

Борис Булюбаш

Голубое небо Джона Тиндаля

*Я только верю в голубую
Недосягаемую твердь,
Всегда единую, простую
И непонятную, как смерть.*
Дмитрий Мережковский, 1894 г.

*«Когда я смотрю на небо, оно кажется таким глубоким,
таким мирным, полным такой таинственной
Нежности, что я мог бы лежать веками и ждать появления
светлого лица Господа из этого величественного добросердечия»*
Джордж Макдональд, шотландский поэт, 1868г.

Синий цвет и голубое небо в истории культуры

«Непонятная и недосягаемая твердь» – таким видел голубое небо в 1894 г. русский поэт и писатель Дмитрий Мережковский. Со стремительным развитием воздухоплавания вопрос досягаемости был снят... что же касается «понимания», то Мережковский был не в курсе дела: во второй половине XIX столетия усилиями английских физиков Джона Тиндаля и Уильяма Стретта (лорд Рэлей)¹ наука существенно продвинулась в объяснении цвета безоблачного неба.

В разные исторические эпохи поэты и художники, философы и люди науки воспринимали голубое небо по-разному. Так, в античности понятие цвета кардинально отличалось от современного. Для древних греков цвет был отражением духа, в то время как в физике, начиная с 19 столетия, с конкретным цветом соотносилась вполне конкретная длина волны. Кроме того, в Древней Греции Земля противопоставлялась небу; это означало, что описывать происходящее на небе на «земном» языке было недопустимо.

При всем том вопрос о том, почему небо голубое, по мнению Аристотеля², одного из величайших представителей античной науки, заслуживал несомненного внимания. В целом до 19 века было сделано несколько попыток ответить на этот вопрос.

¹ Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей (1842 - 1919) – английский физик, член Лондонского королевского общества, в 1905- 1908 г. его президент. Совместно с У. Рамзаем открыл аргон. Установил соотношение между групповой и фазовой скоростью. Вывел закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела.

² Аристотель (384-322 гг. до н.э.) – древнегреческий философ. Построил философию природы, определявшую развитие естественных наук до XVII в. Разработал концепцию четырех причин возникновения и изменения вещей. Предложил первую классификацию живых существ.

Так, живший в 9 веке натурфилософ Аль-Кинди³ считал, что понятие цвета применимо только к твердым и осязаемым веществам (вспомним твердь Мережковского) Воздух не твердый, а если он имеет цвет, то вследствие присутствия в нем твердых вкраплений.

В эпоху Возрождения Леонардо да Винчи⁴ описывал голубой цвет неба как результат смешения отраженного атмосферой белого света и черноты космоса.

В 1704 г. Исаак Ньютон⁵ предположил, что свет, проходящий через капли воды, «будет давать голубой цвет первого порядка»; Ньютон отождествлял его с «превосходным синим цветом яркого неба». Этот цвет является тем (ближайшим к центральному) темному пятну в „кольцах Ньютона“ голубым цветом, который может возникнуть благодаря интерференции. Ньютон ошибался, но в силу его авторитета предложенное им объяснение считалось правильным более полутора столетий. Заметим, что синий цвет (индиго) и оранжевый были включены в число спектральных цветов Ньютоном – судя по всему, для аналогии с музыкальной шкалой.

В 1847 г. Рудольф Клаузиус⁶, разделяя в целом взгляды Ньютона, предложил усовершенствовать его теорию. Согласно расчетам Клаузиуса, облако, состоящее из капелек малого размера, должно весьма сильно увеличивать видимые размеры небесных светил. Клаузиус показал, что можно избежать этих затруднений, если вместо предполагаемых Ньютоном малых капель исходить из представления о тонкостенных пузырьках большого радиуса. Свет атмосферы – это свет, отраженный от мелких пузырьков. В случае тонких стенок пузырьков в результате интерференции будет наблюдаться голубая окраска.

³ Абу Юсуф Якуб ибн Исхак ибн ас-Сабах аль-Кинди (конец VIII в. – около 870) – средневековый философ, ученый-энциклопедист. Автор около 300 сочинений, затрагивавших практически все области научного и философского знания того времени. Аль-Кинди активно участвовал в осуществлении переводов Аристотеля, был первым арабским теоретиком музыки. Современники называли его «Философом арабов».

⁴ Леонардо да Винчи (1452 – 1519) – итальянский художник и ученый, изобретатель, писатель, музыкант. Символ эпохи Возрождения. Автор самой известной в мире картины - Моны Лизы (Джоконды). Его имя связывают с изобретением велосипеда, парашюта, катапульты, прожектора.

⁵ Исаак Ньютон (1643 - 1727) – английский физик и математик, член Лондонского королевского общества, с 1703 г. его президент. Сформулировал основные законы классической механики, заложил основы физической оптики, открыл закон всемирного тяготения. Автор «Математических начал натуральной философии» - одной из «главных» книг в истории мировой науки. Автор теологических исследований. Исаак Ньютон - один из величайших ученых в истории цивилизации.

⁶ Рудольф Юлиус Эмануэль Клаузиус (1822 - 1888) – немецкий физик, член-корреспондент Берлинской Академии наук. Автор одной из формулировок второго закона термодинамики. Ввел понятие энтропии, получил уравнение, связывающее температуру плавления вещества с давлением. Разработал теорию поляризации диэлектриков

Вслед за Клаузиусом голубизну неба пытался объяснить немецкий физиолог Эрнст Вильгельм фон Брюке⁷. Предметом его исследований были так называемые мутные среды⁸. Он, в частности, подтвердил наблюдения Гёте⁹, что на темном фоне мутные среды должны казаться голубыми. Брюке считал, что свет отражается от посторонних частиц в атмосфере и что голубизна неба связана с цветами мутных сред.

Так вкратце выглядит история вопроса, к изучению которого приступил Тиндаль в 1868 году.

Автор книги «Искусство и физика» Леонард Шлейн замечает, что в 19 веке отношение художников к голубому цвету существенно изменилось. Так, в начале Возрождения итальянские художники изображали небо в сакральных цветах: в их картинах оно было, как правило, золотым. Первым художником, нарисовавшим небо голубым, был Джотто¹⁰. Он, однако, был исключением. Так, сэр Джошуа Рейнольдс¹¹ считал, что использование синего цвета должно быть ограничено небом, водой и задним планом. Его главный соперник Гейнсборо¹² в ответ на это нарочно написал картину Голубой мальчик (1770 г.)

Рассказывая о неуклонном росте популярности голубого цвета, Шлейн замечает, что «только в наиболее сформировавшихся языках (и, соответственно, в наиболее развитых обществах) появлялось отдельное слово для обозначения синего цвета». Шлейн считает, что до 19 века «главным» цветом художников был красный (символ энергии) и что ситуацию изменила с появлением импрессионистов, «обнаруживших волнующую тайну синего цвета». По словам Шлейна, к концу века синий цвет стал основным почти у всех художников, а новый

⁷ Эрнст Вильгельм фон Брюке (1819 - 1892) – немецкий физиолог и педагог, член Венской Академии наук. Наиболее известен работами по физиологии речи. Оказал большое влияние на З. Фрейда, в частности натолкнув его на теорию психодинамики.

⁸ Мутные среды – среды с оптическими неоднородностями, на которых происходит рассеяние света. Примеры мутных сред: дым, туман, эмульсии. Рассеяние света мутной средой называется рассеянием Тиндаля.

⁹ Иоганн Вольфганг Гёте (1749—1832) – немецкий поэт, драматург и естествоиспытатель. Наибольшую известность получила его трагедия «Фауст». Опубликовал ряд работ по биологии и физике.

¹⁰ Джотто ди Бондоне (1266 – 1337) — итальянский живописец и архитектор XIV века. Ключевая фигура в истории западноевропейского искусства. В работах Джотто двухмерное пространство иконы сменилось на трёхмерное; иллюзия глубины при этом создавалась за счет использования светотени. Славу Джотто связывают с прекрасными человеческими фигурами, с их стройностью и лёгкостью

¹¹ Сэр Джошуа Рейнольдс (1723 - 1792) английский живописец, теоретик искусства.

Основатель и первый президент (1768 - 1792). Королевской академии искусств. Инициатор первых публичных художественных выставок в Лондоне. Основатель школы английского парадного портрета.

¹² Томас Гейнсборо (1727 - 1788) английский живописец, один из учредителей королевской Академии художеств. Особенно прославился портретами и пейзажами.

период в творчестве Пикассо¹³, начавшийся в 1901 г., вообще получил название «голубого».

В том же столетии тема цвета заявила о себе в физике. И хотя она была представлена еще в оптических работах Ньютона, в XIX веке у нее появилось новое измерение, связанное с цветами спектральных линий. В 1859 г. были опубликованы работы Кирхгофа¹⁴ и Бунзена¹⁵, показавших, что цветовое разнообразие спектров отражает разнообразие в химическом составе веществ. В физике появилось новое направление исследований – спектральный анализ. Таким образом, намерение Тиндаля выяснить, почему небо голубое, вписывалось в актуальный интерес физиков XIX столетия к физике цвета.

Искусственное небо в подвале Королевского института

12 сентября 1868 г. профессор Королевского института в Лондоне Джон Тиндаль приступает к сооружению в институтской лаборатории «искусственного неба» – установки для моделирования процессов в атмосфере Земли. Границами «искусственного неба» были стенки стеклянной трубки метровой длины и диаметром 7 см; в трубку поместили раствор амилнитрита и заполнили очищенным и высушенным воздухом. Затем Тиндаль направил луч света (солнечного или электрического) на образовавшийся в трубке «фотохимический смог».

Меньше чем через месяц после начала экспериментов Тиндаль сделал первое открытие: обнаружил, что частицы пыли, которые он удалял из подлежащего исследованию газа или пара до его помещения в трубку, могут гореть. Тиндаль считает, что это свидетельствует об органическом происхождении пылинок. Опыт очистки воздуха от органических загрязнителей пригодится Тиндалю в период его сотрудничества с Луи Пастером.

Еще через несколько дней произошло главное событие: в искусственном небе появилось голубое облако; время его жизни составляло несколько минут, после чего облако становилось белым.

Анализируя это явление, Тиндаль предположил, что в «фотохимическом смоге» присутствуют мелкие частицы, размеры

¹³ Пабло Руис-и-Пикассо (1881 - 1973) – испанский и французский художник. Создатель кубизма (трёхмерное тело изображается как ряд совмещённых воедино плоскостей). Создал около 20000 работ, в том числе ряд скульптур. По некоторым оценкам, самый дорогой художник XX столетия.

¹⁴ Густав Роберт Кирхгоф (1824 - 1887) – немецкий физик, член Берлинской Академии наук. Обнаружил закономерности в протекании электрического тока по разветвленным проводникам (правила Кирхгофа). Совместно с Р. Бунзеном открыл химические элементы цезий и рубидий. Автор закона, согласно которому отношение испускательной и поглощательной способности нагретого тела не зависит от природы тела (закон Кирхгофа).

¹⁵ Роберт Вильгельм Бунзен (1811 - 1899) -немецкий химик. Совместно с Кирхгофом является основоположником спектрального анализа. Открыл химические элементы Рубидий и Цезий. Открыл противоядие при отравлении мышьяком.

которых во много раз меньше длин волн видимого света. В атмосфере Земли такими частицами могут быть пылинки и частицы водяного пара. При этом Тиндаль не склонен к немедленным публичным заявлениям о достигнутом им успехе и пока еще не вполне уверен, что ему действительно удалось моделировать в земной лаборатории процесс окрашивания неба в голубой цвет.

В Лондонском королевском обществе первое сообщение о своих экспериментах Тиндаль делает 24 октября 1868 г. В названии доклада – «О новой серии химических реакций, вызванных светом» – голубое небо не упоминается; фактически и доклад, и соответствующая статья преследует одну цель: на всякий случай закрепить приоритет.

Поддержка Стокса и Гершеля

2 декабря 1868 Тиндаль пишет письма своим коллегам и друзьям, в том числе Джорджу Стоксу¹⁶ и Джону Гершелю¹⁷. В письме Стоксу Тиндаль рассказывает о своих наблюдениях за окраской свежеснеженного снега: проделанная в снегу лунка отсвечивала голубизной. Тиндаль уверен, что этот эффект связан с многочисленными отражениями света на границах снежинок. Он считает, что те же процессы происходят со светом, который достигает наших глаз после многократных отражений от неоднородностей в воздухе. Тиндаль явно нуждается в экспертной оценке своего эксперимента и просит Стокса оценить и сам эксперимент, и свою гипотезу о частицах, ответственных за рассеяние световых волн.

Стокс дает высокую оценку и эксперименту, и гипотезе, отмечая необходимость опубликовать полученные результаты. Стокс обращает внимание Тиндаля на предшественников. Похожие предположения о происхождении голубого цвета неба были выдвинуты Роско¹⁸ на сессиях в Королевском институте в 1866 г.

Подробное описание своих экспериментов Тиндаль отправляет также Джону Гершелю, рассказывая о возникновении голубого облака и о его неустойчивости.

¹⁶ Джордж Габриэль Стокс (1819 - 1903) - английский физик и математик, член и президент (1885-1890) Лондонского королевского общества. Вывел уравнение движения вязкой жидкости, установил зависимость частоты флюоресценций от частоты возбуждающего света. Получил значительные результаты в векторном анализе и в теории определенных интегралов.

¹⁷ Джон Фредерик Уильям Гершель (1792 - 1871) - английский астроном, математик и химик, член Лондонского королевского общества. Полимат. Сын Уильяма Гершеля. Обнаружил более 2000 двойных звезд, составил каталог туманностей. Внес большой вклад в развитие фотографии. Обнаружил способность гипосульфата закреплять фотографическое изображение.

¹⁸ Генри Энфилд Роско (1833 - 1915) — английский химик, член Лондонского королевского общества. Изучал свойства ванадия и его соединений. Впервые использовал вспышку в фотографии. Соавтор закона Бунзена-Роско (произведение интенсивности воздействия на зрение и длительности этого воздействия есть величина постоянная).

А 14 января 1869 г. Тиндаль представляет Королевскому обществу второй доклад о своих экспериментах. На этот раз он уверен в полученном результате; доклад называется «О голубом цвете неба и поляризации света». Название доклада ясно информировало об актуальности цели исследования.

Частицы «небесной материи»

В январском докладе Тиндаль ссылается на работы Роско и Клаузиуса (связывавшего голубую окраску неба с отражениями света от пузырьков воды). Свои эксперименты с искусственным небом он рассматривает как успех: в условиях лаборатории ему удалось воспроизвести процесс, отвечающий за возникновение голубой окраски неба в земной атмосфере. В докладе (и соответствующей статье) Тиндаль развивает свою гипотезу о рассеянии света на частицах «небесной материи» с размерами которых много меньше длины волны видимого света. Такими частицами могут быть пылинки и частицы водяного пара. Тиндаль даже допускал, что это могут быть микроорганизмы, а сэр Оливер Лодж¹⁹ предположил, что речь идет о метеоритной пыли. Предположение Лоджа основывалось на имевшейся информации о числе падающих на Землю ежегодно метеоритов равном $7,3 \cdot 10^9$.

Солнечный свет представляет собой «смесь» разных цветов (волн разной длины). Тиндаль предполагает, что волны наименьшей длины (т.е. сине-фиолетовая часть спектра) рассеиваются на упомянутых выше частицах сильнее волн наибольшей длины (красная граница спектра). Предположение Тиндаля было совсем неочевидным и его нужно было как-то обосновать. О теоретическом доказательстве речь не шла, а эксперимент с частицами, невидимыми в микроскоп, был по определению невозможен. Ситуацию спасло воображение (для Тиндаля воображение было важным понятием методологии науки). Помимо воображения Тиндаль использует аналогию между упругими волнами в световом эфире и волнами на воде.

Мысленный эксперимент с волнами эфира

В широко известной статье «О пользе воображения в области науки» Тиндаль в качестве примера использования воображения

¹⁹ Оливер Лодж (1851 - 1940) – английский физик, член Лондонского королевского общества. Доказал, что при разряде Лейденской банки вдоль провода распространяется электромагнитная волна. Получил несколько патентов на ранних этапах развития радио. В 1894 г. на заседании Королевского института в Лондоне продемонстрировал распространение радиоволн. Был одним из энтузиастов спиритических сеансов в Англии.

описывает мысленный эксперимент, в котором волны на воде взаимодействуют с препятствиями разных размеров. Для Тиндаля это единственная возможность обосновать свою гипотезу о преимущественном рассеянии коротких волн на невидимых частицах. Детали этого «эксперимента» Тиндаль представил, в частности, в одной из лекций цикла научно-популярных лекций, с большим успехом прочитанных им в 1870 г. в США.

Тиндаль писал: *«Большая прибрежная скала одинаково легко отражает как громадные волны Атлантического океана, так и небольшую зыбь, вызванную прикосновением крыла чайки; так при большой отражающей поверхности разница в длине эфирных волн тоже пропадает. Но предположим», теперь, что отражающие частицы не будут так велики по сравнению с величиною волн, а напротив., будут очень малы. Тогда уже, в с я волна не встретится с препятствием; а только небольшая часть отделится при. встрече с препятствием. Предположим затем, что посторонние частицы таких маленьких размеров рассеяны в воздухе. Па них падают волны всевозможных величин и при каждом столкновении часть падающих волн отражается. ...чем меньше будет волна, тем больше будет в сравнении с нею величина частицы, на которую она падает, тем сравнительно больше будет отражение.*

Когда солнечный свет рассеивается этими- маленькими частицами, тогда больше всего окажется маленьких волн: поэтому преобладающим цветом в рассеянном свете будет синий. Остальные цвета спектра также должны примешиваться к синему они все налицо, но только они гораздо слабее. Сила их постепенно убывает от фиолетового к красному.

Рассеяние света: современный взгляд

Взаимодействие световой волны с веществом сводится к действию электромагнитного поля волны на электрические заряды; ускоренно движущиеся заряды становятся источниками электромагнитного излучения той же частоты; это излучение распространяется во всех направлениях. Именно такой процесс в современной физике называется рассеянием света. Если бы рассеяния не существовало, то звезды были бы яркими, а фоном для них было бы черное небо. Именно такая картина раскрывается для наблюдателя из космического корабля.

Такой же наблюдатель, находящийся на Земле, увидит свет Солнца обедненным за счет рассеяния в атмосфере значительной доли солнечного излучения. Доля эта тем больше, чем меньше длина волны. Рассеянный атмосферой свет обогащен короткими волнами, именно поэтому земной наблюдатель видит небо голубым. Проходящий свет обеднен короткими

волнами; на закате и на рассвете эта обедненность усиливается, поскольку свет Солнца проходит в атмосфере Земли существенно большее расстояние. Соответственно мы видим Солнце красным.

Из спектральных цветов наименьшую длину имеет фиолетовый. Согласно закону Рэля интенсивность рассеяния именно этого цвета максимальна. Однако глаз человека наиболее чувствителен к голубому и именно поэтому небо голубое.

Концепция маленьких частиц позволяет Тиндалю легко объяснить превращение облака из голубого в белое. Тиндаль связывает с увеличением размера частиц; они слипаются, их размеры возрастают и условие малости перестает выполняться. Соответственно исчезает различие в рассеянии световых волн разной длины. Голубой свет и красный рассеиваются одинаково.

От Тиндаля к Эйнштейну

Академик Г.С. Ландсберг²⁰: «Казалось, что голубой цвет неба можно объяснить явлением рассеяния света на пылинках, однако опыты показали, что это не так, ибо и в чистой атмосфере, лишенной пыли (высокогорные обсерватории) наблюдается еще более насыщенная голубизна неба и поляризация его света. Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования показали, что все эти эффекты объясняются «молекулярным рассеянием в воздухе».

Упомянув об этом, Ландсберг имеет в виду прежде всего работы Рэля, Мандельштама²¹, Смолуховского²² и Эйнштейна.

Уже через два года после экспериментов Тиндаля английский физик Джон Рэлей проанализировал ситуацию и предположил, что рассеяние света происходит на частицах соли. В это время он, как и Тиндаль, представлял свет упругими волнами в эфире. В 1898 – уже в рамках электромагнитной теории света – Рэлей возвращается к этой теме и решает задачу о рассеянии электромагнитных волн на сферических частицах с размерами, много меньшими длины волны видимого света. В итоге он получил зависимость интенсивности рассеянного света от угла

²⁰ Григорий Самуилович Ландсберг (1890 - 1957) – советский физик, академик. Совместно с Л.И. Мандельштамом открыл комбинационное рассеяние света, доказал существование молекулярного рассеяния в кристаллах кварца. Широкую известность получили его учебные пособия, прежде всего «Элементарный учебник физики» (в трех томах), а также «Оптика».

²¹ Леонид Исаакович Мандельштам (1879 - 1944) – советский физик, академик. Совместно с Г.С. Ландсбергом открыл комбинационное рассеяние света. Вместе с М.А. Леонтовичем разработал теорию прохождения частицы через потенциальный барьер. Совместно с Н.Д. Папалекси заложил основы теории нелинейных колебаний.

²² Мариан Смолуховский (1872 - 1917) – польский физик. Создал теорию броуновского движения. Благодаря построенной им теории термодинамических флуктуаций был, в частности, поставлен вопрос о границах применимости второго закона термодинамики и, соответственно, о справедливости гипотезы тепловой смерти Вселенной.

рассеяния и длины волны. Интенсивность оказалась обратно пропорциональной четвертой степени длины волны. Это означает, что сине-фиолетовая часть солнечного света рассеивается примерно в 7 раз сильнее красно-желтой части. Рэлей пришел к выводу, что Тиндаль неправ, и рассеяние в атмосфере Земли связано не с мелкими частицами пыли, а с молекулами воздуха. В 1907 г. Леонид Мандельштам установил, что рассеяние света имеет место также и в средах, которые не являются мутными – т.е. не содержит загрязнений и примесей. Такое рассеяние принято называть молекулярным.

В 1908 г. Мариан Смолуховский предположил, что в этом случае рассеяние света может быть обусловлено флуктуациями плотности. Это означает, что в среде существуют также и флуктуации показателя преломления, т.е. среда является оптически неоднородной.

Свою гипотезу Смолуховский подтвердил экспериментально (он относился к редкой категории физиков, в равной степени успешных как в теории, так и в эксперименте). Смолуховский пропустил луч света большой интенсивности через тщательно профильтрованный воздух; в результате воздух приобретал голубую окраску.

Основываясь на том, что свет рассеивается на тепловых флуктуациях²³ показателя преломления среды, Альберт Эйнштейн²⁴ в 1910 г. создал количественную теорию рассеяния света, которая в частном случае приводит к формуле Рэля. В 1911 г. в переписке Эйнштейна и Смолуховского вопрос о природе голубого цвета неба упоминается как решенный. Добавим к этому, что Смолуховский планировал продолжить эксперименты с получением голубого света – то есть на новом уровне повторить сделанное Тиндалем.

В истории объяснения голубого цвета неба эксперименты Тиндаля занимают свое уникальное место: они впервые выявили особенности рассеяния света в мутной среде. За голубизну неба рассеяние Тиндаля не отвечает, зато именно оно «делает» глаза голубыми. Тиндаль знал об этом; он упоминает Гельмгольца²⁵, «безжалостно приписывающего синий цвет глаз их мутности». Что имеется в виду? В радужной оболочке голубых глаз в небольшом количестве присутствует пигмент меланин (в виде частиц диаметром 0,6 мкм). Более короткие волны синей части диапазона рассеиваются на этих частицах (а также на коллагеновых волокнах) и

²³ Флуктуации – самопроизвольные отклонения физической величины от среднего значения.

²⁴ Альберт Эйнштейн (1879- 1955) – физик-теоретик, одна из ключевых фигур современной физики. Автор специальной и общей теории относительности. Создал теорию фотоэффекта и квантовую теорию теплоемкостей твердых тел. Разработал теоретическое описание броуновского движения. Работы Эйнштейна в том числе изменили наши представления о пространстве и времени.

²⁵ Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821 - 1894) – немецкий естествоиспытатель, член Берлинской АН. Один из трех авторов закона сохранения энергии. Разработал термодинамическую теорию химических процессов, создал первый колебательный контур. Впервые измерил скорость распространения нервного возбуждения.

попадают обратно в атмосферу. Более длинные волны красной части диапазона проходят через сетчатку.

Неустойчивость «небесной материи»

В 2006 г. *European Journal of Physics* опубликовал статью Питера Песича, показавшего, что взвешенные в атмосфере капли воды являются неустойчивой системой. Питер Песич - директор научного института Колледжа Святого Джона в Санта Фе - автор книги «Небо в бутылке», целиком посвященной работам Тиндаля вокруг проблемы голубого неба. Основываясь на оценках Тиндаля, показавшего, что размер гипотетических капель воды составляет 0,1 мкм. Песич рассчитывает время падения капель на Землю. По его оценкам, в процессе падения капли достигнут максимальной скорости 2,1 мкм/с. При высоте атмосферы $h = 8$ км за 120 лет все капли упали бы на Землю.

Есть и другие причины неустойчивости «небесной материи». Во-первых, маленькие капли быстро испаряются. Во-вторых, они могут сливаться в крупные капли (коагулировать), а такие капли будут падать еще быстрее. По мнению Песича, Тиндаль «видел серьезные трудности вокруг своей гипотезы и именно поэтому предположил, что «небесная материя» представляет собой не воду, а «органические частицы». Если же принять гипотезу Рэля о том, что речь идет не каплях воды и не об «органических частицах», а о частицах соли, то мы получим еще большую скорость падения и еще меньшее время жизни (порядка 50 лет). В случае же метеоритной пыли это время составляет уже 15 лет.

И Рэлей и Лодж считали, что убыль частиц может компенсироваться: в случае Рэля испарением из океанов, а в случае Лоджа новыми метеоритами. По оценкам Песича метеорная пыль может составлять 100 тысяч кубометров в год.

Тиндаль и Рёскин

Во второй половине XIX столетия в Великобритании происходили перемены во взаимоотношениях науки и общества: стремительно рос авторитет точных наук и это беспокоило представителей наук гуманитарных. Джон Рёскин писал в 1875 г. «Есть наука о морали, наука об истории, наука о грамматике, наука о музыке и наука о живописи, и это совершенно несравненно более высокие области человеческого интеллекта, и они требуют большей точности и более тщательного наблюдения, чем химия, электричество (*electricity*) или геология».

Рёскин, выдающийся представитель гуманитарного знания (история искусства), активно интересовался экспериментами Джона Тиндаля. Критикуя Тиндаля, он по мере сил противодействовал неоправданному возвышению точных наук. Новый предмет исследования физика Тиндаля

– голубое небо – был значимой темой и для науки о живописи и для науки о морали (в той мере, в какой к ней можно отнести психологию научного исследования). Но это только одна из причин интереса Джона Рёскина к экспериментам Джона Тиндаля. Была у этого интереса и причина не научная. В молодости Рёскин изучал геологию; благодаря дружеским отношениям с профессором Форбсом²⁶ он в деталях был осведомлен о его дискуссии с Тиндалем вокруг вопроса о движении ледников... Неприязнь к Тиндалю в связи с его не вполне джентльменской манерой поведения в дискуссии осталась с Рёскиным на всю жизнь.

Напомним: в создании голубого цвета неба Тиндал ключевую роль отводил частицам пыли и водяного пара. В связи с этим Рёскин недоумевает: как молекула воды, прозрачность которой следует из прозрачности неба, в то же самое время может быть ответственна за его голубизну? Еще одно слабое место в концепции Тиндаля Рёскин увидел в противоречии: в горах запыленность атмосферы и концентрация водяного пара была существенно меньше, чем на уровне моря, а голубизна неба была при этом существенно более выражена. Последнее замечание Рёскина вполне соответствует тем данным обсерваторий, о которых упоминал Ландсберг (и которые были признаны научным сообществом убедительными аргументами «против» концепции голубого неба «по Тиндалю»).

С точки зрения Рёскина, голубизна неба порождается не взвешенными в нем частицами, но «самим разделенным воздухом». Интуиция полимата²⁷ подсказала Рёскину правильный ответ, поскольку физика в итоге от концепции частиц, на которых рассеиваются световые волны, физика в итоге отказалась.

Голубое небо для Рёскина – источник человеческой силы и мудрости; а его символ – голубые глаза богини Афины Паллады: «всякий раз, когда вы широко распахиваете окно утром, вы впускаете Афину, как мудрость и свежий воздух в одно и то же мгновение; и всякий раз, когда вы вдыхаете чистый, долгий, полный вдох истинного неба, вы вбираете Афину в свое сердце, через свою кровь; и, с кровью, в мысли своего мозга».

Рёскин подчеркивает в своей книге «Современные художники», что «голубизна неба – это цвет чистого атмосферного воздуха без паров воды, цвет смеси чистого кислорода и азота. Это целостный цвет всего воздуха

²⁶ Джеймс Дэвид Форбс (1809-1868) – шотландский физик и гляциолог, член Лондонского королевского общества. Изучал движение ледников, свойства теплового излучения, в частности его поляризацию. Известен также измерении температуры Земли на разных глубинах и температуры кипения воды на разных высотах

²⁷ Полимаст – ученый, внесший оригинальный вклад в несколько разных областей интеллектуальной деятельности. В окружении Тиндаля было несколько полимастов: Джон Гершель, Гербер Спенсер, Чарльз Дарвин.

между нами и пустотой космоса (It is the total color of the whole mass of that air between us and the void of space)). Рёскин называет художника, на картинах которого мы видим именно такое небо. Это Уильям Тернер²⁸. Историк науки Питер Песич пишет в связи с этим об инсайте Тернера и о косвенном влиянии его живописи на формирование концепции Тиндаля.

На рассказы Тиндаля об «искусственном небе» и на его высказывания о том, что голубизна появляющегося облака не уступает голубизне итальянского неба, Рёскин реагирует резко. Явно иронически Рёскин называет эксперименты Тиндаля «волшебством высшего сорта», а «Яркие голубые глаза Афины» называет «точным мифическим выражением природных явлений, открытие которых является величайшим триумфом современной науки.

Заметим, что Рёскин был неравнодушен к синему цвету: это был цвет его глаз и галстука, а также цвет, в который он покрасил свою лодку.

Обсуждая эксперименты и гипотезы Тиндаля, Рёскин способствовал сближению точного и гуманитарного знания. Самим фактом своей критики Тиндаля он демонстрировал существование единых для гуманитарного и естественнонаучного знания ценностей научного исследования. При всем том Тиндаля отличала широта взглядов. Так, он не видел ничего плохого в обсуждении человеческой души – при условии, что участники обсуждения не считают ее научным понятием. «Метафизика будет приветствоваться, когда она откажется от своих претензий на научное открытие и согласится быть причисленной к виду поэзии».

Для Тиндаля образ человека науки предполагал уважение к искусству, не уступающее страсти к науке. Он чувствовал, что для настоящего ученого успех научного исследования обеспечивается не только интеллектом, но также и воображением.

Образ невидимых частиц – центров рассеяния световых волн, а также объяснение этого рассеяния на примере волн на воде могут быть признаны только с помощью воображения. Воображение в представлении Тиндаля предполагало переход от пылинок к частицам, находящимся далеко за пределами возможностей микроскопа. Для Рёскина же использование воображения было ограничено исключительно масштабами, определяемыми нашими органами чувств. Что же касается микроскопа, то Рёскин только однажды пригласил своих читателей его использовать: нужно было разобраться в строении птичьего пера, чтобы лучше его нарисовать. Использование микроскопа он при этом называл «мучительной помощью». Подобные инструменты были для него

²⁸ Джозеф Мэллорд Уильям Тёрнер, также Тёрнер (1775 -1851) — английский художник, известен своими романтическими пейзажами, акварелями и гравюрами. Предтеча французских импрессионистов.

символами технологического прогресса, который по мнению Рёскина, сопровождался моральным регрессом.

Биограф Тиндаля Рональд Джексон пишет: «очень жаль, что Рёскин и Тиндаль не поладили. Тиндаль как представитель точных наук вполне мог бы поддержать Рёскина, неоднократно заявлявшего об угрожающем земной цивилизации росте промышленной активности. Опыт физика – экспериментатора Джона Тиндаля вполне мог быть использован для изучения последствий сжигания ископаемых видов топлива».

Однако история не знает сослагательного наклонения...

Цвет Солнечной короны и цвет воды в Женевском озере

24 декабря 1870 г. в некоторых районах Земли можно было наблюдать полное солнечное затмение. «Устройство Солнца» входило в сферу интересов Тиндаля. Напомним, что после опубликования работ Кирхгофа в 1861 г. и появления спектрального анализа как самостоятельного раздела физики появилась возможным удаленно выяснить химический состав Солнца. В активе Тиндаля имеется опубликованная в 1861 г. статья «О физических основаниях химии Солнца». Спустя девять лет Тиндаль заинтересовалась солнечная корона, а если быть точным, ее цвет. Его гипотеза на этот счет была предсказуемой: за цвет короны отвечают имеющиеся в ней частицы солнечной пыли. Гипотеза не имела отношения к действительности, но в силу ряда обстоятельств Тиндалю было не суждено в этом убедиться: в момент затмения Солнце оказалось закрыто облаками.

Тиндаль не склонен был терять время и использовал свое участие в экспедиции для исследования цвета морской воды. По дороге из Гибралтара в Спидхед Тиндаль делает 19 остановок; на каждой остановке он берет образцы морской воды. Цвет воды был самым разным: от темно-синего до желто – зеленого. Вернувшись в Лондон, он обнаружил, что для более чистой воды характерна темно-синяя окраска; для менее чистой – желто-зеленая.

В октябрьском выпуске журнала Nature за 1870 год Тиндаль публикует статью «О цвете воды в Женевском озере и в Средиземном море». А 20 января 1871 года в Королевском институте он рассказывает «О цвете воды и о рассеянии света в воде и воздухе»

Располагая образцами питьевой воды из разных мест, удалось показать, что в воде присутствуют частицы, размеры которых не позволяют увидеть их в микроскоп. Однако они становятся видимыми в световом луче; Тиндаль не сомневался, что, если из образцов воды изъять «соринки», то ее голубая окраска тоже исчезнет. Тиндаль ошибался: у чистой воды голубой оттенок есть. С одной оговоркой:

увидеть его можно только если слой воды обладает достаточной толщиной. В этом случае голубая окраска объясняется различным поглощением в воде световых волн различной длины, соответствующих разным цветам: зеленому и голубому. Оставшиеся лучи отражаются от взвешенных в воде частиц. Без этого эффекта море выглядело бы черным как чернила.