

ПЕРВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СПЕКТРОВ (первая четверть XIX века)

На протяжении веков многие оптические исследования инициировали развитие фундаментальных физических теорий. Яркий пример тому - наука об атомарном строении вещества, по сути появившаяся после открытия **линейчатых спектров**.

Ньютон исследовал спектр Солнца; другие раскаленные тела дают аналогичные сплошные спектры. Однако известно, что некоторые вещества, будучи нагретыми в пламени, окрашивают его в какой-либо цвет., т.е. демонстрируют только часть спектра (медный паяльник нагревается на газовой горелке и делает ее пламя зеленым). В 1802 году **Волластон** заметил дискретные черные линии в спектре солнечного света и, таким образом, первым наблюдал то, что мы теперь называем **фраунгоферовыми линиями**.

Открытие **линейчатых спектров излучения** было сделано, по-видимому, **Гершелем** в 1822 году: он вносил соли металлов в пламя и наблюдал с помощью призмы возникающие при этом спектры. Позднее Фраунгофер заметил, что положение желтой линии, испускаемой поваренной солью, совпадает с положением одной из увиденных им темных линий в солнечном спектре.

Помимо формирования начал спектроскопии Волластон и

Гершель внесли заметный вклад в расширение диапазона

наличие у излучающего тела некоторых выделенных частот, на которых генерируются световые колебания, вполне вписывается в оптико-теоретическую частоту для невидимой части спектра: первый исследовал **ультрафиолетовые**, а второй - **инфракрасные** волны. Галилей показал, что при воздействии на маятник периодической внешней силы определенной частоты амплитуда его колебаний может многократно возрастать. Частоты линейчатых спектров могут рассматриваться как **резонансные** для данного вещества, а их наборы - как серии **гармоник** или **обертонов**.

С другой стороны, дискретный (как потом будут говорить **квантовый**) характер излучения и поглощения света, безусловно, наводит на мысль о световых корпускулах, для которых вызываемое ими цветовое ощущение является одной из внутренних характеристик. Впоследствии именно спектроскопические исследования породили квантовую или **фотонную** оптику.



Уильям Хайд Волластон (1766-1828) - английский ученый, член Лондонского королевского общества, Парижской академии наук. Родился в Норфолкшире. Окончил Кембриджский университет (1788), получил в 1793 году диплом доктора медицины. Работы относятся к оптике, электричеству, астрономии, химии, минералогии, кристаллографии, ботанике. Открыл в 1801 году **ультрафиолетовые лучи** (независимо от Риттера), в 1802 году - химическое действие электрического тока, в 1803 году - химический элемент палладий, в 1804 - родий. Сконструировал в 1802 году рефрактометр, в 1809 - отражательный гониометр, создал оригинальную поляризационную **призму Волластона**.

Разработал (1802) метод измерения показателя преломления твердых тел. Открыл (1804) явление дихроизма при прохождении света через одноосные кристаллы. Первым обратил внимание (1802) на темные линии в спектре Солнца, известные в дальнейшем как "**фраунгоферовы линии**". Глядя на лучи солнечного света через жалюзи в окне, он понял, что, используя щели, можно получить более четкий спектр, чем удалось Ньютону с помощью круглого отверстия.



Вильям Гершель (1738-1822) - английский астроном и оптик, член Лондонского королевского общества (1781), почетный член Петербургской академии наук (1789). Родился в Ганновере, получил домашнее образование. В 1757 году переселился в Англию, где самостоятельно изучил астрономию. Изготовил сотни зеркал для телескопов. В 1786-89 гг. построил свой крупнейший рефлектор с диаметром зеркала 122 см. Открыл планету Уран, два спутника Сатурна; обнаружил движение Солнечной системы в пространстве. Описал двойные звезды и закономерности распределения туманностей. Одним из первых начал изучение **солнечного и звездных спектров**, в 1800 году открыл **инфракрасные лучи** в спектре Солнца.

СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СВЕТОВЫХ КОЛЕБАНИЙ (первая четверть XIX века)

Описание разложения белого света на цветные компоненты, а также распространения света в виде плоских или сферических волн потребовало соответствующего математического аппарата, который был разработан французом **Фурье** сначала для дискретного разложения периодических (*линейчатый спектр, ряды Фурье*), а затем аperiodических функций (*сплошной спектр, интеграл Фурье*). Отметим, что сама функция и ее спектр имеют дополнительные размерности и подчиняются



Жан Батист Фурье (1768-1830) - французский математик и физик, член Парижской академии наук, с 1822 года - ее секретарь. Член Петербургской академии наук и Лондонского королевского общества. Родился в Осере, где окончил военную школу, там же работал. В 1796-98 годах преподавал в Политехнической школе. Главные труды посвящены математической физике. Основатель учения о теплопроводности, автор известной работы "Аналитическая теория тепла" (1822), сыгравшей значительную роль в развитии математики.

В 1822-23 годах независимо от Эрстеда открыл термоэлектрический эффект, построил первый термоэлемент. Фурье исследовал упругость газов при различных температурах, первым применил формулы размерностей и построил математическую теорию теплового излучения. Развил метод представления функции тригонометрическими рядами - так называемыми *рядами Фурье* - широко применяемый в различных разделах физики, в том числе в физической оптике. *Временное преобразование Фурье* является основой спектрального представления световых колебаний при разложении по частотам. Трансформации светового пучка по мере его распространения есть по сути *пространственное преобразование Фурье*, которое описывает в том числе дифракционные эффекты. Сегодня в отдельную науку о дифракционных методах формирования изображения выделена *Фурье-оптика*.

$$F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \exp(-i2\pi ux) \cdot dx$$

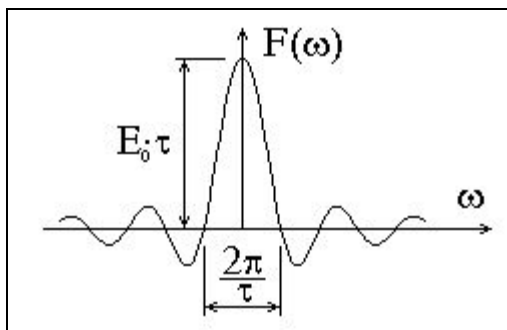
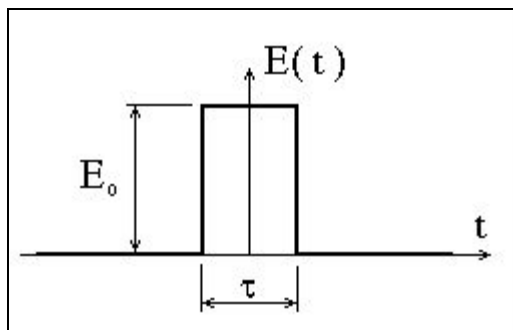
$$f(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) \cdot \exp(i2\pi ux) \cdot du$$

$$FT: \quad f(x) \longrightarrow F(u)$$

$$RFT: \quad F(u) \longrightarrow f(x)$$

$$[f] = [F] \cdot [u]$$

$$[F] = [f] \cdot [x] \quad \boxed{[u] \cdot [x] = 1}$$



$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(t) \cdot \exp(-i \cdot \omega t) \cdot dt$$

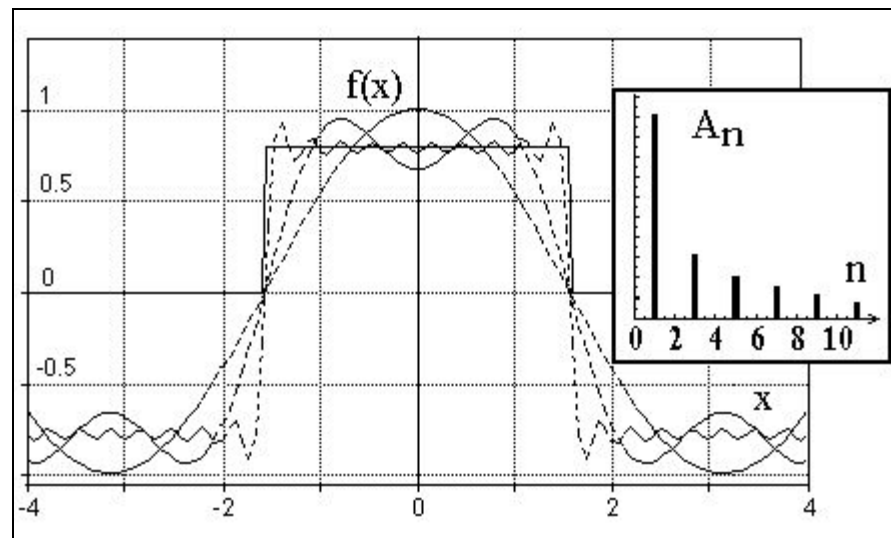
$$E(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) \cdot \exp(i \cdot \omega t) \cdot d\omega$$

TFT

$$F(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(z) \cdot \exp(-i \cdot k z) \cdot dz$$

$$E(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(k) \cdot \exp(i \cdot k z) \cdot dk$$

SFT



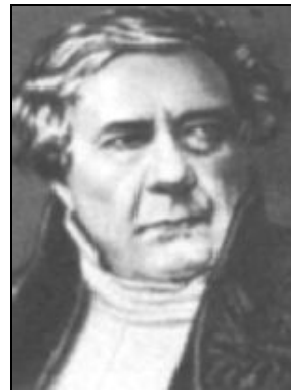
ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ. НАЧАЛО СПЕКТРОСКОПИИ (середина XIX века)

Исследования особенностей дифракции на периодических (регулярных) структурах привели к открытию нового способа разложения света на спектральные компоненты. Наряду с призменными диспергирующими устройствами появились, в первую очередь благодаря теоретическим и практическим работам **Фраунгофера**, приборы с **дифракционными решетками**. Они позволили резко улучшить спектральное разрешение и начать систематическое изучение сплошных и линейчатых спектров. В отличие от призмы, дифракционная решетка сильнее отклоняла более длинноволновое излучение. Кроме того, в ней наблюдались множественные (повторяющиеся) спектры нескольких порядков.

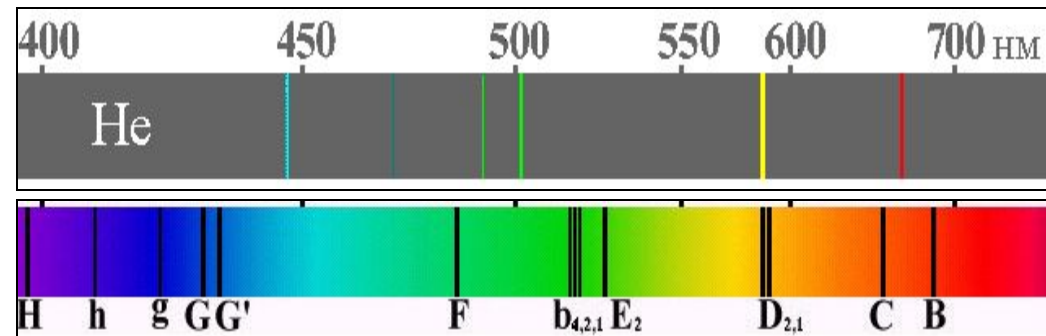
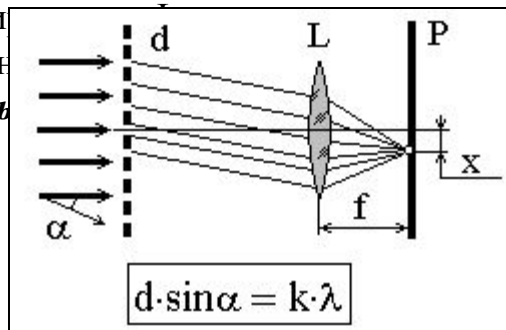
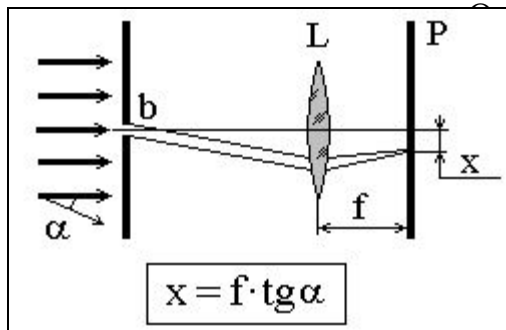
Большой вклад в становление **физической спектроскопии** внес **Бабинь**: его теорема о пространственном спектре конечной регулярной структуры как свертке спектра одного отверстия и периодической матрицы, является основой расчета дифракционных



Йозеф Фраунгофер (1787-1826) - немецкий физик. Родился в Штраубинге. В 1806 году начал работать оптиком-механиком в оптической мастерской в Мюнхене, затем в Бенедиктбейерне (Бавария), в 1809 году стал ее управляющим, а в 1818 - руководителем и владельцем. С 1823 года - хранитель физического кабинета и профессор Мюнхенского университета. Работы относятся к физической и практической оптике. Внес существенный вклад в исследование *дисперсии* и создание ахроматических линз. Изготовил достаточно большие и чистые образцы *флинтгласа* и *кронгласа* и изобрел метод точного определения формы линз, сконструировал *спектрометр*, ахроматический микроскоп, *окулярный микрометр* и *гелиометр*. Независимо от Волластона наблюдал (1814-15) и первый исследовал и объяснил темные линии в солнечном спектре, названные в дальнейшем его именем (*фраунгоферовы линии*). Используя явление дифракции, измерил их длины волн. *Дифракцию* изучал в параллельных лучах (так называемая *дифракция Фраунгофера*) сначала от одной щели, а затем от многих. Большой заслугой Фраунгофера является широкое использование им дифракционных решеток для исследования спектров (некоторые исследователи даже считают его изобретателем первой дифракционной решетки).



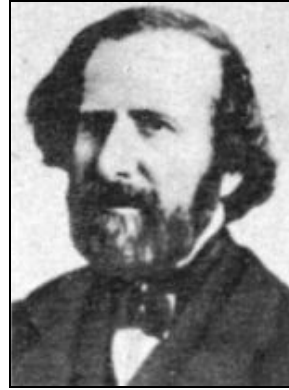
Жак Бабинь (1794-1872) - французский физик и астроном, член Парижской академии наук (1840). Родился в Люзиньяне. После окончания Политехнической школы был профессором в Фонтене-ле-Конт, с 1820 года - в коллеже Луи-ле-Гранд (Париж), а с 1841- в Бюро долгот. Работы относятся к оптике, магнетизму, молекулярной физике. Усовершенствовал воздушный насос, построил гигрометр (1824), *гониометр*, *полярископ*. В оптике известен "*принцип Бабинь*", относящийся к *дифракции на многих отверстиях* и дополнительных экранах. Впервые применил линзу *коллиматора* (1839) и предложил насадку на тубус поляризационного микроскопа (*компенсатор Бабинь*). Усовершенствовал спектрограф (*спектрограф Бабинь - Бунзена*). Исследовал *двулучепреломление*, *фраунгоферовы линии*, влияние движения Земли на интерференцию света. Первым в 1829 году предположил, что определенная световая волна может быть стандартизованным *эталон* длины.



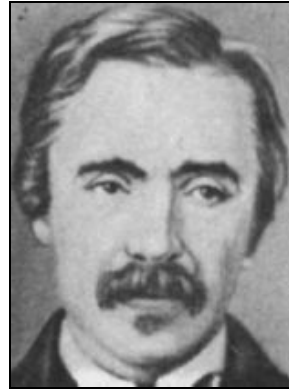
ПЕРВЫЕ ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ СВЕТА (середина XIX века)

Измеренное астрономом Ремером значение скорости света было огромным (около 225 тысяч км/с), но только в середине XIX века появились технические возможности ее измерения в земных условиях. Впервые это удалось сделать **Физо** в 1849 году при помощи быстро вращающегося зубчатого колеса. Чуть позже Физо установил влияние скорости движения среды на скорость света в ней, вслед за Френелем положив начало *оптике движущихся сред*.

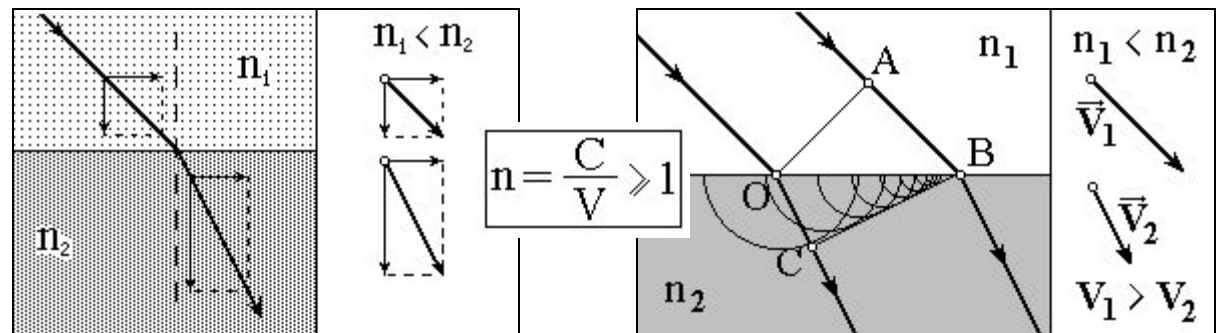
Однако, важно было не только уточнить саму величину скорости света, но и ответить на принципиально важный вопрос о том, где эта скорость больше: в более или в менее плотных средах? Корпускулярная теория Ньютона предсказывала, что большему преломлению света в среде должна соответствовать большая скорость. Кстати, именно так обстоит дело со скоростью звука. Волновые же представления со времен Гюйгенса строились на обратном соотношении: *чем больше показатель преломления среды, тем меньше в ней скорость света*. Блестящие опыты **Фуко** с вращающимися многогранными зеркальными призмами доказали, что в воде скорость света *почти на четверть меньше*, чем в воздухе. Сторонники волновой теории света торжествовали. Само значение скорости света в воздухе Фуко определил



Арман Луи Физо (1819-1896) - французский физик, член Парижской академии наук (1860), ее президент с 1878 года. Родился в Париже, учился в Колледж де Франс и Парижской обсерватории. С 1863 - профессор Политехнической школы. Основные работы посвящены оптике. В 1849 году разработал метод определения скорости света при помощи вращающегося зубчатого колеса (*метод Физо*) и первый измерил скорость света в земных условиях. Установил влияние движения среды на скорость распространения света (*опыт Физо* в движущейся воде). Этим опытом подтвердил волновую природу света и предвосхитил релятивистскую формулу сложения скоростей. В 1848 году дал правильную интерпретацию *эффекта Доплера* в оптике, показав, что при движении источника света и наблюдателя относительно друг друга должна изменяться длина световой волны. Разработал ряд тонких интерференционных методов, вместе с Фуко обнаружил *фраунгоферовы* линии в *инфракрасном* диапазоне спектра.



Жан Леон Фуко (1819-1868) - французский физик-экспериментатор, член Парижской, Берлинской и Петербургской академий наук. Родился в Париже. С 1855 года - физик Парижской обсерватории, с 1862 - член Бюро долгот. Исследования относятся к оптике, механике, электромагнетизму. При помощи маятника (*маятник Фуко*) экспериментально доказал вращение Земли вокруг оси. В 1852 году изобрел *гироскоп*, получивший широкое применение в технике. Обнаружил нагревание сплошных металлических тел индукционными токами (*токи Фуко*) и предложил способ их уменьшения. Разработал в 1850 году метод измерения скорости света при помощи вращающегося зеркала (*метод Фуко*) и измерил скорость света в воздухе и воде. Скорость света в воде по Фуко составила $3/4$ от скорости света в воздухе, что окончательно подтвердило волновую теорию света. В 1862 году Фуко вернулся к измерению скорости света в воздухе и получил для нее значение $(298\ 000 \pm 500)$ км/с. Разработал точный метод изготовления зеркал для больших рефлекторов и предложил использовать вместо металлических зеркал более легкие и дешевые стеклянные, покрывая их пленкой серебра. Первым установил связь между *линиями поглощения и излучения*.



СВЕТ КАК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ЭФИРЕ (вторая половина XIX века)

Представление о световых волнах как поперечных колебаниях эфира, этого “неосязаемого флюида”, нисколько не помогали понять, что именно колеблется в световых волнах. Только в 1845 году **Фарадей** впервые решил исследовать связь между светом и каким-либо другим физическим явлением, например магнетизмом. Пропуская поляризованный пучок света через свинцовое стекло, помещенное между полюсами электромагнита, он наблюдал **поворот плоскости поляризации** на значительный угол. Тем самым он не только положил начало **магнитооптике**, но и убедительно доказал воздействие магнитного поля на световые колебания.

Следующий, поистине великий шаг в понимании природы света, был сделан **Максвеллом** почти через 20 лет, когда составленные благодаря его математическому гению дифференциальные уравнения для напряженностей электрического и магнитного векторов дали в качестве решения **электромагнитные волны**, распространяющиеся в свободном пространстве с конечной скоростью. Последняя в теории Максвелла оказалась комбинацией размерных констант, вычисления которых дали значение, совпавшее с

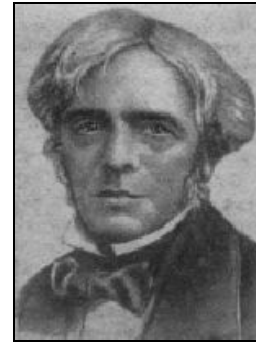
$$\left. \begin{aligned} \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} &= \text{rot } \vec{H} \\ \frac{\mu}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} &= -\text{rot } \vec{E} \end{aligned} \right\} \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} =$$

$$= \text{rot } \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{c}{\mu} \text{rot rot } \vec{E} =$$

$$= -\frac{c}{\mu} (\text{grad div } \vec{E} - \nabla^2 \vec{E})$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} &= \nabla^2 \vec{E} \\ \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} &= \nabla^2 \vec{H} \end{aligned} \right.$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} ; \quad v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$$



Майкл Фарадей (1791-1867) - английский физик, член Лондонского королевского общества и Петербургской академии наук. Родился в Лондоне, учился самостоятельно. В 1813 году стал ассистентом профессора Дэви в Королевском институте в Лондоне, в 1825 году стал директором лаборатории Королевского института, с 1833 по 1865гг. - профессор кафедры химии. Исследования в области электричества, магнитооптики, электрохимии. В 1821 году впервые осуществил вращение магнита вокруг проводника с током и проводника вокруг магнита, создав тем самым лабораторную модель *электродвигателя*. В 1831 году открыл явление *электромагнитной индукции* и установил ее законы.

В 1833 году сформулировал законы *электролиза* (законы Фарадея), ввел понятия подвижность, анод, катод, ионы, электролиты, электроды. В 1845 году открыл *диамагнетизм*, а в 1847 - *парамагнетизм*. Обнаружил (1845) явление *вращения плоскости поляризации света в магнитном поле* (*эффект Фарадея*). Это было первым экспериментальным доказательством связи между магнетизмом и светом. В 1846 году в своем мемуаре “Мысли о лучевых колебаниях” впервые высказал идею об *электромагнитной природе света*.



Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879) - английский физик, член Эдинбургского (1855) и Лондонского (1861) королевских обществ. Родился в Эдинбурге. Учился в Эдинбурге и Кембридже. По окончании последнего непродолжительный период преподавал в Тринити-колледж, в 1856-60 - профессор Абердинского университета, в 1860-65 - Лондонского королевского колледжа, с 1871 года - первый профессор экспериментальной физики в Кембридже. Под его руководством создана известная Кавендишская лаборатория в Кембридже, которую он возглавлял до конца своей жизни. Работы посвящены электродинамике, молекулярной физике, общей статистике, оптике, механике, теории упругости.

Наиболее весомый вклад Максвелл сделал в молекулярную физику и электродинамику. В кинетической теории газов, одним из основателей которой является, установил в 1859 году статистический закон, описывающий распределение молекул газа по скоростям (*распределение Максвелла*). В 1867 году первым показал статистическую природу второго начала термодинамики (“*демон Максвелла*”). Самым большим научным достижением Максвелла является созданная им в 1860-х годах *теория электромагнитного поля*, которую он сформулировал в виде системы нескольких уравнений (*уравнения Максвелла*), предсказав новый важный эффект: существование в свободном пространстве *электромагнитного излучения* (*электромагнитных волн*) и его распространение со скоростью света. Последнее дало ему основание считать (1865) свет одним из видов электромагнитного излучения (*идея электромагнитной природы света*) и раскрыть связь между оптическими и электромагнитными явлениями.

СВОЙСТВА СВЕТОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН (вторая половина XIX века)

Экспериментальное подтверждение теории Максвелла было получено Герцем в опытах с разряжающейся лейденской банкой. Поскольку *колебательный характер разряда конденсатора* уже был известен (Генри, 1842), то осталось лишь заметить, что искрение проводников усиливается при уменьшении емкости банки. Превратив ее в конечном итоге в первое подобие *антенны*, Герц получил электромагнитные колебания с $\lambda = 50\text{см}$ и серией блестящих опытов доказал тождественность их свойств световым колебаниям (отражение, преломление, интерференция, дифракция, поляризация).

Чуть позже была доказана взаимная ортогональность векторов \mathbf{E} , \mathbf{H} и \mathbf{k} (*волновой вектор*, задающий направление распространения света и обратный длине волны) и был введен коллинеарный последнему вектор **Пойнтинга** \mathbf{S} ,

Генрих Рудольф Герц (1857-1894) - немецкий физик, чл.-корр. Берлинской академии наук (1889). Родился в Гамбурге. Окончил Берлинский университет (1880) и был ассистентом у Гельмгольца. В 1885-89 годах - профессор Высшей технической школы в Карлсруэ, с 1889 - профессор Боннского университета. Основные работы относятся к электродинамике и механике. В 1887 году предложил удачную конструкцию генератора электромагнитных колебаний (*вибратор Герца*) и метод их обнаружения с помощью резонанса (*резонатор Герца*), впервые разработав теорию излучения электромагнитных волн. Экспериментально доказал существование предсказанных Максвеллом *электромагнитных волн*, распространяющихся в свободном эфире, наблюдал их *отражение, преломление, интерференцию и поляризацию*. Установил, что скорость их распространения равна скорости света.

Джон Генри Пойнтинг (1852-1914) - английский физик, член Лондонского королевского общества (1888), его вице-президент в 1910-11гг. Родился в Монтоне. Окончил Лондонский (1872) и Кембриджский (1876) университеты. В 1876-78 годах работал в Манчестерском университете, в 1878-80 - в Кавендишской лаборатории. С 1900 года - профессор, декан факультета наук Бирмингемского университета. Работы посвящены изучению электрических явлений, переносу энергии, теории излучения и давления света, радиации. Ввел в 1884 году понятие о потоке электромагнитной энергии (*вектор Умова - Пойнтинга*), используемое в т.ч. в оптике. В 1903 высказал идею о торможении солнечным светом движения космических тел (*эффект Пойнтинга - Робертсона*).

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$\mathbf{E}(z,t) = E_1(ct - z) + E_2(ct + z)$$

$$\mathbf{E}(z,t) = E_0 \cos(\mathbf{k} \cdot (ct - \mathbf{z})) = E_0 \cos(\omega t - kz)$$

$$\frac{\partial^2 (\mathbf{rE})}{\partial r^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 (\mathbf{rE})}{\partial t^2} = 0$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r},t) = \frac{E_1(ct - z)}{r} + \frac{E_2(ct + z)}{r}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{r} \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$$

$$\mathbf{E} = E_0 \cdot \exp(i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}))$$

$$\text{rot } \bar{\mathbf{E}} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = -i \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ k_x & k_y & k_z \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}$$

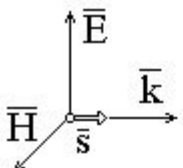
$$\text{rot } \bar{\mathbf{E}} = -i(\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{E}}); \quad \frac{\partial \bar{\mathbf{H}}}{\partial t} = i\omega \bar{\mathbf{H}}$$

$$\mathbf{H} = H_0 \cdot \exp(i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}))$$

$$\frac{\partial \bar{\mathbf{H}}}{\partial t} = -i\omega \bar{\mathbf{H}}; \quad \text{rot } \bar{\mathbf{E}} = -i(\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{E}})$$

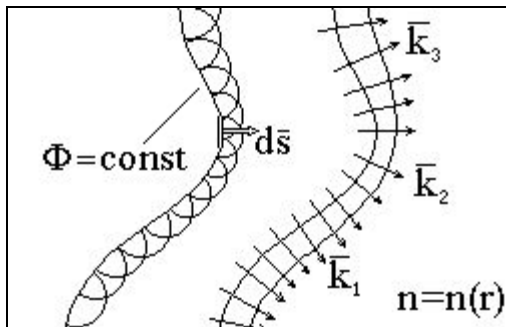
$$-\frac{\mu}{c} \frac{\partial \bar{\mathbf{H}}}{\partial t} = \text{rot } \bar{\mathbf{E}}$$

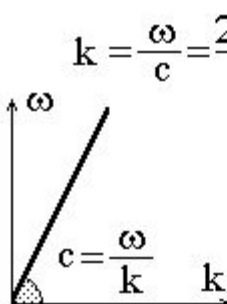
$$(\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{E}}) = \frac{\mu\omega}{c} \bar{\mathbf{H}}$$



$$\begin{cases} \frac{\mu\omega}{c} \bar{\mathbf{H}} = (\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{E}}) \\ -\frac{\varepsilon\omega}{c} \bar{\mathbf{E}} = (\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{H}}) \end{cases}$$

$$\bar{\mathbf{k}} = \frac{\omega}{v} \bar{\mathbf{s}} \quad k^2 = \frac{\omega^2 \varepsilon \mu}{c^2}$$





$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{2\pi}{cT} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

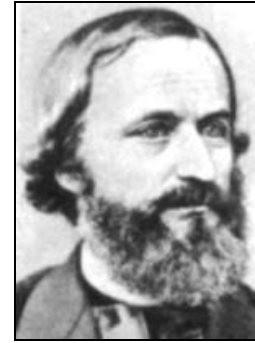
$$W = \hbar\omega$$

$$\bar{\mathbf{P}} = \hbar\bar{\mathbf{k}}$$

	$\lambda, \mu\text{m}$	W, eV	$\omega, \text{rad/s}$
visible	0.76	1.6	$2.5 \cdot 10^{15}$
IR	2.0	0.6	10^{15}
m.wave	500	0.003	$4 \cdot 10^{14}$
	10^4	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{13}$
R W	uhf	$2 \cdot 10^8$	10^7
	rf	$3 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^4$
audio		$4 \cdot 10^{-11}$	

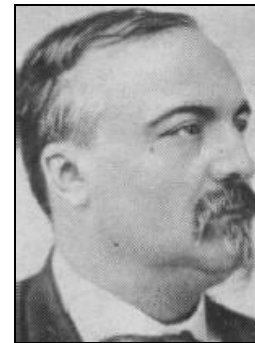
СКАЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ ДИФРАКЦИИ (вторая половина XIX века)

Строгое математическое описание дифракции на языке интегральных преобразований стало возможным только после того, как была выяснена физическая природа света как электромагнитных волн определенного спектрального диапазона. Появление теории Максвелла подтолкнуло **Кирхгофа** к нахождению формул для напряженности поля в точке наблюдения P , куда доходит возмущение, вызванное сферической волной от точечного источника S или плоской волной, падающей из бесконечности (последнюю задачу с успехом решал **Корню**). В обоих случаях экраны, на которых волна дифрагирует, становятся источниками вторичных волн, а результирующая напряженность находится по принципу суперпозиции. Исходя из волнового уравнения и интегральной теоремы Грина, а также используя т.н. **оптическое приближение**, Кирхгофу удалось не только обосновать принцип Гюйгенса-Френеля, но и устранить трудности их теории, касающиеся свойств вторичных волн: был обоснован фазовый сдвиг вторичных волн и определена зависимость их амплитуды от угла α

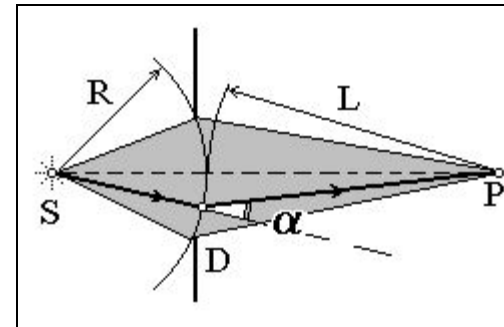
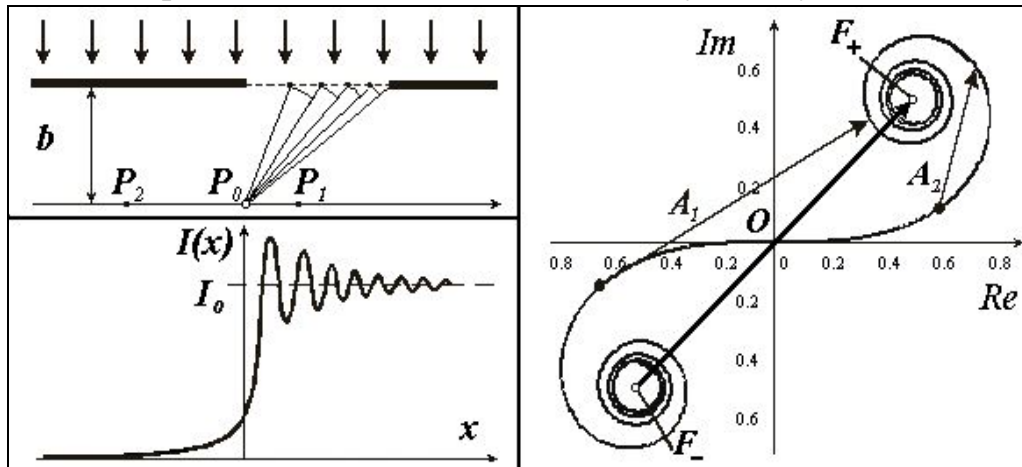


Густав Роберт Кирхгоф (1824-1887) - немецкий физик, член Берлинской и Петербургской академий наук. Родился в Кенигсберге. Окончил Кенигсбергский университет (1846), профессор Бреславльского (1850), Гейдельбергского (1854) и Берлинского (1875) университетов. Работы посвящены электричеству, механике, гидродинамике, математической физике и оптике. В 1845-47 годах открыл закономерности в протекании электрического тока в разветвленных электрических цепях (правила Кирхгофа). Совместно с Бунзенем в 1859 году разработал метод *спектрального анализа* и открыл новые элементы - цезий и рубидий.

В 1859 году установил один из основных *законов теплового излучения*, согласно которому отношение *испускательной способности* тела к *поглощательной* не зависит от природы излучающего тела (*закон Кирхгофа*). Первым предложил (1862) концепцию *черного тела* и создал его модель. Открыл *обращение спектров* (1860), объяснил происхождение *фраунгоферовых линий*, высказал предположение, что Солнце состоит из раскаленной жидкой массы, окруженной атмосферой пара. В 1882 году развил *скалярную теорию дифракции*.



Альфред Корню (1841-1902) - французский физик, член Парижской академии наук, с 1896 - ее президент. Иностраный член Петербургской академии наук (1888). Родился в Орлеане. Учился в Политехнической и Горной школах в Париже. С 1864 года преподавал в Политехнической школе (с 1867 - профессор). Работы относятся к оптике, кристаллофизике, спектроскопии, акустике. Исследовал распределение интенсивности света при *дифракции* (*спираль Корню*), *ультрафиолетовые спектры* различных элементов, усовершенствовал метод Физо определения скорости света (1874). В 1898 обнаружил аномальный эффект Зеемана.



$$K(\alpha) = \frac{ik}{4\pi} (1 + \cos \alpha)$$

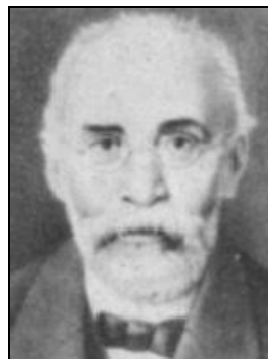
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \frac{1}{R}; \frac{1}{L} \ll k$$

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ (конец XIX века)

Исследования закономерностей расположения спектральных линий различных элементов, а также попытки количественно описать характеристики самих линий (*полуширина, форма огибающей, тонкая структура* и т.п.) фактически завершили историю традиционной волновой оптики.

Электронная теория дисперсии **Лоренца** стала вершиной достижений классической физики в области излучения. Она смогла объяснить *естественную ширину* спектральной линии, эффекты *ударного и доплеровского уширения*, позволила подвести количественные критерии под понятия *когерентности и монохроматичности*, наконец описать интерференционные и дифракционные явления на языке *затухающих волн* и *волновых цугов*.

Однако, начиная с работ **Бальмера**, Ритца и Ангстрема, спектроскопические данные все более указывают на квантовый характер взаимодействия света с веществом. Еще не родилась теория Планка с ее парадоксальной связью энергия-частота, но уже ясно, что спектральные серии не укладываются в простые последовательности кратных гармоник.



Хендрик Антон Лоренц (1853-1928) - нидерландский физик-теоретик, создатель классической электронной теории, член Нидерландской академии наук. Родился в Арнеме. Учился в Лейденском университете. В 1878-1913 годах - профессор Лейденского университета и заведующий кафедрой теоретической физики. Работы в области электродинамики, термодинамики, оптики, теории излучения, атомной физики. Исходя из электромагнитной теории Максвелла - Герца и вводя в учение об электричестве атомистику, создал (1880-1909) *классическую электронную теорию*, основанную на анализе движений дискретных электрических зарядов. Вывел формулу, связывающую диэлектрическую проницаемость с плотностью диэлектрика, и зависимость показателя преломления вещества от его плотности (*формула Лоренц - Лоренца*), дал выражение для силы, действующей на движущийся заряд в магнитном поле (*сила Лоренца*), объяснил зависимость электропроводности вещества от теплопроводности, развил *теорию дисперсии света*. Для объяснения опыта Майкельсона - Морли выдвинул (1892) гипотезу о сокращении размеров тел в направлении их движения (*сокращение Лоренца*). В 1904 году вывел формулы, связывающие между собой пространственные координаты и моменты времени одного и того же события в двух различных инерциальных системах отсчета

(*преобразования Лоренца*). Подготовил переход к теории относительности.



Йоганн Якоб Бальмер (1825-1898) - швейцарский физик и математик. Родился в Лозанне. Учился в Базеле, Карлсруэ, Берлине. В 1849 году получил степень доктора в Базельском университете. С 1859 года преподавал в средней школе и в 1865-90 - в Базельском университете. Физические работы в области спектроскопии. Обнаружил закономерность в спектральных линиях атома водорода, показав в 1885 году, что длины волн линий видимой части спектра атома водорода связаны между собой простой зависимостью (*формула Бальмера*), которая дает возможность определить длины волн всех линий этой водородной серии (*серия Бальмера*). Это открытие послужило толчком для обнаружения других серий в спектре атома водорода - серий Лаймана, Пашена, Брэкетта и Пфунда. Был пионером в изучении структуры атома.

$$m\ddot{x} + m\gamma\dot{x} + m\omega_0^2x = 0$$

$$x(t) = x \exp\left(-\frac{\gamma t}{2}\right) \cdot \exp(i\omega_0 t)$$

$$\vec{p} = q\vec{x}$$
