и программы AutoCAD у нас нет, но это не беда! Разработчики DIALux evo позаботились о нас, и мы сможем подложить вместо чертежа фотографию!

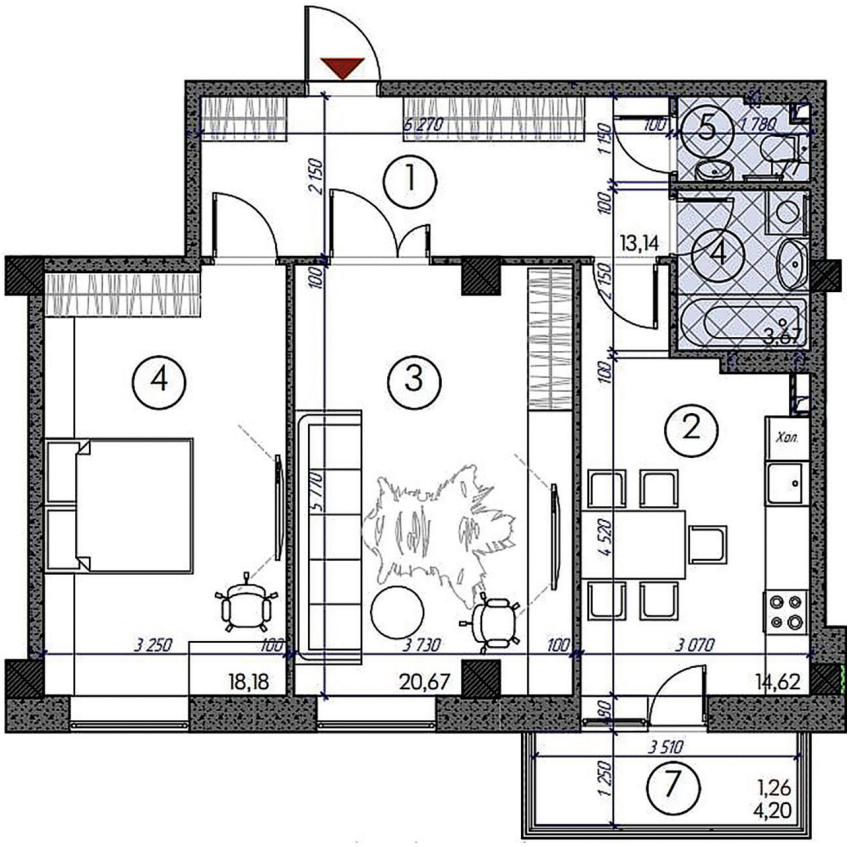


Рисунок 1. План квартиры

1. Сфотографируйте рисунок 1 так, чтобы он был хорошо виден на фотографии.

2. Перенесите эту фотографию из памяти телефона на компьютер. Если этот или последующие этапы покажутся вам сложными, попросите о помощи более опытных взрослых.

3. Теперь отредактируем вашу фотографию плана квартиры: щёлкните по ней правой кнопкой мыши и в выпадающем списке выберите «Открыть с помощью», а далее стандартное средство редактирования фотографий Windows «Paint». В ленте сверху выберите инструмент «Выделение». Выделите план квартиры, оставив за границами рамки всё лишнее. Наведите курсор на выделенную область, нажмите правую кнопку мыши и в выпадающем списке нажмите «Обрезать». Теперь нажмите «Файл» в левом верхнем углу, «Сохранить как» и сохраните изображение в формате PNG, JPEG или BMP.

4. И, наконец, мы открываем программу DIALux evo! На этот раз займёмся «планировкой здания и внешнего пространства».

5. В левом верхнем углу вы увидите значок «Планы», на котором изображены плоскость и красная прилегающая к ней стрелка. Щёлкнем по нему левой кнопкой мыши. В открывшемся меню нажимаем «Загрузить план...» и выбираем в появившемся окне подготовленную нами картинку; открываем.

6. Программа предложит задать начало отсчёта и оси, а также масштаб плана, чтобы построение объекта было точным.

«Начало отсчёта и вращение»: пропускаем этот пункт, нажав «Далее»;

«Задать масштаб»: щёлкните левой кнопкой мыши по левому нижнему (внутреннему) углу спальни

(цифра 4 на плане), затем так же щёлкните по левому верхнему углу спальни, после чего рядом с курсором появится окошко, в которое вам нужно будет ввести длину выделенной стены – 5 м – и нажать «Enter» на клавиатуре. Нажимаем «Завершить». Готово!

7. Переходим во вкладку «Местность», она находится в левой панели меню под уже знакомым нам значком «Планы». Выбираем «Отобразить новое здание» и, щёлкая по внешним уголкам чертежа квартиры, обводим её. Нет необходимости обводить балкон (цифра 7 на плане) и квадрант (четвертинку круга) в верхней части плана (последний является лишь обозначением дверного проёма и направления открытия двери).

Зажимая колёсико мыши и перемещая её вверх-вниз и влево-вправо, вы можете двигать план;

Вращая колёсико мыши вперёд-назад, вы имеете возможность увеличивать и уменьшать вид плана в CAD-окне;

Если вы случайно поставили точку не там, где хотели, то можете зажать на клавиатуре кнопки «Ctrl» и «Z», затем исправить недочёт;

Попробуйте во время работы нажать на клавиатуре кнопку «Shift» и посмотрите, что будет в этом случае. Эта уловка может облегчить вам работу;

В конце, чтобы замкнуть контур нового здания, нажмите на первую поставленную вами точку.

8. Теперь во вкладке «Конструкция этажей и здания» нажимаем «Отобразить новые контуры внутреннего помещения» и по такому же принципу обводим по очереди все комнаты квартиры.

Не обращайте внимание на оконные и дверные проёмы помещений: проводите линию так, словно в стене на плане этих отверстий нет;

Когда закончите обводить комнаты, нажмите «Esc»;

Если вам хочется поправить положение точек внутреннего помещения, щёлкните левой кнопкой мыши по его контуру, наведите курсор на точку, положение которой желаете скорректировать, та окрасится в оранжевый цвет, и, зажав левую кнопку мыши, передвиньте точку на новое место. Аналогичным образом вы можете удалять уже существующие точки, щёлкая по ним правой кнопкой мыши и выбирая «Точку удалить»;

Если вы ошиблись и хотите достроить помещение, также выделите его и, щёлкнув по контуру правой кнопкой мыши, выберите «Точку добавить», после чего появится новая точка, которую вы можете установить в нужном месте;

Если вы решите заново построить помещение, то, таким же образом выделив контур уже имеющегося и щёлкнув правой кнопкой мыши, выберите «Удалить».

9. Напоминаю, что над CAD-окном, где вы строите помещение, находятся кнопки, с помощью которых вы можете переключать режимы просмотра проектируемого объекта. Одна из таких кнопок будет называться «Помещение 1» и, если по ней щёлкнуть левой кнопкой мыши, выпадет список остальных построенных вами помещений. Давайте назовём каждое, чтобы было проще в дальнейшем ориентироваться.

10. Вернёмся к виду «Местность 1» и в левом столбце вкладок нажмём на «Сектора». Далее щелчком левой кнопкой мыши выделим построенное нами пространство коридора. Слева от CAD-окна в меню вы увидите раздел «Активный проём». Задайте ему новое имя: «Коридор» и сохраните название нажатием «Enter». Аналогичным образом переименуйте все помещения проектируемой квартиры.

11. Теперь настала пора установить окна и двери! Вы научились этому во втором выпуске журнала «Светотехника для детей и их родителей», поэтому выбирайте понравившиеся окна и двери и устанавливайте их на места, обозначенные в плане.

Дам небольшую подсказку: когда выберете вид проёма во вкладке «Проёмы здания», нажмите «Начертить новый проём здания», затем на плане щёлкните левой кнопкой мыши по одной границе окна или двери (линии, перпендикулярной стене), затем по второй.

12. А теперь на свой вкус оформите интерьер! Выбирайте мебель из каталога, затем также выбирайте или самостоятельно создавайте материалы. Дайте волю фантазии и создайте что-нибудь удивительное!

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Переходим к светотехнической части нашего проекта! В прошлом выпуске вы уже ознакомились с вкладкой «Изготовитель», где собрано огромное количество каталогов светильников разных производителей, откуда можно скачать ies файл, описывающий КСС понравившегося светильника, и вставить в нашу модель. В этом выпуске я хочу предложить вам рассмотреть этот вопрос чуть более подробно.

Световые приборы можно разделить на две категории: для внутреннего освещения (Indoor lighting) и для наружного освещения (Outdoor lighting). Нас интересует первый тип, который в свою очередь тоже можно разделить на разные группы в зависимости от конструкции и назначения (рисунок 2).

Рисунок 2. Классификация интерьерных светильников

Вы можете самостоятельно ознакомиться с каталогами, предложенными в DIALux evo, а мы на примере известного изготовителя светового оборудования – компании «iGuzzini» – научимся выбирать светильники для наших проектов.

Однако перед этим нам нужно узнать, что собой представляет освещение каждого помещения жилой квартиры, и какие приёмы освещения используются при создании грамотного, красивого и при этом уникального проекта.

В основе освещения любой комнаты лежит сумма трех важнейших слагаемых: общего, рабочего и декоративного освещения. Общее освещение часто создаётся за счёт светильников, размещённых под потолком и дающих равномерный рассеянный свет. Эти светильники не должны создавать тени и блики. Рабочее освещение планируется в зависимости от задачи: на кухне – это освещение столешницы и обеденного стола, в комнате – письменного стола, кресла или изголовья кровати, где человек чаще всего будет располагаться с книгой. Рабочее освещение должно быть направленным и ярче общего, ведь оно формирует комфортную для глаз освещённость на рабочей поверхности. Декоративное освещение выполняет на первый взгляд элементарную, но, тем не менее, очень важную функцию – создание атмосферы.

Светодизайнеры рекомендуют следующие комбинации:

Гостиная

- Постоянное общее освещение;
- Декоративное в качестве акцентов;
- Рабочее в зоне журнального стола;

Если гостиная совмещает в себе функции столовой или кабинета, дополнительное рабочее освещение должно быть над обеденным и/или рабочим столом.

Кухня

- Общее освещение не обязательно (тем более, если речь идёт о кухне небольшой площади);
- В районе обеденного стола лучше всего расположить одноламповый светильник (хорошо, если обеденный стол находится примерно в центре помещения) и за счёт длины подвеса превратить его свет в рабочий.

Столовая

- Общее освещение желательно, но не обязательно;
- Рабочее освещение обеденного стола необходимо.

Спальня

- Общее освещение;
- По сторонам кровати – парное рабочее освещение (это могут быть бра, настольные лампы, одноламповые светильники на длинном подвесе);
- Для атмосферы – декоративное освещение.

Санузел

- Общее освещение (вне зависимости от площади);
- Рабочее у зоны зеркала (наилучший вариант – парные светильники по бокам);
- Уместно и декоративное освещение, например, по плинтусу или из-под навесных предметов мебели.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Вы можете в интернете найти множество различных вариантов освещения квартир и, основываясь на них, а также владея полученной информацией, разработать собственную концепцию освещения и посмотреть, что же из этого получится! Вот теперь самое время переходить к изучению каталога «iGuzzini».

1. Зайдём на сайт https://www.iguzzini.com/

2. Выберем «Indoor Products» и ознакомимся с предлагаемыми нам производителем светильниками.

3. Мы с вами рассмотрим только общее освещение, а вы самостоятельно разберётесь со всем остальным. Переходим в «General lighting» (Общее освещение).

4. Если нажать на «Application view», появятся примеры того, как используя то или иное оборудование можно создать в помещении равномерное общее освещение. Как мы видим, приведены варианты освещения общественных пространств – офисов, библиотек, магазинов. В домашнем интерьере обычно выбор падает в пользу люстр, мощных светодиодных лент, встроенных в потолок, и так называемых «Downlights» – точечных светильников, часто встраиваемых в потолок равномерной «сеткой», Для создания общего освещения пространства выбирают глубокую, косинусную, равномерную, полуширокую или широкую КСС.

5. Теперь вернёмся назад и перейдём к разделу «Downlights».

6. Для примера остановим свой выбор на «Reflex» (рисунок 3). Изучите светильники, которые предлагает производитель. Под изображением внешнего вида «Downlight» подписаны названия линейки световых приборов и название самого светильника. Ниже подписан диапазон допустимых световых потоков для каждого, и в самом конце вы увидите небольшие картинки, которые показывают, как будет распространяться свет в пространстве от этого светильника.

7. Нам для освещения комнаты не нужны большие световые потоки, и хотелось бы выбрать широкий световой пучок, поэтому больше всего подойдет «C.oB round». На открывшейся странице представлена вся информация об этом светильнике и иллюстрации с примерами. Пролистаем в самый конец и найдём там таблицу с вариантами и характеристиками «C.oB round». Произведём подбор.

Рисунок 3. Светильник «Reflex»

8. В первом столбце указаны световые потоки источника света. Для освещения небольшой комнатки с невысокими потолками нам будет достаточно 1000 лм. У такого светильника диаметр светопропускающего отверстия равен 75 мм, об этом нам говорит перечёркнутый круг с подписью «75», расположенный под иллюстрацией прибора. Следующий шаг, который сузит наш выбор, – коррелированная цветовая температура Тцв. Как помните, чем она выше, тем холоднее белый свет светильника. Выбор Тцв зависит от того, для какого помещения мы подбираем освещение, чем в этом помещении будут заниматься люди, какую атмосферу мы хотим там создать. Для жилой квартиры, куда люди приходят после тяжёлого рабочего дня, где отдыхают и готовятся ко сну, принимают гостей и выстраивают преимущественно дружеские и тёплые диалоги, наиболее подходящим вариантом является низкая Тцв – 2700 К. Вы можете со мной не согласиться и посмотреть на вопрос с другой стороны. Со споров и начинается творчество! Но сейчас для примера рассмотрим эти варианты. У каждого светильника есть свой код, на сайте “iGuzzini” он указан в последнем столбце, нам с вами подошли MV85, P589 и QM37. Сравним оптику светильников – 5 столбец. Там мы обнаружим, что у MV85 и QM37 оптика WF 52˚, а у P589 – VWF 62˚. В первом случае световой поток распространяется в широком угле, во втором – в очень широком. Я бы выбрал оптику, обеспечивающую более

широкое светораспределение, чтобы сократить количество световых приборов в комнате и получить равномерное освещение пространства помещения. Нажимаем на строчку с характеристиками светильника P589, изучаем информацию, приведённую на странице, и находим строчку, в которой есть «.ies», «.ldt» или «Dialux». Такие ссылки имеются практически на каждом сайте производителей светового оборудования. Нажимая на них, проектровщик может скачать фотометрическую модель светильника, необходимую для проекта. В данном случае это «Photometric data (.ies / .ldt / Dialux / Relux)»: нажмём и в развернувшемся списке выбираем «LDT» или «IES».

9. Когда файл скачается, откроем папку с ним, развернём окно программы DIALux evo, но не на полный экран (на экране монитора должны помещаться два окна – DIALux и папка с только что скачанным файлом). Наведём курсор мыши на файл, зажимаем левую кнопку мыши и, не отпуская её, перетаскиваем на план в CAD-окне. Когда мы отпустим кнопку мыши, светильник автоматически установится на потолке помещения в той точке, где мы его оставили. Попробуйте осветить помещение с помощью функции «Автоматическое распределение для зон». Мы использовали эту функцию в прошлом выпуске, и освещение получилось не равномерным. Если вы сейчас нажмёте на кнопку «Запустить расчёт», то заметите, что в этот раз уровень освещённости гораздо ниже: он соответствует нормируемым значениям, и нет необходимости уменьшать количество светильников, как в прошлый раз, жертвуя равномерностью освещения. Всё дело в небольшой мощности (и, как следствие, небольшом световом потоке светильника). Но, конечно, если бы мы освещали какое-нибудь футбольное поле, там и тысячи таких «Downlights» не хватило бы! В этом случае потребовались бы световые приборы гораздо большей мощности.

10. Если нажать на один из светильников в проекте, выделятся все, но, если щёлкнуть по светильнику дважды, выделится только он. Выделив «Downlight», перейдите во вкладку «Фильтр», её значок изображен в виде трёх цветных пересекающихся кругов. В разделе «Спектр светильников» нажмите «Выбрать», далее «Каталог». Изучите все предложенные светофильтры, выберите один и нажмите кнопку «Перенять». Сверните окно каталога и в открывшемся окне внутри программы DIALux evo «Фильтр» нажмите повторно кнопку перенять. Теперь светильник будет излучать выбранный вами цвет (рисунок 4)! Запустите расчёт и проверьте! Теперь полёт вашей фантазии точно ничем не остановить!

Рисунок 4. Пример использования светофильтров в DIALux evo

Был крайне рад провести с вами время! Создайте что-нибудь прекрасное! Посмотрите, какой красочный проект сделал я!

Спальня

Ванная комната

Уборная

Гостиная

Коридор

Кухня

Журнал «Светотехника» для детей и их родителей — это детское научно-популярное издание о свете и светотехнике. Мы позиционируем его как детское Приложение к научному журналу «Светотехника» с почётным званием старейшего (журнал непрерывно издается с 1952 года), входящему во все международные наукоемкие базы данных. Богатейшие традиции, представительный международный состав редакционной коллегии — гарантия качества материалов.
В простом и доступном изложении погружаем в удивительный мир света и не только!!

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ НА СЛУЖБЕ СВЕТОТЕХНИКИ

Наверняка многие из вас слышали о таком востребованном направлении компьютерной графики, как 3D-моделирование? Возможно, вы удивитесь, однако создание виртуальных трёхмерных моделей – важнейшая часть работы современного светотехника. Если есть необходимость спроектировать освещение простого объекта, то его модель можно сделать в той же программе, что и освещение. Однако часто возникает необходимость создавать уникальные объекты в специальных программах для 3D-моделирования, а затем уже пользоваться этими моделями для создания проекта освещения. Именно так мы и предлагаем действовать при проектировании освещения кремлёвской звезды. Существует несколько популярных программ для 3D-моделирования. В этой статье вы познакомитесь с одной из старейших из них – 3ds Max. Вашим «учителем» на пути познания 3ds Max станет студент 1 курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» Наталья Соседко.

Прежде чем приступить к знакомству с программой 3ds Max, хотелось бы пару слов сказать о том, почему мы вообще решили создать модель кремлёвской звезды и спроектировать её освещение. Как вы могли прочитать из статьи на странице 12, кремлёвская звезда является непростым светотехническим изделием, состоящим из рефрактора, лампы, набора стёкол. Такой эффектный внешний вид (рисунок 1) звезда получила не сразу, а на некоторых этапах проектирования были созданы макеты. Если бы разработка велась сегодня, то за счёт создания трёхмерной модели можно было бы избежать многих проблем, сэкономить силы, время и деньги. Именно поэтому мы пре длагаем решить задачу проектирования освещения кремлёвской звезды с помощью компьютерных программ.

Рисунок 1. Кремлёвская звезда

Работа над созданием трёхмерной модели будет состоять из нескольких этапов:

- установка программы 3ds Max 2019,
- создание трёхмерной модели кремлёвской звезды,
- присваивание текстур объекту,
- визуализация сцены и экспорт модели для дальнейшей работы в DIALux evo.

Этап 1: Установка 3ds MAX 2019

Программа 3ds Max платная, рассчитана на опытных пользователей. Однако для целей обучения ею можно пользоваться абсолютно безвозмездно. Во-первых, существует демо-версия на 30 дней (версия программы постоянно обновляется, и интерфейс будет отличаться от описанного в статье, хотя принцип работы остаётся неизменным). Во-вторых, студенты могут учиться работе в 3ds Max бесплатно в течение 3 лет!

Для получения возможности некоммерческого бесплатного использования 3ds Max на протяжении трёх лет, придерживайтесь следующей инструкции:

Введите в адресную строку вашего браузера следующий URL-адрес: https://www.autodesk.com/education/free-software/3ds-max

Теперь Вам необходимо создать свой аккаунт: «CREATE ACCOUNT». Выбираете свою страну, Educational role – Student, Institution Type – University/Post-Secondary, дату рождения. Далее введите свои имя, фамилию на латинице, e-mail, придумайте пароль и согласитесь с условиями пользования Autodesk, после чего нажмите «CREATE ACCOUNT».

Далее Вам должно прийти на почту письмо подтверждения создания аккаунта, следуя инструкциям, завершите регистрацию на сайте.

После окончания процедуры создания учётной записи вернитесь на страницу п.1, войдите в учётную запись и выберите версию программы: 3ds Max 2019, далее операционную систему и язык (интерфейс программы, используемой при создании статьи на английском, поэтому лучше выбрать его). На Ваш e-mail придёт письмо с серийным номером, ключом продукта и информацией о том, что Вы можете установить данную программу на 3 персональных компьютера и использовать её 3 года. Нажмите «INSTALL NOW» и выберите «I Accept» в открывшемся окне, далее «Install».

Когда скачивание завершится, в загрузках двойным щелком левой кнопкой мыши по .exe файлу запустите установщика. После завершения загрузки нажмите «Install», а затем ещё раз, ожидаем конца установки, «Launch Now». Далее после загрузки выбираем «Classic», «Continue».

Программа 3ds Max установлена и откроется автоматически.

Этап 2: Создание модели

Начнём со знакомства с интерфейсом программы (рисунок 2). На иллюстрации оранжевым цветом выделено Главное меню, красным – Панель быстрого доступа, голубым – Командная панель, зелёным – Управление видовыми окнами, розовым – Координатные поля, а жёлтым – Видовые окна или CAD-окна. Щёлкая левой кнопкой мыши по окнам, вы можете изменять вид, в котором работаете, вращением колёсика мыши – отдаляться и приближаться, зажимая колёсико мыши и перемещая в разные стороны мышь, перемещаться по сцене влево-вправо, вверх-вниз. Как и во многих программах, комбинация клавиш «Ctrl» + «Z» отменяет последнее совершённое действие, но для удаления выделенных объектов лучше использовать клавишу «Backspace».

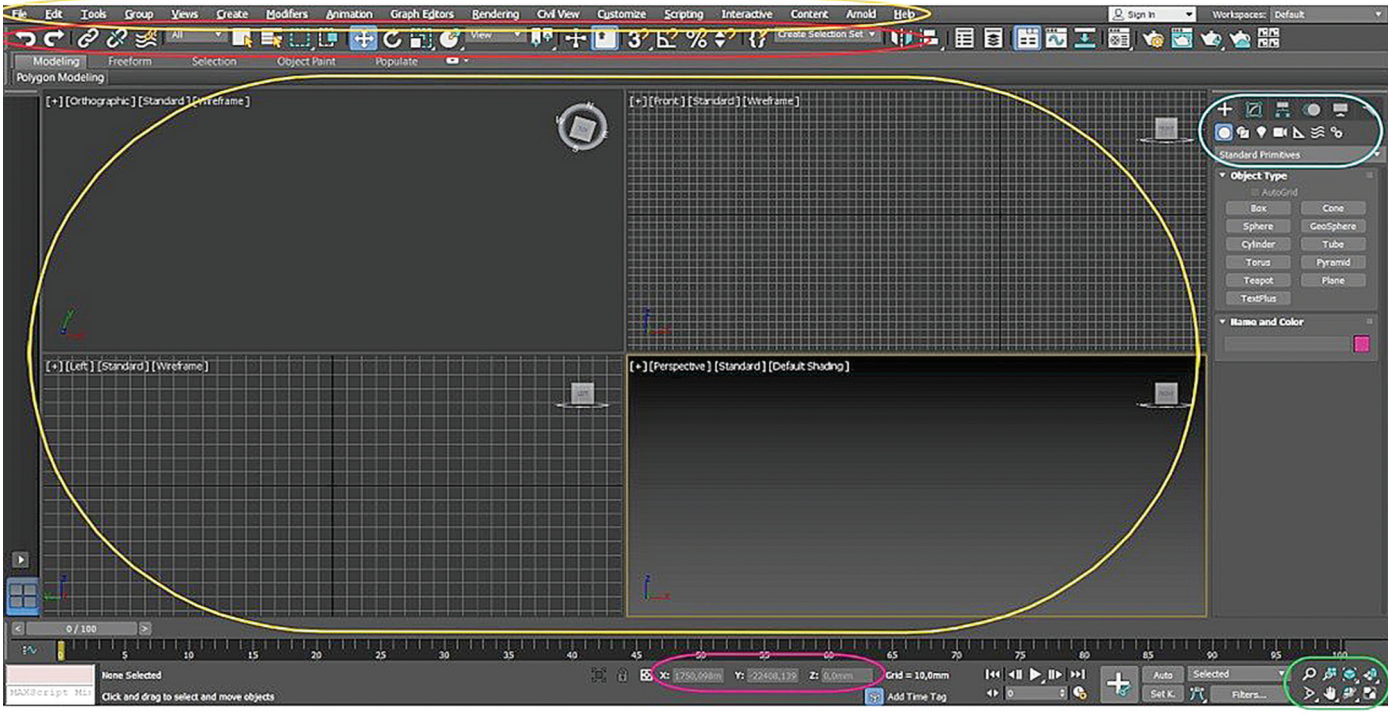


Рисунок 2. Интерфейс программы 3ds Max 2019

Итак, следуя инструкции, создайте свою первую модель.

Звезда будет моделироваться на основе цилиндра:

В командной панели откройте вкладку «Create», выберите «Geometry», «Cylinder». В центре верхнего левого CAD-окна зажмите левую кнопку мыши и, не отпуская её, ведите мышкой вправо, отпускаем кнопку, ведём курсор вверх, щёлкаем ещё раз.

Щелчком левой кнопкой мыши (ЛКМ) по объекту выделите его и перейдите во вкладку командной панели «Modify», измените параметры объекта: Radius: 6380 mm, Height: 2836 mm, Height Segments: 2, Cap Segments: 1, Sides: 10.

Теперь необходимо придать цилиндру форму звезды, для этого Вам пригодится «трафарет»: Вкладка «Create», «Shapes», «Star» Аналогично п.1, создайте контур звезды и в командном окне за-

дайте следующие параметры: Radius 1: 2680 mm, Radius 2: 6380 mm, Points: 5. Теперь нужно отцентрировать объекты: в панели быстрого доступа нажмите на «Select Object», щелчком ЛКМ выделите объект, на клавиатуре нажмите «W». Появятся стрелки, соответствующие трём координатам. Можно навести курсор на одну из них и, зажав ЛКМ, перемещая курсор по экрану, перемещать и сам объект в одном из трёх направлений, аналогично можно перемещать объект сразу в двух направлениях, используя «квадраты» между двумя стрелками, а можно (что даст наиболее точный результат) в координатном поле ввести: X=0 mm, Y=0 mm, Z=0 mm. Поместите в это положение оба объекта – концы лучей звезды должны совпадать с округлым контуром цилиндра.

Выделите цилиндр, перейдите во вкладку «Modify», найдите там «Modifier list» и щёлкните по надписи ЛКМ. Изучите выпадающий список, вращая колёсико мыши вверх и вниз, найдите «Edit Poly» и щёлкните по надписи. В командной панели появится раздел «Selection», Вам предлагается работать в пяти режимах: Vertex – с точками, Edge – с краями, Border – с границами, Polygon – с полигонами (плоскостями объекта), Element – с самим объектом. Нажмите «Vertex».

Для удобства нам понадобится вид сверху. Выделите верхнее левое CAD-окно щелчком ЛКМ и зажмите на клавиатуре клавиши «Alt» + «W». Окно развернётся на весь экран. Эта же комбинация клавиш позволит выйти из этого режима, но на данном этапе в этом нет необходимости.

Обратите внимание на цилиндр – пять его точек (на самом деле 15, так как цилиндр состоит из двух частей – под каждой из видимых в виде сверху (TOP) находится ещё по две) уже лежат на вершинах звезды, необходимо оставшиеся пять (15) сместить в соответствующие точки пересечения сторон «трафарета». Для этого расположите курсор мыши рядом с одной из точек, зажмите ЛКМ и, не отпуская её, проведите по диагонали так, чтобы точка оказалась в обозначенном пунктиром прямоугольнике, отпустите кнопку мыши (этот способ позволяет выделить все точки, попадающие в «прямоугольную» область, включая находящиеся под верхней и не видимые в используемом виде. Если бы Вы для выделения использовали простой щелчок по точке ЛКМ, то выделилась бы лишь верхняя). Точка должна окраситься в красный цвет, а, если это произошло, но координатные стрелки не появились, нажмите на клавиатуре «W». Используя «квадрат» между стрелками, описанным выше образом переместите поочередно точки в необходимые места.

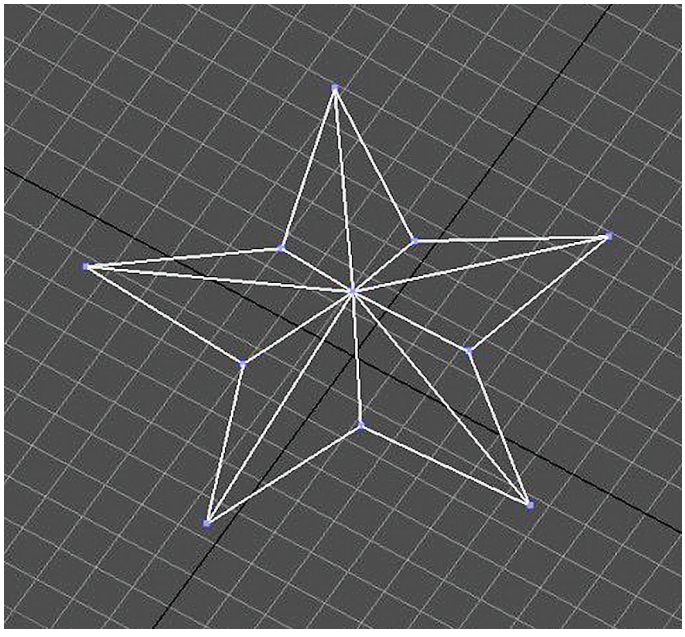


Рисунок 3. Придание модели формы звезды

Должна получиться звезда.

Необходимо провести диагонали, соединяющие вершины звезды с соответствующим каждой пересечением сторон фигуры. Удостоверьтесь, что объект выделен и включен режим «Vertex», найдите раздел «Edit Geometry» (он находится ниже «Selection»), в нём нажмите кнопку «Cut». При наведении курсора мыши на объект он принимает один из трёх видов в зависимости от ситуации: если курсор квадратный с 4 небольшими выходящими из него лучами – создаваемые Вами линии будут начинаться и заканчиваться на самом полигоне, при этом автоматически появятся две дополнительные, соединяющие концы созданных линий с ближайшими гранями фигуры; если курсор принимает форму перекрестия, горизонтальная полоса которого значительно больше вертикальной, – начало/конец создаваемой линии будет лежать на существующей границе имеющегося полигона; если курсор принимает вид правильного «+», значит начало/конец создаваемой линии будет лежать на существующей точке. Будьте внимательны, для этого пункта Вам нужно создавать диагонали между существующими точками! После того, как проведёте первую диагональ, щёлкните правой кнопкой мыши. Далее создавайте следующую, пока не получите результат,как на рисунке 3. Для выхода из режима построения линий дважды щёлкните правой кнопкой мыши в любом месте CAD-окна.

Вращая колесико мыши, приблизьтесь к пересечению всех диагоналей. Если они все не сошлись в одной точке, выделите все точки в центре и объедините их нажатием кнопки «Collapse» в разделе «Edit Geometry».

Проделайте всё то же самое для обратной стороны звезды. В правом верхнем углу CAD-окна есть

кубик, нажимая на разные, загорающиеся синим при наведении на них, части, можно изменять вид. Сейчас там написано «TOP», т. е. вид сверху, вращайте кубик, чтобы он оказался надписью «Bottom» вверх. Проведите диагонали аналогичным образом.

Теперь измените вид: «Alt» + «W», щёлкнув колёсиком мыши по правому верхнему окну, выделите его, «Alt» + «W». Для вращения трёхмерного чертежа объекта используйте кубик в правом верхнем углу CAD-окна. Ваша цель – поочерёдно выделять по три точки, лежащие в настоящий момент друг под другом и нажатием «Collapse» объединять их в одну (рисунок 3). Выровняйте точки по «трафарету», а центральная точка должна быть в положении X=0 mm, Y=0 mm.

Следующий шаг: создание железной рамы, в которую вставлены рубиновые пазы кремлёвских звёзд:

Вам потребуется несколько «трафаретов» наподобие того, что Вы сделали для изменения формы цилиндра. Удобнее всего это будет сделать в виде сверху. Чтобы выйти из режима редактирования объекта, снова нажмите «Vertex» и щёлкните ЛКМ в любом свободном месте CAD-окна. Выделите щелчком «трафарет», затем щелчок правой кнопкой мыши, выберите «Clone», «Copy» и переместите копию звезды влево, задайте ей новые размеры: Radius 1: 2300 mm, Radius 2: 6000 mm. Верните звезду в начало координат: X=0 mm, Y=0 mm, Z=0 mm.

Аналогичным образом создайте ещё несколько «трафаретов» звёзд с радиусами, расположенными в начале координат:

Radius 1: 900 mm, Radius 2: 1600 mm
Radius 1: 600 mm, Radius 2: 1300 mm
Radius 1: 200 mm, Radius 2: 200 mm
Radius 1: 10 mm, Radius 2: 200 mm

Создайте по пять копий звёзд с Radius 1: 900 mm, Radius 2: 1600 mm и Radius 1: 600 mm, Radius 2: 1300 mm, разверните их следующим образом: выделите объекты, нажмите клавишу клавиатуры «E», в координатном поле введите: X=0, Y=0, Z= -35. Разместите новые «трафареты», как показано на рисунке 4.

Выделите объёмную редактируемую вами звезду и включите режим «Edge». В разделе «Edit Edges» нажмите «Insert Vertex» и, наводя курсор мыши на пересечения существующих линий объекта и линий «трафаретов», щелчком ЛКМ установите новые точки, как на рисунке 4 (не забудьте про маленькую звёздочку в центре объекта). Нажмите ещё раз «Insert Vertex» для завершения процесса создания новых точек. Повторите процедуру для обратной стороны модели.

Теперь эти точки необходимо соединить знакомым нам образом: режим «Vertex», инструмент «Cut» (рисунок 5). В этот раз нет необходимости щёлкать правой кнопкой мыши (ПКМ) после построения каждой прямой, Вы можете последовательно точка за точкой прорисовывать контуры звёзд, щёлкая ПКМ лишь тогда, когда завершаете построение одного контура и переходите к следующему. Повторите процедуру для обратной стороны модели.

Если Вам кажется, что местоположение точек необходимо скорректировать, Вы можете легко это сделать, выделив точку и используя инструмент «Select and move» (клавиша «W»).

Теперь с обеих сторон модели на новых линиях расставьте новые точки, как на рисунке 5 (выделены красным). И, аналогично, соедините их.

Осталось создать элементы рамы, проходящие вдоль диагоналей модели звезды. Вы уже владеете всей необходимой информацией, чтобы справиться с этой задачей самостоятельно. Можете расставить

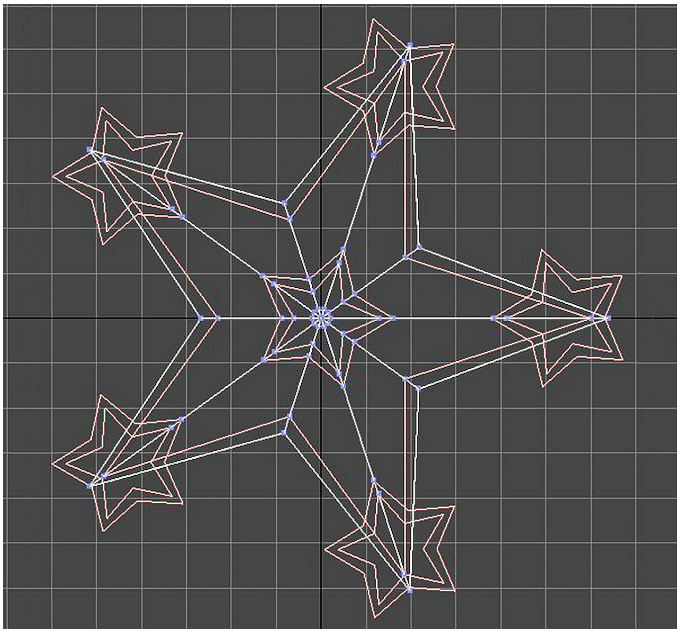


Рисунок 4. Создание трафаретов для железной рамы

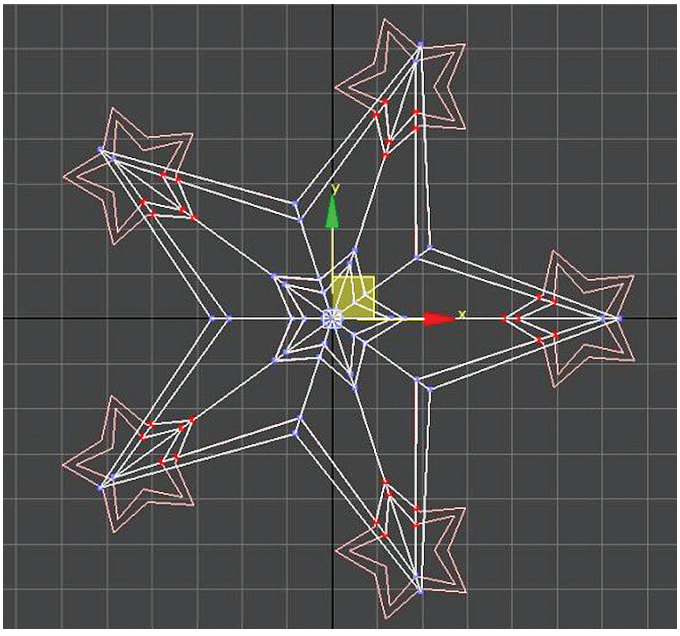


Рисунок 5. Соединение точек при создании железной рамы

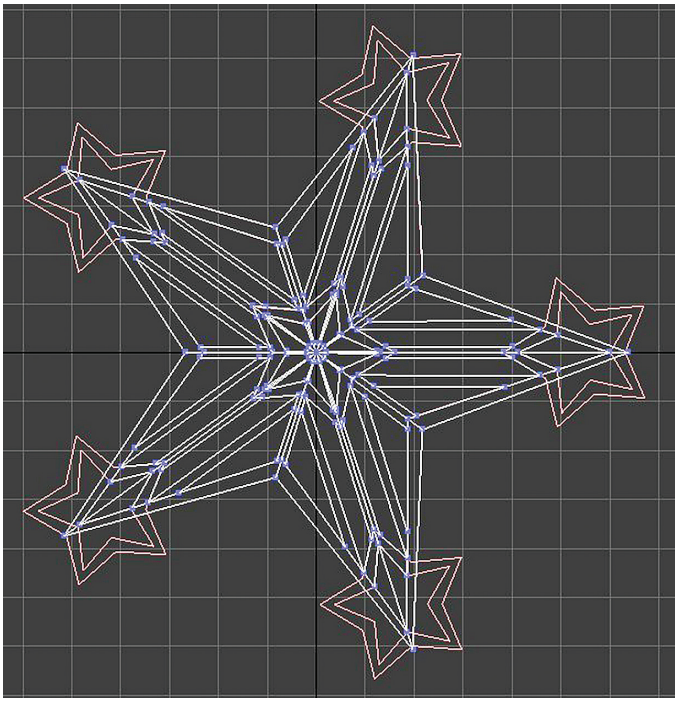


Рисунок 6. Создание элементов рамы, проходящих вдоль диагоналей модели звезды

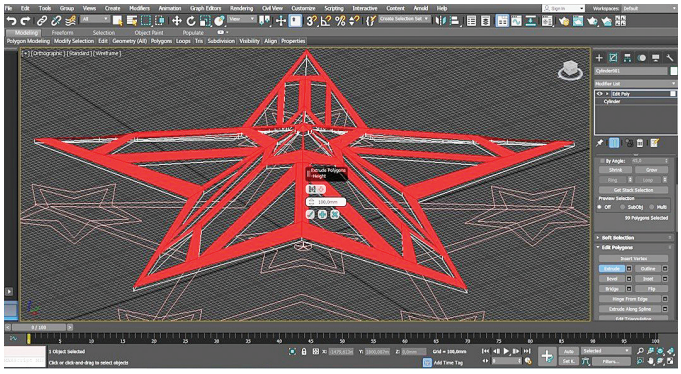


Рисунок 7. Придание объёма раме

и соединить точки или же сразу использовать инструмент «Cut». Результат представлен на рисунке 6. Для придания готовой раме объёма перейдите в режим «Polygon» и, удерживая клавишу клавиатуры «Ctrl», щёлкните поочерёдно ЛКМ по всем полигонам рамы (если Вы случайно выделили лишний полигон, отпустите кнопку «Ctrl», зажмите «Alt» и щёлкните ЛКМ по нему для отмены выделения, отпустите «Alt»), затем в разделе «Edit Polygons» щёлкните по изображению окошка справа от кнопки «Extrude» и введите в появившуюся строку значение 100 mm (рисунок 7). Повторите для обратной стороны. Аналогичным образом поднимите на 20 mm тонкие звёзды в центрах сторон модели (рисунок 8).

Модель готова! Осталось развернуть её и очистить сцену от «трафаретов».

Снова нажмите «Polygon» для выхода из режима редактирования, выделите модель, нажмите на клавиатуре «E» и в координатных полях введите: X=90,

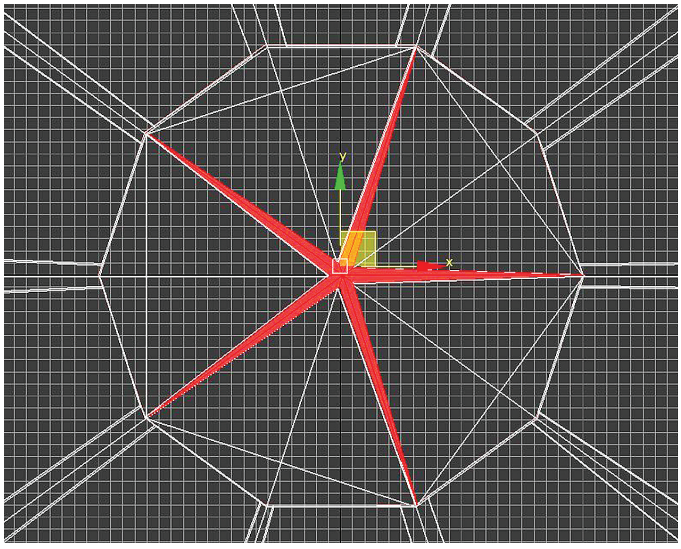


Рисунок 8. Придание объёма тонким звёздам в центрах сторон модели

Y=54, Z=0. Выделите все «трафареты» и нажатием на клавиатуре «Delete» удалите их. Перейдите в CAD-окно «Perspective». У Вас должна была получиться звезда, как на рисунке 9.

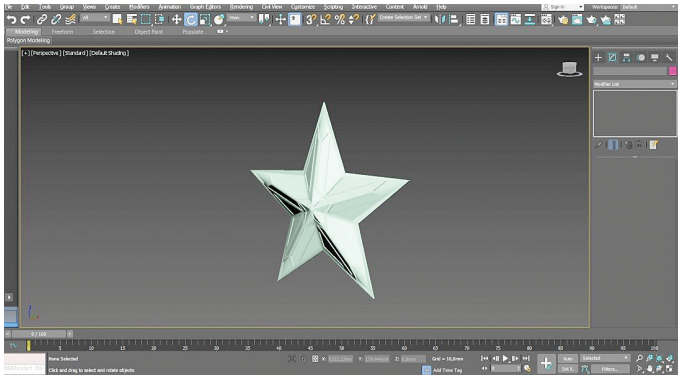


Рисунок 9. Готовая модель звезды

Этап 3: Текстуры

Необходимо создать два типа структур – металл и рубин (полупрозрачное стекло):

Нажмите на клавиатуре «M». Появится окно редактора материалов «Material Editor». Оно имеет два вида: компактный и расширенный, но Вам достаточно компактного. Нажмите «Modes», «Compact Material Editor» (рисунок 10).

Щелчком ЛКМ выберите первую сферу и в строке «01-Default» измените название на «Metal». Правее есть кнопка «Standard», нажмите на неё и в открывшемся списке выберите «Architectural», «OK». Повторите эти действия для соседней сферы, но её назовите «Ruby».

Снова выберите первую сферу. Нажмите на строку «User Defined» и в выпадающем списке щёлкните по «Metal-Brushed». Ниже, справа от надписи «Diffuse Color», расположен серый прямоугольник, щёлкните

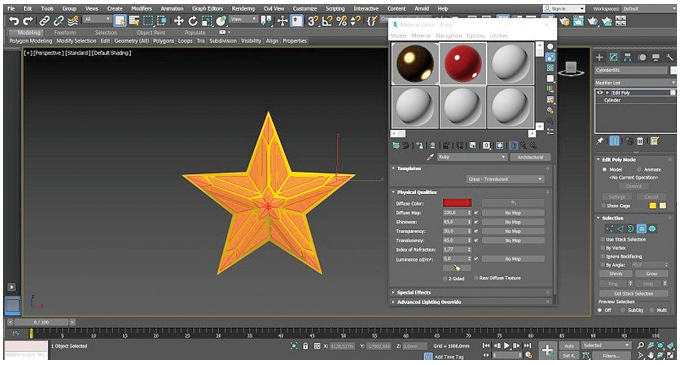


Рисунок 10. Компактный вид окна редактора материалов

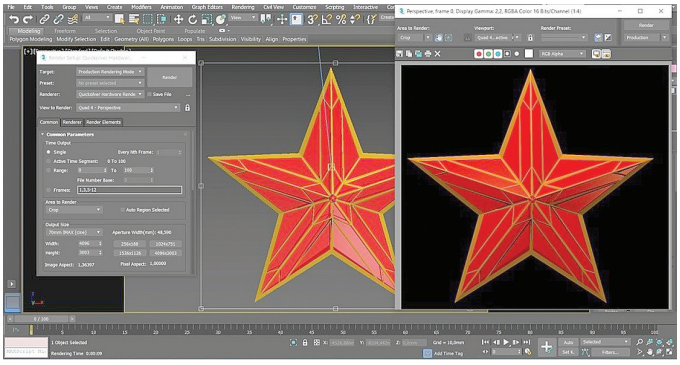


Рисунок 11. Получение реалистичного изображения модели

по нему. Откроется окно «Color Selector: Diffuse». Введите следующие параметры: Red: 200, Green: 100, Blue: 0. «OK». Материал готов.

Наведите курсор мыши на сферу «Metal», зажмите ЛКМ и, не отпуская её, переведите курсор на модель звезды. Отпустите ЛКМ. Вы присвоили материал модели.

Выберите сферу «Ruby». Нажмите на строку «User Defined» и в выпадающем списке щёлкните по «Glass-Translucent». Снова щёлкните по серому прямоугольнику справа от надписи «Diffuse Color». Введите следующие параметры: Red: 90, Green: 0, Blue: 0. «OK». В разделе «Physical Qualities» задайте следующие значения: Diffuse Map: 100, Shininess: 65, Transparency: 50, Translucency: 65, Index of Refraction: 1.77. Материал готов.

В этот раз прежде, чем переносить материал на модель, необходимо выбрать полигоны, которым он будет присвоен. Не закрывая окно редактора материалов, выделите объект, перейдите в режим «Polygon», выделите полигоны, которые должны стать рубиновыми (рисунок 10). Теперь, аналогично прошлому пункту, перенесите материал со сферы «Ruby» на выделенные полигоны модели. Готово.

Этап 4: Визуализация и экспорт

Для получения реалистичных изображений модели Вам потребуется источник света:

Вкладка командной панели «Create», «Lights», в выпадающем списке выберите «Photometric», «Target Light», «OK». В CAD-окне щёлкните ЛКМ и, удерживая её, проведите мышкой в любом направлении, отпустите ЛКМ. Сфера – источник света, кубик – направление распространения светового потока источника. Переместите «кубик» так, чтобы он оказался по центру одной из сторон модели звезды, а сам источник света расположите в точке: X = 0 mm, Y = -5000 mm, Z = 10000 mm.

Теперь перейдём к визуализации (рисунок 11):

Нажмите клавишу «F10», откроется окно настройки рендеринга «Render Setup». Выбираем: Renderer: Quicksilver Hardware Renderer, Time Output: Single, Area to Render: Crop, Output Size: 70mm IMAX (cine), 4096x3003. Когда Вы нажмёте «Crop», появится рамочка, изменяя размеры которой (также приближая, отдаляя, вращая модель звезды) Вы выберете зону, визуализацию которой получите после расчёта. Завершив настройки, нажмите «Render» в правом верхнем углу окна «Render Setup», начнётся расчёт.

Откроется новое окно с результатом визуализации. Нажмите «Save Image» сверху слева от изображения, выберите папку, где хотите разметить картинку, в строку «File name» введите имя, например, «Кремлёвская звезда», в строке «Save as type» выберите формат, в котором хотели бы изображение сохранить, например (.png), (.jpg), «OK».

Если сцена получилась тёмная, Вы можете добавить дополнительный источник света.

Для того, чтобы поставить модель в другое положение или провести корректировки для последующей визуализации, нажмите на крестик в правом верхнем углу рамки, внесите все необходимые поправки и снова в окне «Render Setup» нажмите «Crop». С дальнейшим процессом Вы уже знакомы.

Чтобы сохранить саму модель, нажмите «File», «Save as», выберите папку, где будет храниться модель, введите её имя, «Save».

Чтобы экспортировать модель для дальнейшего использования в других программах, например, в DIALux evo (а Вам это пригодится в следующей статье), нажмите «File», «Export», «Export...». Выберите папку, задайте имя и в строке «Save as type» выбираете «3D Studio (*.3ds)», «Save».

Поздравляем, теперь вы научились азам работы в программе 3ds Max 2019 и готовы создавать трёхмерные модели. Однако это была только разминка. В следующем номере нашего журнала Вам предстоит спроектировать освещение созданной вами «Кремлёвской звезды», используя программу DIALux evo.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ СО СВЕТОМ

Профессиональным светотехником становиться ещё рано, но уже хочется попробовать свои силы на поприще науки? Специально для юных учёных мы подготовили несколько светотехнических опытов, которые позволят на практике познакомиться с некоторыми светотехническими законами.

ТАИНСТВЕННОЕ ИСЧЕЗНОВЕНИЕ

Наверняка вы смотрели фильм «Человек-невидимка». Думаете это абсолютная фантастика? Не совсем так. Благодаря одному элементарному эксперименту вы узнаете, как можно сделать предметы невидимыми! Во всяком случае, некоторые.

Возьмите большой стакан из прозрачного бесцветного стекла, маленькую рюмку из аналогичного материала, а также бутылку обычного подсолнечного масла. Положите рюмку в стакан, а затем заполните его маслом. Смотрите, рюмка практически исчезла! Её очертания едва видны в масле.

Как такое могло произойти? Во всём виноват коэффициент преломления света. Это отношение скоростей света в вакууме и в конкретно взятой среде. Мы видим прозрачные предметы, такие как стекло, только благодаря тому, что коэффициент преломления стекла не равен коэффициенту преломления воздуха.

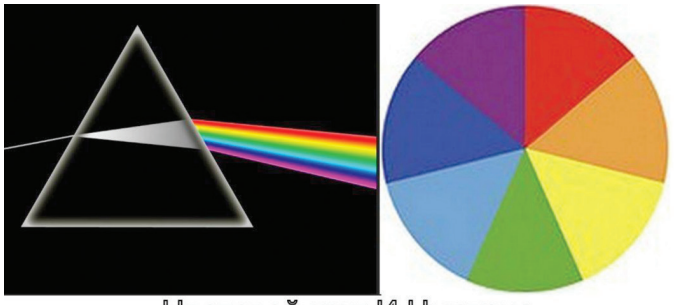
Однако масло и стекло имеют практически идентичный коэффициент преломления света – 1,47 и 1,51 соответственно. Поэтому стекло в масле практически не видно.

РАДУГА НАОБОРОТ

Помните, как образуется радуга? Она появляется, когда луч света преломляется в капельках воды, а затем, возвращаясь к наблюдателю, расщепляется на составные части (цвета) от красного до фиолетового.

Давайте попробуем собрать свет воедино! Для этого нам понадобится сконструировать цветовой круг Исаака Ньютона.

Возьмите вентилятор, кусок картона и цветную бумагу. Для начала сделайте из цветной бумаги круг, состоящий из семи секторов: красного, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого, синего и фиолетового. Наклейте его на круглый кусок картона для жёсткости. Теперь прикрепите круг к вентилятору так, чтобы он вращался вместе с пропеллером.

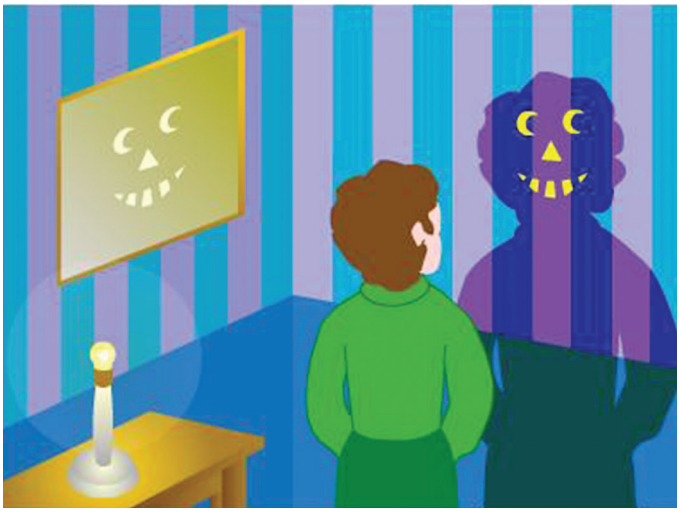


Цветовой круг И.Ньютона

Запустите вентилятор. Видите? При вращении все цвета быстро заменяют друг друга, а свет, отражённый от бумаги, смешивается. Поэтому крутящийся цветовой круг кажется нам белым.

ЯЙЦО – ОБОРОТЕНЬ

Хотите превратить обычное яйцо в серебряное? Этот фокус легко провернуть, используя подручные средства. Зажгите самую обычную свечу, затем возьми куриное яйцо и держите его над пламенем, пока оно не закоптится. Поверхность яйца должна стать бархатно чёрной. Теперь опустите яйцо в прозрачный стакан с чистой водой. Оно должно заблестеть, словно серебряное.



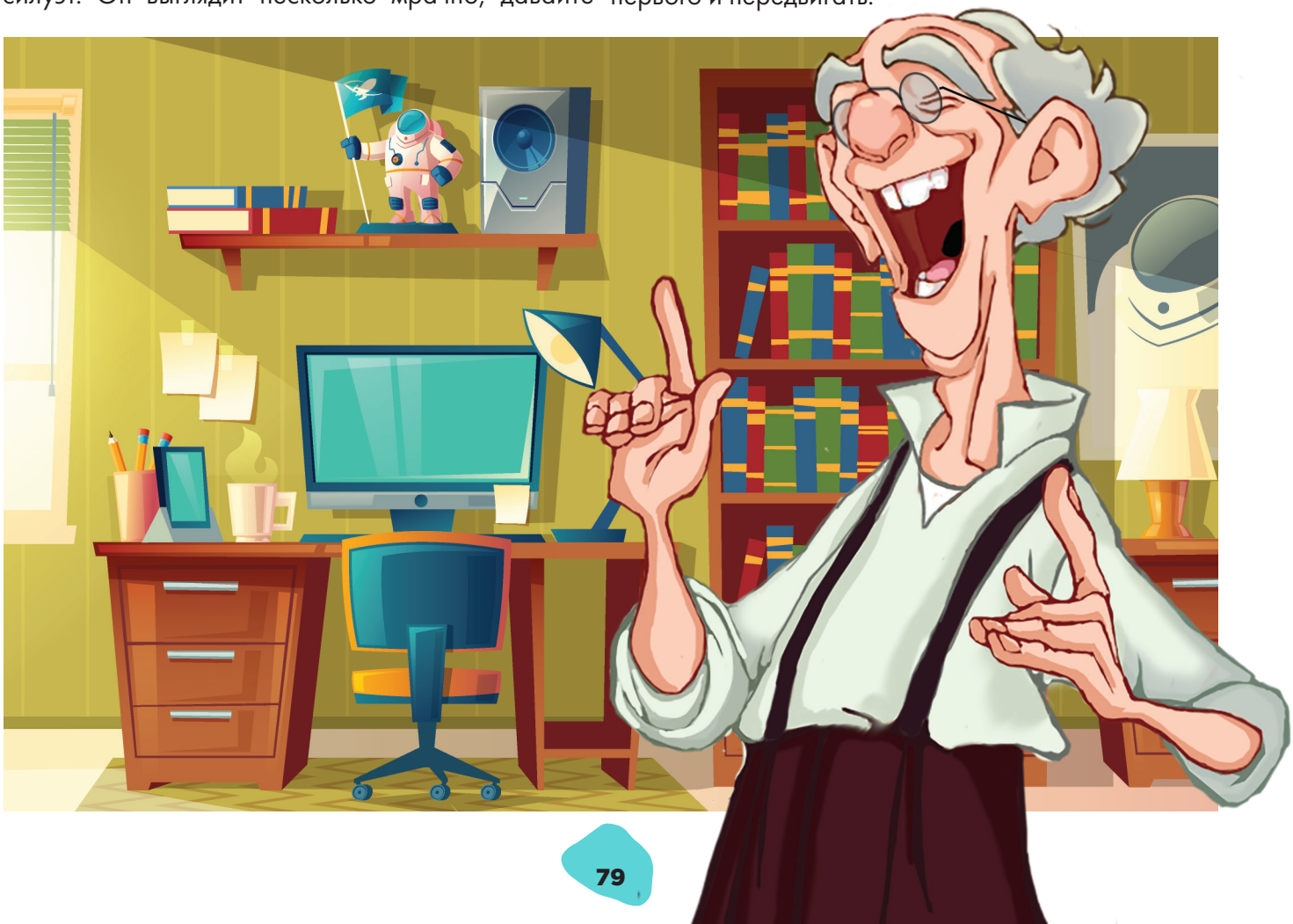
Как получается такой удивительный эффект? Дело в том, что вокруг яйца сформировалась плёнка из мелких частичек копоти, которая плохо смачивается водой. Эта плёнка, как зеркало, отражает лучи света.

ЖИВАЯ ТЕНЬ

После серьёзных научных экспериментов пора немного развеяться. Давайте поиграем с собственной тенью. Сначала встаньте между источником света и стеной. Конечно, на стене появился чёрный силуэт. Он выглядит несколько мрачно, давайте оживим его! Возьмите лист бумаги и вырежьте в нём глаза, нос, и рот.

Теперь встаньте возле стены, где висит зеркало. Установите свечу или лампу таким образом, чтобы «зайчик» от зеркала упал на голову вашей тени. Прикройте листом зеркало. «Физиономия» проявится светлыми пятнами на вашей тени.

Кроме того, можно заставить черты лица тени двигаться. Например, чтобы глаза и рот открывались и закрывались. Для этого потребуется два листа бумаги с разными вырезами. Один нужно закрепить на зеркале, а другой накладывать поверх первого и передвигать.



В ПОГОНЕ ЗА ТЕНЬЮ (СКАЗКА)

Однажды ясным летним утром Светознайка отправился на прогулку. Погода была отличная, и наш герой решил погонять мяч во дворе. Никто из друзей – обычной дворовой ребятни – ещё не вышел на прогулку, и Светознайка в одиночестве наслаждался июньским теплом, пиная мяч на площадке. Вдруг Светознайка стал замечать, что на площадке он не один. Кто-то упорно преследовал его практически повсюду.

Он обернулся и к своему ужасу и изумлению увидел на земле огромный чёрный силуэт человека. Это была гигантская смольно-чёрная фигура! Откуда взялся огромный незнакомец и кем он был Светознайка не знал. Испугавшись таинственного призрака, мальчик бросился бежать в другой конец двора. «Чёрный незнакомец» преследовал его след в след и вот-вот должен был нагнать! Светознайка спрятался за раскидистым деревом, здесь было прохладно и тихо. Он аккуратно выглянул из-за огромного ствола – незнакомца нигде не было. Побег удался!

Отсидевшись под деревом добрый час, Светознайка решил выйти на разведку и покинул укрытие. Стоило ему отойти несколько метров от дерева, как незнакомец вновь пристроился у него за спиной. Но теперь он был не таким огромным, как раньше, – ростом меньше самого Светознайки.

Воодушевившись размерами противника, мальчик попытался прогнать незваного гостя. «Эй, что тебе нужно?» – закричал парень. И тут он заметил удивительную вещь – каждое его движение тёмный незнакомец копировал с поразительной точностью, словно его отражение в зеркале! Светознайка помахал рукой, подпрыгнул, даже станцевал. Все его движения были в точности скопированы. «Кажется, я понял. Это – мой двойник!» – воскликнул Светознайка.

Тут мама позвала Светознайку обедать, прервав общение с незнакомцем. Вернувшись на детскую площадку, около полудня мальчик не обнаружил своего нового бесплотного приятеля вовсе. Светознайка обошёл весь двор, облазил все карусели, детские горки и даже проверил ближайшие кусты. Тёмный силуэт больше не появлялся. Погода окончательно испортилась, и Светознайка вернулся домой, твёрдо решив раскрыть таинственное исчезновение (как, впрочем, и появление незнакомца).

Мама заметила, что Светознайка необычно задумчив, и поинтересовалась, что же случилось. Мальчик поведал матери о неуловимом двойнике и своём намерении раскрыть эту тайну. К огромному удивлению Светознайки мама весело и добродушно рассмеялась и посоветовала ему отправиться к Профессору Люксу.

– Уверена, профессор именно тот, кто нужен для твоего расследования, – весело отметила мама Светознайки.

«Как же я сразу не подумал о профессоре Люксе! Он мне точно поможет!» – решил Светознайка. Следуя мудрому совету, мальчик уже представлял себя и профессора в образе настоящих сыщиков, которые с помощью лупы исследуют «место преступления», собирают улики, снимают отпечатки пальцев подозреваемых и опрашивают бабушек во дворе, которые наверняка видели беглеца. Мальчик ворвался в лабораторию профессора и с порога рассказал о случившемся.

Профессор ошарашил Светознайку ещё больше:

– Светознайка, думаю, мы легко раскроем таинственное исчезновение твоего нового приятеля! Для этого нам понадобится обычный фонарик!

Профессор Люкс выключил свет, задёрнул шторы на окне, достал обычный карманный фонарик и направил на Светознайку. В мгновение ока за спиной мальчика вновь появился силуэт. «Обернись» – сказал профессор Люкс.

Удивлённый Светознайка обнаружил за спиной уже знакомый силуэт!

– Таинственный двойник – это твоя собственная тень! Неужели ты никогда не слышал о ней? Тень появляется в том случае, когда между источником света, например, Солнцем, свечой или лампочкой, и некоторой поверхностью встаёт какое-нибудь препятствие – человек, предмет или облако. Но препятствие должно быть непрозрачным! Лучи света, которые попадают на препятствие от источника, не доходят до поверхности, поэтому часть поверхности остаётся тёмной. Таким образом, на поверхности образуется тёмная копия препятствия, которую мы и называем тенью. Теперь ты разобрался?

– Значит силуэт, преследовавший меня сегодня, – это тень, отброшенная моим собственным телом?

– Именно, Светознайка!

– Но почему же она становилась то карликовой, то гигантской? Ведь я оставался прежним! И куда потом исчезла?

– Справедливый вопрос. Утром и вечером тень достигает гигантских размеров, а к полудню уменьшается до размеров карлика. Это происходит из-за разного угла падения солнечного света на Землю. Именно поэтому, Светознайка, размер твоего «незнакомца» менялся. А исчезла твоя тень просто потому, что Солнце оказалось скрыто густыми облаками. Солнечный свет затерялся в облаках таким образом, что свет на тебя падал от небосвода. Но небосвод имеет огромные размеры, и лучи от него попадали на тебя со всех сторон, поэтому и тень от тебя не образовалась.

Вот и весь секрет твоего преследователя! Дело можно считать закрытым!

– Удивительно, профессор! Это настоящее волшебство!

– Никакой магии, только физика, мой друг! Изучай её и откроешь такую магию, которая неизвестна ни одному сказочнику. А, главное, сам станешь волшебником, как я!

Так маленький Светознайка узнал о повседневном, но удивительном оптическом явлении, как тень.

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Вакуум — пространство, свободное от какого-либо вещества;

Ветрогенератор — устройство для преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию;

Воксель — элемент объёмного изображения, аналог двумерных пикселей;

Выдержка — интервал времени, в течение которого свет падает на плёнку или светочувствительную матрицу;

Галактика — гравитационно-связанная система из звёзд, звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли, тёмной материи, планет;

Градиентная катушка — набор проводов в магните, которые в процессе проведения МРТ позволяют создавать дополнительные магнитные поля, накладывающиеся на главное магнитное поле;

Диафрагма (в фотоаппарате) — входное отверстие объектива;

Излучение Вавилова-Черенкова — свечение, вызываемое в прозрачной среде заряженной частицей, которая движется со скоростью, превышающей фазовую скорость распространения света в этой среде;

Компьютерная томография — диагностический метод визуализации структур тканей и органов, который для получения изображения использует рентгеновское излучение, цифровую реконструкцию данных;

Магнитно-резонансная томография — способ получения изображений для исследования внутренних органов и тканей с использованием явления магнитного резонанса;

Магнитный резонанс — возможность ядер некоторых химических элементов при определённых условиях создавать электрический ток в находящихся рядом проводниках (приёмных катушках);

Негатив — промежуточное обратное изображение объекта, которое используется для получения фотографии (позитива);

Парниковый эффект — удержание рядом газов тепла, исходящего от поверхности Земли;

Пиксель — минимальный элемент любого растрового двумерного изображения;

Правило Тамба — простой способ определения экспозиции в фотографии без использования специальных приборов;

Протон — элементарная частица, имеющая единичный положительный электрический заряд;

Рефрактор — оптический прибор, который используется в кремлёвских звёздах для получения равномерного распределения света по внутренней поверхности;

Световая гантель — два световых импульса, выпущенных одновременно параллельно друг другу;

Светоживопись (светопись) — направление в фотоискусстве, в основе которого лежит принцип фотосъёмки на длительных выдержках перемещаемых источников света;

Светочувствительная матрица — микросхема в фотоаппарате, состоящая из светочувствительных элементов, которые преобразуют упавший на них свет в изображение;

Солнечное затмение — астрономическое явление, возникающее, когда Луна частично или полностью закрывает Солнце от наблюдателей на Земле;

Солнечный ветер — непрерывный поток частиц (протонов, ядер гелия, ионов, электронов), испускаемый внешним слоем Солнца в космос;

Таблицы Рудольфина — таблицы движений планет, составленные Иоганном Кеплером на основании наблюдений Тихо Браге;

Термоядерные реакции — разновидность ядерных реакций, при которых более лёгкие атомы соединяются в тяжёлые за счёт сил теплового движения;

Ультразвуковое исследование (УЗИ) — комплекс различных видов и методик проведения исследований, общей чертой которых является использование ультразвуковых волн определённой частоты и интенсивности;

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;

Циркадный ритм — естественный внутренний процесс, который регулирует цикл сна-бодрствования и повторяется примерно каждые 24 часа;

Экспозиция (в фотографии) — количественная величина результата воздействия освещения на светочувствительный материал;

Ядерный реактор — устройство, предназначенное для организации управляемой, самоподдерживающейся цепной реакции деления, которая всегда сопровождается выделением энергии;

Ячейка Керра — устройство, основанное на возникновении под действием электрического поля в оптически изотропных средах (то есть в средах, в которых свойства не зависят от направления распространения поля) двойного лучепреломления.

Международная светотехническая корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

www.galad.ru

Чтоб в искусство восприятье жизнь вдохнуть
Из Лихославля начинает свет свой путь!

ООО "ЛЗСИ"
171210, Тверская область, г. Лихославль,
ул. Первомайская, 51

+7(48-261) 3-59-04

Международная светотехническая корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

www.opora-e.com

На изящных опорах брезжит свет
Дорога в памяти оставит яркий след!

ООО "ОПОРА ИНЖИНИРИНГ"
300057, г. Тула, ул. Железнодорожная, 56А
129626, г. Москва, пр. Мира, 106

+7 (495) 785-37-40
+7 (495) 742-09-08