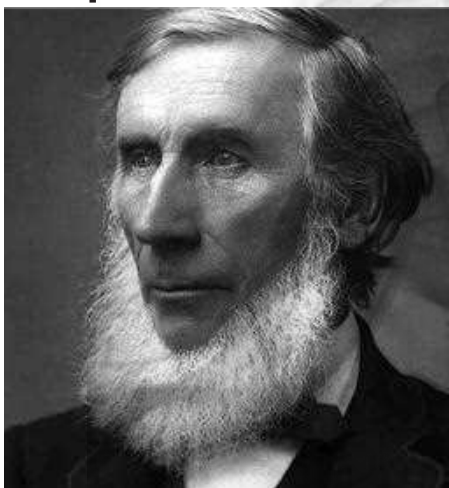


# Джон Тиндаль и уникальные свойства паров воды:



## физика и метафизика

Джон Тиндаль – физик-экспериментатор и публичный интеллектуал викторианской Англии – известен прежде всего открытием уникального свойства водяного пара задерживать инфракрасное излучение. Именно с этого открытия началось изучение парникового эффекта.

Круг интересов Тиндаля был

необычайно широким. Его мировоззрение формировалось не только в университетских лабораториях Марбурга и Берлина; Тиндаль был поклонником историка Карлейля, поэтов Эмерсона и Гёте – выдающихся мыслителей XIX столетия. Профессор Королевского института в Лондоне (его предшественником на этой должности был Майкл Фарадей), Тиндаль также известен как харизматический лектор и автор научно-популярных книг, переведенных на основные европейские языки и изданных в том числе в Китае и Индии. А еще он был одним из первых альпинистов... В настоящее время в Англии издается 15-томное собрание писем Джона Тиндаля.

### За пределами видимого спектра

Тепловое излучение открыл в 1800 году английский астроном Уильям Гершель. Выясняя температуру различных участков солнечного спектра, он обнаружил, что ее максимальное значение достигается за пределами видимого спектра – на участке, непосредственно прилегающем к его красной границе. В настоящее время это излучение называется инфракрасным; в XIX веке его, как правило, называли тепловым.

На протяжении нескольких десятилетий тепловое излучение («лучистая теплота») было объектом разнообразных исследований, показавших, что свойства тепловых лучей не отличаются от свойств видимого света. Основные результаты в этих исследованиях были получены итальянским физиком Мачедонио Меллони<sup>1</sup> и немецким физиком

<sup>1</sup> Мачедонио Меллони (1798–1854) – итальянский физик, член Лондонского королевского общества. Исследовал тепловое излу-



Уильям Гершель



Мачедонио Меллони

Германом Кноблаухом<sup>2</sup>. Кноблаух был соавтором Тиндаля по первым работам диамагнитного цикла.

### Лучи тепловые и световые

Меллони, в частности, продемонстрировал интерференцию тепловых лучей и применимость в их случае законов преломления и отражения. По аналогии с видимым светом Меллони ввел понятия теплопрозрачных и теплонепрозрачных веществ. С этой точки зрения были ис-

следование. Открыл поляризацию теплового излучения.

<sup>2</sup> Кноблаух Герман (1820-1895)— немецкий физик. Исследовал тепловое излучение. Показал, что тепловые лучи и видимый свет отличаются длиной волны.

следованы различные жидкие и твердые вещества.

Основные результаты, полученные Меллони, были опубликованы в Неаполе в 1842 году, а в 1846-м на заседании Физического общества в Берлине Кноблаух продемонстрировал дифракцию тепловых лучей.

Неизученными с точки зрения их теплопрозрачности оставались газы. Одной из причин этого была недостаточная чувствительность экспериментальной установки Меллони. Визуально прозрачные газы, на первый взгляд, не казались серьезными препятствиями для теплового излучения... Что-то определенное, впрочем, можно было утверждать только по результатам эксперимента. Тема ждала своего исследователя; им и стал Джон Тиндаль. Чем руководствовался 38-летний профессор Королевского института в Лондоне, когда выбирал направление для своих дальнейших исследований?

Несомненно, имело значение экспертное мнение. О «громдном на-

Майкл Фарадей



учном значении экспериментов Меллони заявил Майкл Фарадей. Участие знаменитого английского физика в «истории успеха» Меллони было весьма существенным. Следует иметь в виду, что многочисленные эксперименты Меллони с тепловыми лучами были в свое время встречены научным сообществом без особого интереса; ситуация изменилась благодаря Фарадею. Вот что расска-

зывает об этом сам Тиндаль в своем очерке о Фарадее:

«С разочарованной надеждой Меллони ожидает отчета комиссии, назначенной академией наук для проверки его работы. Наконец он публикует свои исследования в «*Annales de chimie et de physique*». Таким образом они попали в руки Фарадея, который тотчас же признает за этой работой **громдное научное значение** (*выделено мною. Б. Б.*) и хлопчет для автора Румфордскую медаль Королевского общества. С этой наградой соединялась всегда и некоторая денежная сумма; она в это время была более существенной для молодого эмигранта, чем почетный знак».

Для Тиндаля еще одним аргументом «за» исследования газов был начавшийся «роман с Альпами». Горная страна идеально подходила для изучения взаимодействия атмосферных газов с излучением Солнца и нагретой Солнцем Земли. Исследование теплопрозрачности газов должно было частично проходить в лаборатории, частично — в полевых условиях. Альпы были подходящим местом для полевых исследований в силу разнообразия температур, давлений и влажности.

В Альпах Тиндаль испытывал эмоциональный подъем, он вообще считал эмоционально нейтральную науку невозможной: «Я убежден, что у обычного человека его интеллектуальную деятельность... поддерживает невидимый поток эмоций. Я думаю, что попытки отделить в человеке моральное и эмоциональное от его интеллектуальной деятельности обречены на неудачу».

Источником «потока эмоций», который поддерживал Тиндаля, была не только природа Альп. Он сам неоднократно подчеркивал, что его мировосприятие формировалось под сильным влиянием поэта и философа Ральфа Эмерсона<sup>3</sup>, поэта и есте-

<sup>3</sup> Ральф Уолдо Эмерсон (1803—1882) — американский поэт, философ, эссеист. Автор эссе «Природа». Бога и природу, по его мнению, нужно воспринимать посредством вдохнове-

ствоиспытателя Иоганна Гёте<sup>4</sup> и философа и эссеиста Томаса Карлейля<sup>5</sup>... Тиндаль постоянно ссылается на них; более того, он считает, что только благодаря своевременному знакомству с их творчеством он состоялся как «человек науки».

### Воображение как научный инструмент

На всем протяжении своей научной биографии физик-экспериментатор Тиндаль, естественно, стремился повысить точность своих измерений и обеспечить их устойчивость. При этом сверхзадачу каждого исследования он видел в другом — в объяснении изучаемого явления на молекулярном уровне. Это относится и к исследованию диамагнетиков, и к выяснению причины движения ледников в Швейцарских Альпах. Учитывая, что непосредственно подтвердить или опровергнуть такое объяснение было невозможно (разрешение микроскопов было для этого недостаточным), сформировать его можно было только с помощью воображения.

Эту тему — «воображение в научном исследовании» — Тиндаль считал исключительно важной; широкую известность приобрел его доклад «Научное использование воображения» («*Scientific Use of the Imagination*»), произнесенный на ежегодном собрании Британской Ассоциации развития науки в Ливерпуле в 1870 году.

ния (англ. *insight*) и наслаждения (англ. *delight*), а не через исторические тексты. Восхваляет природу как «плантацию Бога».

<sup>4</sup> Иоганн Вольфганг Гёте (1749—1832) — немецкий поэт, драматург и естествоиспытатель. Наибольшую известность получила его трагедия «Фауст». Опубликовал ряд работ по биологии и физике.

<sup>5</sup> Томас Карлейль (1795—1881) — британский писатель, историк и философ. Автор сочинения «Герои, почитание героев и героическое в истории». Автор высказывания «Всякую революцию задумывают романтики, осуществляют фанатики, а пользуются ее плодами отпетые негодяи».

Тему «воображение в науке» Тиндаль иллюстрирует описаниями природы в сочинениях Гёте. Приведем две характеристики Гёте. Историк науки Урсула де Юнг: «Поэзия, по мнению Тиндаля, в такой же степени, как и наука, претендовала на признание своей значимости; принадлежащие Гёте описания световых явлений, будучи неправильными, тем не менее обладают эстетической и эмоциональной ценностью, обусловленной силой поэтического видения Гёте». Историк науки Татьяна Романовская: «Для Гёте мир природы представлял собой некую нерасчленимую целостность, познание которого возможно не путем анализа, обобщения, проведения экспериментов, воспринимаемых как насилие над природой, а путем наблюдения, постижения, чувствования». Напомним, что трактат Гёте «Учение о цвете» пронизан отрицанием ньютоновского представления о белом свете как о смеси цветов. В отличие от Ньютона, Гёте связывает восприятие цветов с ощущениями человека, т. е. не с физикой, а с психофизиологией зрения.

Физики – современники Тиндаля – в большинстве своем к идеям Гёте относились отрицательно. В XX столетии отношение к нему изменилось. Один из создателей квантовой теории Вернер Гейзенберг пишет<sup>6</sup>: «Гёте отталкивало в стремительно развивавшемся естествознании "чрезмерное увлечение абстрактной мыслью и, соответственно, пренебрежение чувственной реальностью"».

Философия Эмерсона связывала предназначение человека с постижением им тайн природы. Одно из его высказываний: «эмпирическая наука имеет свойство заслонять зрение, как раз потому, что она отнимает у жаждущего знания способность отважно созерцать целое».

<sup>6</sup> Вернер Гейзенберг (1901–1976) – немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике, один из создателей квантовой механики.

### Куб Лесли, каменная соль и термоэлектричество

Для своих экспериментов Тиндаль модифицировал установку, которую использовал Меллони. В качестве источника теплового излучения инфракрасного света с длиной волны в диапазоне от 5 мкм до 10 мкм Тиндаль использовал так называемый «куб Лесли» – в кубе находилась кипя-

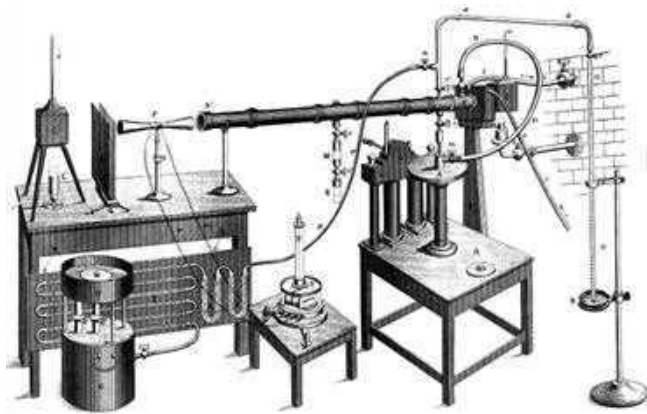


Куб Лесли

чая вода и таким образом поддерживалась температура на уровне 100 °С. На излучающую грань куба был нанесен слой ламповой сажи. Излучение поступало в трубку с входным и выходным окошечками из каменной соли (монокристалл NaCl), прозрачными для инфракрасного излучения. На выходе из трубки излучение попадало на один из детекторов термобатареи, соединенной с гальванометром. Второй детектор термобатареи нагревался непосредственно излучением куба. Фиксируемый гальванометром ток термобатареи определялся разницей между входящим и выходящим потоками излучения – т. е. теплотой, поглощенной в трубке.

Объем газа в трубке был небольшим, соответственно, были небольшими и поглощаемые количества теплоты. Чтобы зафиксировать их, от экспериментов требовалась высокая чувствительность; гальванометр Тиндаля мог регистрировать очень слабые токи.





*Эксперимент по поглощению газами тепловой радиации*

Первые измерения теплопроводности газов Тиндаль осуществил весной 1859 года. На этот момент времени он еще не завершил работу над предыдущим проектом – не была дописана книга «Глетчеры Альп». Что ожидал Тиндаль от этих экспериментов? Предваряя их, он писал: «Теперь нам предстоит иметь дело с газообразными телами; и здесь межатомные пространства так сильно увеличены, что молекулы полностью освобождены от всякого взаимного воздействия». Поэтому, пишет Тиндаль, естественным было предположить, что «газы и пары представляют собой совершенно открытую дверь для прохождения тепловых волн». Однако уже первые полученные им данные эти предположения не подтверждали.

### **Аномальный водяной пар**

В дневнике Тиндаля первая запись, касающаяся измерений теплопроводности газов, датирована 9 мая 1859 года; из нее следует, что в этот день никаких новых данных ему получить не удалось. Но уже 18 мая мы читаем в дневнике: «предмет полностью в моих руках». Проходит еще неделя – и Тиндаль рассказывает о своих экспериментах в Королевском обществе, а 10 июня его выступление «О передаче тепла различного качества газами разного вида» заслушано на заседании в Королевском ин-

ституте (председательствовал принц Альберт). Рассказывая о своих экспериментах, Тиндаль связывает их с выяснением распределения потоков тепла в атмосфере Земли.

Уже первые полученные Тиндалем данные свидетельствовали о весьма значительной непрозрачности некоторых газов в отношении теплового излучения. Предварительный вывод Тиндаля: «Атмосфера Земли допускает поступление солнечного тепла, но ограничивает его выход за пределы атмосферы». Формулируя его, Тиндаль напоминает аудитории о гипотезе знаменитого французского математика Фурье<sup>7</sup>, автора трактата «Аналитическая теория тепла». Согласно расчетам Фурье, температура планеты, удаленной от Солнца на расстояние, равное радиусу земной орбиты, должна быть существенно меньшей той температуры, которая характеризует Землю в настоящее время. Фурье предположил, что атмосфера Земли прозрачна для теплового излучения Солнца и непрозрачна для теплового излучения Земли. Вследствие этого должна повышаться температура нижнего слоя атмосферы Земли.

Предварительные результаты, полученные Тиндалем в мае 1859 года, гипотезу Фурье подтверждали. Интегрированный в научное сообщество, Тиндаль был хорошо осведомлен о научных интересах своих коллег; каких-либо пересечений с его научными интересами ни у кого не было и, соответственно, он мог быть спокоен в отношении приоритетных споров. Он, однако, не знал, что в 1856 году американка Юнис Фут обнаружила аномальное поглощение теплоты водяным паром и углекислым газом. О своем открытии Юнис Фут рассказала на собрании Американской Ассоциации развития науки; заме-

<sup>7</sup> Жан Батист Жозеф Фурье (1768–1830) – французский физик и математик, член Парижской академии наук. Автор «Аналитической теории тепла». Автор метода представления функций тригонометрическими рядами (ряды Фурье). Построил первый термоэлемент.

тим, что, в отличие от профессора Королевского института Джона Тиндаля, Юнис Фут принадлежала к категории ученых-любителей. Ее выступление представлял Джозеф Генри<sup>8</sup> – единственный на тот момент известный в Европе американский физик. Биограф Тиндаля Рональд Джексон, указывая на это обстоятельство, пишет об отсутствии свидетельств того, что Генри сообщал своим коллегам в Европе об открытии Юнис Фут. Доклад Юнис Фут «Обстоятельства, влияющие на теплоту солнечных лучей» («Circumstances, affecting the heat of the sun's rays») был опубликован в 1865 году в журнале «American journal of science and arts».

Методика эксперимента у Тиндаля отличалась от методики эксперимента Юнис Фут. Они использовали разные источники теплового излучения: у Фут таким источником был природный объект – Солнце, Тиндаль же пользовался искусственным источником теплоты. Иначе говоря, Тиндаль использовал длинноволновое инфракрасное излучение, а Фут – весь солнечный спектр, падающий на уровень Земли. Во-вторых, после модернизации экспериментальной установки в распоряжении Тиндаля появился инструмент для определения очень малых значений показателей поглощения теплоты и одновременно для точного измерения различий в таких показателях у газов с разной плотностью. Метод Фут был гораздо менее чувствительным и точным.

К 1859 году за плечами Тиндаля был по крайней мере один серьезный конфликт – дискуссия о приоритете с профессором Форбсом<sup>9</sup> (со вре-

менем число таких конфликтов существенно выросло). Если бы в научном сообществе стало известно о Юнис Фут, Форбс наверняка использовал бы эту информацию для дискредитации Тиндаля.

Помимо всего прочего, история с Юнис Фут демонстрирует практически полное отсутствие информационных потоков в науке XIX столетия. Так, начало известного приоритетного спора между Робертом Майером<sup>10</sup> и Джеймсом Джоулем – в этом споре Тиндаль выступил на стороне Майера – было связано с тем, что соответствующая статья Майера была опубликована в журнале, малодоступном для Джоуля.

По возможности Тиндаль созданию таких потоков способствовал. Так, желая расширить круг своих читателей, Тиндаль публикует в 1859 году статьи о своих экспериментах не в изданиях ЛКО или Королевского института, а в журналах: «Cosmos», «Il Nuovo Cimento» и «Bibliothèque Universelle»; они издавались за пределами Великобритании в странах континентальной Европы. Обычно в «нестатусных» журналах публиковались изложения оригинальных статей, но были и исключения. Так, именно в статье, опубликованной журналом «Bibliothèque Universelle», Тиндаль впервые отмечает важность вопросов поглощения теплоты парами воды и углекислым газом. Отметим также активность Тиндаля в качестве переводчика наиболее значимых статей с немецкого на английский, эта работа была немаловажным источником его доходов.

Измерения, начатые Тиндалем в 1859-м, были вскоре приостановлены на год с небольшим... Тиндаль должен был завершить работу над книгой «Глетчеры Альп» и выполнить большую учебную нагрузку: в частно-

<sup>8</sup> Джозеф Генри (1797–1878) – американский физик, президент Национальной Академии наук. Независимо от Фарадея открыл явление электромагнитной индукции. Обнаружил явление самоиндукции. Изобрел электромагнитное реле.

<sup>9</sup> Джеймс Давид Форбс (1809–1868) – шотландский гляциолог и сейсмолог, член Лондонского королевского общества. Один из изобретателей сейсмометра. Изучал распределение тепловых потоков в атмосфере Земли. Исследовал перемещение ледников.

<sup>10</sup> Юлиус Роберт Майер (1815–1878) – немецкий врач и естествоиспытатель. Автор первой формулировки закона сохранения энергии. Теоретически оценил численное значение механического эквивалента теплоты. Один из трех признанных авторов закона сохранения энергии.

сти, предстояло прочитать 12 еженедельных лекций в Королевском институте и 36 лекций в рамках курса физики в Королевской горной школе.

Следующая запись об измерениях теплопрозрачности газов появляется в дневнике Тиндаля 21 сентября 1860 года. Отсутствие записей не означает, однако, что в прошедшие полтора года измерений не было; так, в июне и в июле 1860-го Тиндаль определяет теплопрозрачность атмосферного воздуха, азота, кислорода и углекислого газа. Но результаты этих измерений Тиндаль опубликует только в апреле 1863-го; они станут его аргументами в дискуссии с профессором Магнусом<sup>11</sup>.

### Важный результат

20 ноября 1860 года Тиндалю впервые удастся в прямом эксперименте сравнить поглощение теплового излучения парами воды с поглощением такого же излучения сухим воздухом. Ему становится ясно, что именно поглощение теплоты парами воды отвечает за различие дневной и вечерней температуры воздуха и за понижение температуры окружающего воздуха во время восхождения в горах. При этом изменения общего количества водяного пара в атмосфере Земли могут приводить к глобальным изменениям климата; то же самое относится к углекислому газу.

В середине позапрошлого столетия парниковый эффект еще никак не связывается с деятельностью человека. Антропогенный характер этого эффекта был обнаружен только в 1896 году шведским химиком Сванте Аррениусом<sup>12</sup>, отмечавшим,

<sup>11</sup> Генрих Густав Магнус (1802—1870) — немецкий физик и химик, член Берлинской Академии наук. Открыл эффект возникновения поперечной силы на тело, вращающееся в потоке жидкости или газа (эффект Магнуса). Основал в Берлине частную физическую лабораторию — одну из первых физических лабораторий в Европе.

<sup>12</sup> Сванте Август Аррениус (1859—1927) — шведский физикохимик, лауреат Нобелевской премии по химии 1903 г., создатель теории

что парниковый эффект «спасает» Землю от возможного обледенения.

Результаты, полученные в ноябре 1860 года, Тиндаль представил в Бейкеровской лекции<sup>13</sup>, прочитанной им в феврале 1861-го; свое выступление в январе 1861-го в Королевском институте он сам рассматривал как генеральную репетицию февральской лекции. По словам Тиндаля, «меня слушали, затаив дыхание».

Содержание Бейкеровской лекции 1861 года представлено в первой подробной статье Тиндаля о новом направлении своих исследований и о первых полученных им результатах. Статья называлась «О поглощении и излучении теплоты газами и парами... и о физической связи между проводимостью, излучением и поглощением». Статья была опубликована в «Трудах Лондонского Королевского общества». В рецензии на статью, написанной Уильямом Томсоном<sup>14</sup>, результаты Тиндаля были названы «совершенно новыми», а его исследование в целом «важным вкладом в науку».

12 сентября 1861-го начался очередной период активности Тиндаля; он продолжался три месяца. Он сравнивает поглощение тепла водяным паром с его поглощением в земной атмосфере и устанавливает 25-кратное превышение первого над вторым.

---

электролитической диссоциации. Был первым, кто определил углекислый газ как основной парниковый газ и отметил его антропогенный характер.

<sup>13</sup> Право прочитать Бейкеровскую лекцию предоставляется награжденному медалью Бейкера — одной из самых престижных научных наград Лондонского королевского общества. Медаль присуждается ежегодно за достижения в области физики.

<sup>14</sup> Уильям Томсон (1824—1907), лорд Кельвин — английский физик, член Лондонского королевского общества. Один из создателей термодинамики (независимо от Р. Клаузиуса сформулировал второе начало термодинамики). Вывел формулу для периода колебаний в колебательном контуре. Принимал активное участие в сооружении и обеспечении стабильной работы первого трансатлантического кабеля.

В связи с этим Тиндаль отмечает: «Если, как указывают эксперименты, основное влияние оказывает водяной пар, каждое изменение его концентрации может приводить к изменениям климата». Как и Аррениус, он отмечал положительные последствия парникового эффекта: отодвигалась ледниковая эпоха.

Как мы уже отмечали, важная роль второго парникового газа — двуокиси углерода — была в полной мере осознана позже, и Тиндаль не предполагал, что эмиссия углекислого газа каким-либо образом связана с деятельностью человека.

Необходимо сказать о сверхзадаче, «по умолчанию» присутствовавшей в каждом исследовании Тиндаля: объяснить изучаемое явление на языке молекул. В газах, которые изучал Тиндаль, взаимодействие молекул практически отсутствовало. Это означало, что механизм поглощения теплоты связан исключительно с внутримолекулярными процессами. Для таких процессов в одноатомных молекулах нет места, и поэтому кислород и азот (Тиндаль ошибочно считал молекулы этих газов одноатомными) слабо поглощают тепловое излучение. В то же время в молекулах воды и углекислого газа такие процессы возможны.

В середине XIX столетия в научном сообществе был достигнут консенсус в отношении природы световых волн — они распространялись в эфире, среде со специфическими параметрами, невидимой для инструментов, которыми располагали физики на тот момент времени. Тождественность светового и теплового эфира доказал в 1842-м Меллони. Молекулы, состоящие из более чем двух атомов, характеризуются определенными собственными частотами колебаний; поглощение теплоты означает резонанс — совпадение двух частот: частоты колебаний частиц эфира и частоты колебаний внутримолекулярных. Комментируя сказанное выше, Тиндаль напоминает: «Чтобы составить отчетливое представление об этом процессе, требуется определенная культура воображения».

О том, что выяснение внутримолекулярных процессов Тиндаль определяет как основную цель своих исследований, свидетельствуют, в частности, изменения в названиях его статей. Так, например, статья, сопровождавшая Бейкеровскую лекцию в 1861-м, называлась «О поглощении и излучении теплоты газами и парами и о физической связи излучения, поглощения и проводимости»; название соответствовало содержанию представленных в лекции экспериментов. Один из важнейших результатов Тиндаля — открытие корреляции между теплопоглощением газов и их теплоизлучением: газы с большим теплопоглощением более активно излучают тепло.

Статью Тиндаля рецензировал У. Томсон. Среди прочего он отметил «исключительную важность» экспериментов Джона Тиндаля. Об этом же свидетельствует параллельная публикация статьи во французском журнале «Comptes Rendus».

Когда спустя три года Тиндаля вновь приглашают прочитать Бейкеровскую лекцию, он называет ее уже иначе: «Вклад в молекулярную физику». Этим названием он сообщает о своей ориентации на вопросы фундаментальной науки; свои исследования взаимодействия теплового излучения с различными газами он стремится вписать в контекст большой физики.

В 1879-м Тиндаль говорил: «В течение всех лет работы по исследованию теплового излучения я рассматривал свет и теплоту как инструменты для изучения окончательных частей материи».

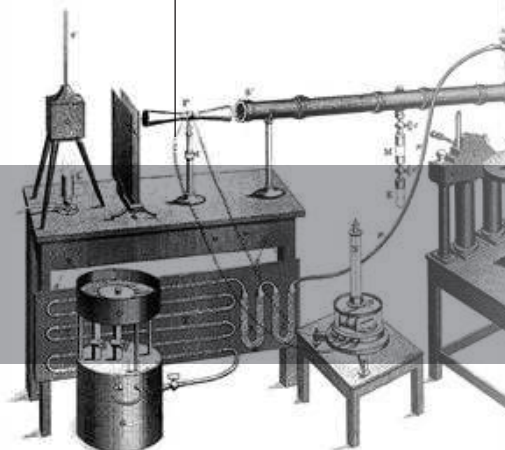
*Окончание в следующем номере*

*Борис Викторович Булюбаш,  
кандидат физико-математических наук, историк науки.  
Автор книг «Мистер Нейтринно:  
страницы биографии академика  
Понтекорво» (2019)  
и «Джоуль и другие» (2023)*



Борис Булюбаш

Опыт.  
Тиндаля...



## **Джон Тиндаль** *и уникальные свойства* **паров воды:** **физика и метафизика**

### **Профессор Тиндаль vs профессор Магнус**

В 1861 году правительство Ее величества выделило профессору Королевского института Джону Тиндалю исследовательский грант размером в 200 фунтов. Насколько велика была эта сумма? Для сравнения отметим, что самый известный английский физик викторианской эпохи Майкл Фарадей работал по совместительству научным консультантом мор-

ской компании Тринити Хаус с заработной платой 300 фунтов в год. Такого же размера была и годовая пенсия, назначенная ему правительством.

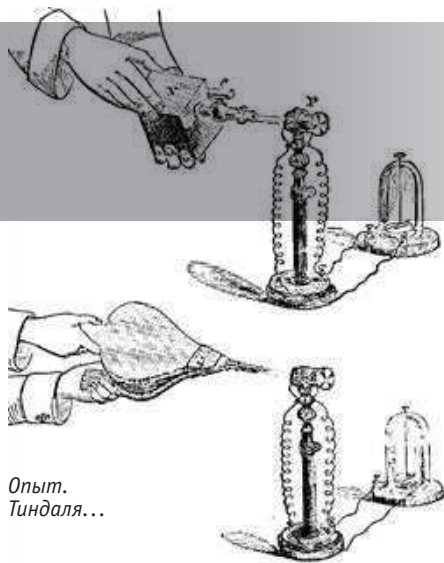
В тот же день, когда Тиндаль узнал о выделении гранта, он получил письмо от профессора Магнуса — того самого, в лаборатории которого он, свежиспеченный постдок, исследовал свойства диамагнетиков. Магнус заметил, что некоторые результаты Тиндаля были получены им самим раньше Тиндаля; кроме того, у Магнуса были серьезные сомнения в адекватности полученных Тиндалем

Окончание, начало читайте в «З-С», № 11/2024.

результатов. Сразу оговоримся: в начавшемся диалоге его участники были настроены миролюбиво, и обсуждение спорных вопросов не переходило на личности. В этом смысле дискуссия Магнус – Тиндаль отличалась от характерных для Тиндаля противостояний со своими оппонентами.

В «Истории физики» Ф. Розенберга читаем об этой дискуссии: «оба эти физика одинаково устано-

воющий показатель для сухого воздуха. Магнус ничего подобного не наблюдал и предположил, что в установке Тиндаля происходит неконтролируемая конденсация водяного пара. Профессор Магнус был выдающимся физиком-экспериментатором,



Опыт.  
Тиндаля...

*вили, что поглощение тепла простыми газами очень мало и что оно значительно возрастает только у сложных по своему составу газов. К числу разноречий принадлежит случай влажного воздуха: Тиндаль нашел, что последний поглощает тепло в значительной степени; но Магнусу же водяной пар вполне теплопрозрачен».*

Обсудив с Фарадеем сложившуюся ситуацию, Тиндаль сообщил в ответном письме Магнусу о своих статьях, которые были опубликованы до того, как Магнус стал интересоваться проблемой. Магнус тему приоритета более не поднимал, продолжая, однако, настаивать на ошибочности выводов Тиндаля о высоком уровне поглощения теплоты парами воды.

Так, измерения Тиндаля показывали, что для водяного пара уровень теплопоглощения по меньшей мере в 60 раз превышал соответствующий



ром, игнорировать его критику было бы неправильно и «политически», и по существу. К тому же Тиндаль помнил о поддержке, которую он получил от Магнуса в самом начале своей научной карьеры.

В ответ на замечания Магнуса Тиндаль устранил возможные узкие места в своей методике измерений... но результат не изменился. В поисках убедительных аргументов в поддержку полученных результатов Тиндаль сравнил показатели теплопрозрачности разных веществ в жидком и газообразном состоянии. Он, в частности,

обнаружил, что те из веществ, которые активно поглощали и излучали энергию в одном агрегатном состоянии, проявляли те же качества в другом. Обнаруженную им закономерность Тиндаль считал своим сильным аргументом. Действительно, высокий уровень поглощения теплового излучения водой вроде бы не вызывал сомнения; по этой причине естественно было бы ожидать таких же ха-



Генрих  
Густав  
Магнус

рактеристик и у водяного пара. Этот аргумент Тиндаль приводит в своей статье в июльском выпуске журнала «Philosophical Magazine» за 1863 год; в статье были собраны ответы Тиндаля на критику Магнуса, соответствующая публикация которого была размещена в том же номере журнала.

### **Воздух из Гайдпарка и с острова Уайт**

В одном из своих замечаний Магнус предположил, что параметры воздуха и аномальные свойства водяного пара неправомерно распространять на атмосферу Земли в целом. Тиндаль обратился за помощью к друзьям, и в скором времени в его распоряжении были пробы воздуха из разных регионов, в том числе с острова Уайт и из лондонского Гайдпарка. Водяной пар в этих регионах поглощал теплоту

с такой же активностью. Поглощение теплоты во влажном воздухе в 50 раз превышало поглощение теплоты в сухом. Вскоре предметом исследования Тиндаля становятся образцы воздуха, выдыхаемого им самим, а также и его ассистентами, после принятия порции бренди. Со временем анализ воздуха при дыхании стал одним из методов медицинской диагностики.

12 мая 1866 года Тиндаль получает от профессора Магнуса письмо, в котором тот сообщал, что в ближайшем номере «Philosophical Magazine» выходит его статья про образование росы и что в этой статье он, как и раньше, критически отзываясь об аномальных свойствах паров воды. Сообщая о статье до выхода журнала в свет, Магнус уверяет Тиндаля, что ценит дружбу с ним и хочет избежать неожиданностей. Дискуссия Тиндаль с Магнусом закончилась только с уходом последнего из жизни 4 апреля 1870 года. Автором некролога в журнале «Nature» был профессор Королевского института Джон Тиндаль.

### **Метафизика физика Тиндаля**

В сентябре 1860-го Тиндаль, не раскрывая своего авторства, публикует в «Saturday Review» две статьи, одну из которых он назвал «Физика и метафизика». Что именно было для Тиндаля метафизикой? В первую очередь идеи нескольких почитаемых им мыслителей: американского поэта и философа Ральфа Эмерсона, американского историка и философа Томаса Карлейля и немецкого поэта (и естествоиспытателя!) Иоганна Гёте.

К метафизике можно отнести и обсуждение молекулярных механизмов, которые, по мнению Тиндаля, отвечают за процессы поглощения и излучения «лучистой теплоты». Анонимные статьи в СМИ не являлись тогда чем-то необычным... и, надо полагать, для научного сообщества не было секретом имя автора. Тиндаль явно верен себе; в этой статье (опубликованной, заметим, в издании, не относящемся к категории научных) он схематично описывает молекулярный ме-



ханизм функционирования органов чувств: цветовые и звуковые ощущения он связывает с воздействием молекул на барабанную перепонку или на сетчатку глаза. И мысли, и чувства он считал зависящими от механических процессов, полагая, что со временем станет возможным, зная «молекулярное состояние» мозга, сделать вывод о связанных с этим состоянием мыслях, и, наоборот, зная мысли, установить соответствующее им молекулярное состояние мозга.

Как следует понимать эти размышления Тиндаля? Можно ли на этом основании считать его безусловным сторонником механической картины мира? В той же статье Тиндаль, рассказывая о великих поэтах Байроне и Теннисоне, замечает, что с помощью интуиции они могут достичь того, что «люди науки» выводят из физических принципов. Сторонником интуитивного познания природы был также один из кумиров Тиндаля американский поэт Ральф Эмерсон. Похожие взгляды были характерны для романтической науки – при том, что самым известным ее представителем был датский физик Ханс Эрстед, вошедший в историю с экспериментом, обнаружившим магнитное поле электрического тока.

Акцент на интуиции, безусловно, плохо согласуется с однозначностью причинно-следственных связей, характерной для классико-механической картины мира. Надо полагать, высказывания Тиндаля о равнозначности интуиции и экспериментального (теоретического) исследования «люди науки» воспринимали без энтузиазма.

Исследования прозрачности атмосферных газов для теплового излучения открывали новые перспективы для метеорологии. Практическая ценность экспериментов Тиндаля была очевидной. При всем том эти исследования не относились к тем направлениям развития физики, с которыми связана научная революция конца XIX – начала XX столетия. Одним из таких направлений был спектральный анализ. Заметим, что для изуче-

ния спектров металлов их необходимо было перевести в газообразное состояние. В этом смысле тема «газы и тепловое излучение» была актуальна и для Тиндаля, и для физиков, исследовавших спектры. Среди последних были хорошо знакомые Тиндалю Джон Гершель<sup>1</sup>, Джордж Стокс<sup>2</sup> и Роберт Бунзен<sup>3</sup> (в марбургской лаборатории Бунзена, напомним, Тиндаль работал над докторской диссертацией).

В ходе изучения спектров был накоплен большой экспериментальный материал, нуждавшийся в осмыслении. В частности, была неясна природа светлых линий (в спектрах излучения) и темных (в солнечных спектрах поглощения). При сопоставлении этих двух видов спектров у одного и того же вещества было обнаружено, что пространственное расположение темных и светлых линий совпадало. Происхождение линий оставалось загадкой до 1859 года, когда Кирхгоф идентифицировал светлые линии в спектрах излучения как свидетельствующие о присутствии в веществе конкретных химических элементов. А совпадающие с ними по расположению темные линии – как свидетельствующие о присутствии тех же элементов в атмосфере Солнца. Это означало, что из-

<sup>1</sup> Джон Фредерик Уильям Гершель (1792–1871) – английский астроном, математик и химик, член Лондонского Королевского общества. Сын Уильяма Гершеля. Обнаружил более 2000 двойных звезд, составил каталог туманностей. Внес большой вклад в развитие фотографии.

<sup>2</sup> 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 флюоресценции от частоты возбуждающего света. Получил значительные результаты в векторном анализе и в теории определенных интегралов.

<sup>3</sup> 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.



лучение и поглощение энергии происходит на одной и той же длине волны. Обсуждение химического состава Солнца, совсем недавно воспринимавшееся как отвлеченные рассуждения, благодаря открытию Кирхгофа и Бунзена становится вполне легитимной темой научного исследования. В декабре того же 1859 года Кирхгоф выступает на заседании Берлинской академии наук с докладом «О взаимосвязи между излучением и поглощением света и тепла». Он формулирует закон, известный как «закон Кирхгофа»: отношение испускательной и поглощательной способности не зависит от природы тела и есть функция только длины волны и температуры. Надо полагать, именно закон Кирхгофа вызвал у Тиндаля ощущение упущенного результата.

Прошло несколько десятилетий, и спектральный анализ стал одним из инструментов квантовой теории. По словам историка науки Л. С. Полака, получая спектры и расшифровывая их, «ученые смогли приступить к прочтению ранее закрытой книги о строении атомов и молекул и процессов, в них происходящих». Именно эту книгу пытался раскрыть Джон Тиндаль.

Неудивительно, что Тиндаль с необычайным энтузиазмом реагирует на те возможности, которые появились благодаря открытию Кирхгофа-Бунзена. В первую очередь, это возможность научного обсуждения химического состава Солнца. Свое очередное выступление в Королевском институте 7 июня 1861 года Тиндаль называет «О физических основаниях солнечной химии»; поясняя связь открытия Кирхгофа и Бунзена с собственными исследованиями.

Более того, Тиндаль уверен, что по чистой случайности сам не открыл закон Кирхгофа в 1859 году. Действительно, 17 октября 1860 года Тиндаль упоминает в дневнике о выявленной им закономерности: у всех газов с относительно высокой поглощательной способностью относительно высокой является также способность теплоту излучать. Следует также учесть замечание Л. С. Полака

о том, что некоторые современники Кирхгофа «были иногда очень близки к открытию спектрального анализа. Однако никто из них не сделал решающего шага».

Исследуя процессы в газах, Тиндаль не прекращал исследовать излучение нагретых тел. Интуиция вела его в правильном направлении; благодаря одному из таких исследований имя Тиндаля фигурирует в истории создания квантовой теории — теории, позволившей физикам понять, как на самом деле «устроены» атомы и молекулы. В 1866-м австрийский физик Йозеф Стефан<sup>4</sup> прочитал в одном из химических руководств описание эксперимента Тиндаля, в ходе которого тот нагревал на спиртовом пламени платиновую проволоку (в качестве источника тепла тугоплавкая платиновая спираль использовалась еще Меллони), измеряя температуру и энергию, которую излучала проволока. Полная энергия, излучаемая спиралью при  $= 1423\text{K}$  (белое каление) в 11,7 раза превышала энергию, излучаемую при  $798\text{K}$  (красное каление)

Прочитав статью, Стефан заметил, что  $(T_2/T_1)^4 = 11,61 \approx 11,7$ . Он предположил, что с учетом погрешностей энергия, излучаемая спиралью, пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры. В 1884-м Людвиг Больцман<sup>5</sup> доказал, что интегральное излучение черного тела пропорционально четвертой степени абсолютной температуры.

Заметим, впрочем, что в этой истории присутствует элемент случайности. Историк науки Макс Джеммер обращает внимание на неточность данных, полученных Тиндалем. Повторение измерений Тиндаля в 1948 году дало

<sup>4</sup> Йозеф Стефан (1835—1893) — австрийский физик, член Австрийской академии наук. Разработал теорию диффузии газов, определил численные значения коэффициентов теплопроводности многих газов.

<sup>5</sup> Людвиг Больцман (1844—1906) — австрийский физик, один из создателей статистической физики. Вывел закон распределения молекул газа по скоростям. Сформулировал Н-теорему, связал энтропию с вероятностью.

отношение соответствующих энергий, равное 18,6, а не 11,7. Это связано с тем, что объект исследования Тиндаля не являлся черным телом. Ситуация не столь редкая в истории науки — когда несовершенный эксперимент позволяет построить относительно простую модель явления, которая впоследствии усложняется и позволяет описать уточненные экспериментальные данные.

### Луна: горячая или холодная?

В небе, кроме Солнца, есть и другие источники света: звезды и Луна. Рональд Джексон лаконично сообщает в биографии Тиндаля о высказанном им предположении, что парниковый эффект отчасти обусловлен светом от звезд.

Сам факт выдвижения такой гипотезы известным физиком, членом ЛКО — свидетельство того, насколько сильно представления об окружающем мире в викторианскую эпоху отличались от современных. Другим свидетельством такого же рода стало измерение Тиндалем температуры Луны.

В середине октября 1861 года Тиндаль решил изменить время проведения своих экспериментов и исследовать потоки лучистой теплоты ночью. Он установил аппарат на крыше Королевского института и сканирует ночной небосвод. Термостолбик соединен с гальванометром. Для всех направлений показания прибора были приблизительно одними и теми же. И только в одном направлении прибор фиксировал уменьшение температуры — когда он направлен на Луну. Этот эксперимент Тиндаль описывает в открытом письме Джону Гершелю. Уменьшение температуры означало, что инструмент, будучи направленным на Луну, терял большее количество теплоты, чем в случае иной ориентации в пространстве.

В письме Гершелю Тиндаль так объяснил обнаруженный им феномен. Тепловое излучение Луны вызывает испарение капель воды в атмосфере Земли, соответственно, в на-

правлении «на Луну» растет тепловое излучение термостолбика, и мы фиксируем уменьшение температуры. Эту гипотезу Гершель расценивает критически и советует Тиндалю разместить установку «в стороне» от дымного воздуха Лондона. Критический настрой не мешает Гершелю восхитаться умением Тиндаля измерять слабые эффекты. В ответном письме Тиндаль делится своими переживаниями — ему кажется, что, обнаружив свою гипотезу о причине того, что Луна кажется холодной, он «выставил себя дураком». Однако знакомство с публикацией «Тепло от Луны» в ноябрьском выпуске журнала «Scientific American» за 1869 год показывает, что беспокойство Тиндаля было необоснованным. В этой публикации упоминаются попытки определить температуру Луны, предпринимавшиеся Тиндалем, Меллони и лордом Россом<sup>6</sup>. В отношении измерений Росса в статье сказано: «Сравнивая тепло, полученное от Луны, с теплом, полученным от нескольких земных источников, лорд Росс пришел к выводу, что во время полнолуния поверхность нашего спутника нагревается до температуры, более чем на 380 градусов по Фаренгейту превышающей температуру кипящей воды».

Пытался определить температуру Луны и Джеймс Джоуль. В марте 1863-го он сообщает в письме Томсону о том, что «взял реванш у Тиндаля: обнаружил, что Луна горячая, а не холодная, как он утверждал». В том же мартовском письме мы находим описание термоскопа, при помощи которого Джоуль измерял температуру спутника Земли. Лунный свет, нагревая воздух внутри термоскопа, вызывал конвекционное движение воздуха, отклонявшего подвешенную на нити стрелку компаса. По оценкам Джоуля, в условиях полной Луны температура воздуха внутри

<sup>6</sup> Йозеф Стефан (1835—1893) — австрийский физик, член Австрийской академии наук. Разработал теорию диффузии газов, определил численные значения коэффициентов теплопроводности многих газов.

термоскопа повышалась за счет лунного света на  $0,0001^\circ \text{F}$ .

Попытки Тиндаля измерить температуру Луны вписываются в характеристику историка науки Сары Драй: «...Тиндаль пытался связать между собой явления разных масштабов. Его наблюдения и теории охватывали и столь малые объекты, как кристаллы льда молекулы воды, и такие огромные, как горы и ледники».

Возможно, именно эта особенность Тиндаля помогла ему увидеть новые задачи, для решения которых может быть задействован его уникальный научный инструментарий и опыт работы с этим инструментарием.

Добиваясь максимальной прозрачности воздуха, Тиндаль проанализировал рассеяние света на пылинках с размером меньше длины волны и стал первым, кто объяснил голубой цвет неба зависимостью интенсивности рассеянного света от длины волны.

Два первых проекта Тиндаля — исследование причин перемещения ледников и исследование диамагнитных явлений — не имели продолжения и в некотором смысле остались самостоятельными сюжетами его научной биографии. В отличие от них, третий проект Тиндаля — исследование теплопрозрачности газов — стал источником новых сюжетов и в физике, и за ее пределами. Один пример такого сюжета — выяснение деталей рассеяния света в мутных средах и объяснение голубого цвета неба. Другой пример связан с именем Луи Пастера<sup>7</sup>. Заявивший о невозможности самозарождения живых организмов, Пастер столкнулся с острой критикой, в том числе со стороны коллег, принадлежавших к научному истеблишменту викторианской Англии. Он нуждался в независимых подтверждениях своей позиции; в 1871 году Пастер пишет Джону Тиндалю письмо, в ко-

тором просит поддержать его в дискуссии со сторонниками спонтанного самозарождения. Тиндаль включается в дискуссию: используя свой опыт глубокой очистки воздуха, он доказывает, что в очищенном воздухе — в отличие от обычного — не наблюдаются процессы гниения, т. е. микроорганизмы не возникают. Подробности всего «экскурса в биологию» Тиндаль описал в статье «Dust and disease» (Пыль и болезни, 1871). Вклад Тиндаля в процесс признания научным сообществом идей Пастера отмечен во всех биографиях великого французского биолога.

Известность Тиндаля была связана не только со сделанными им открытиями. Британский историк науки Рональд Джексон не случайно назвал его «публичным интеллектуалом». Славу Тиндалю принесли его лекции (о некоторых мы упоминали) и его книги (научные и научно-популярные). Работу над своей первой книгой «Глетчеры Альп» он закончил уже после того, как начал исследование газов. Следующая его книга — «Теплота как род движения» — вышла в свет в марте 1863 года. В этом месяце в дневнике Тиндаля появляется запись: «Я больше никогда не буду писать книги, это тяжелая работа, если делать ее хорошо». «Теплоту...» называют одной из самых успешных книг Тиндаля. Его гонорар составил 186 фунтов. Всего же от переизданий «Теплоты...» только в Англии он получил 2500 фунтов. «Теплота...» и большая часть остальных 15 книг Тиндаля была переведена на основные европейские языки. Они также были изданы в Индии и в Китае.

*Борис Викторович Булюбаш,  
кандидат физико-математических  
наук, историк науки.  
Автор книг «Мистер Нейтринно:  
страницы биографии академика  
Понтекорво» (2019)  
и «Джоуль и другие» (2023)*

<sup>7</sup> Луи Пастер (1822 – 1895) — французский химик и биолог, член Парижской Академии. Доказал биологическую природу брожения, изобрел технологию, названную в его честь пастеризацией, основоположник микробиологии, создатель вакцин от сибирской язвы и от бешенства.