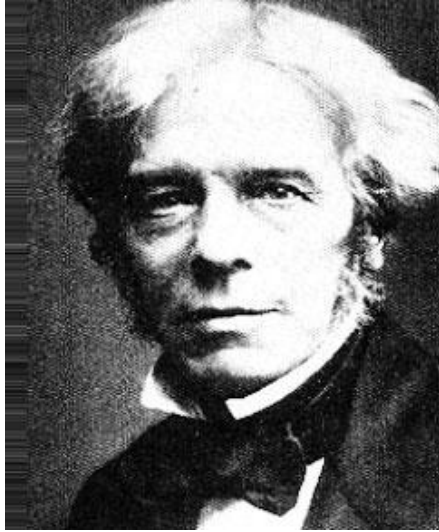


**Фундаментальные
представления современной
физики:
от взаимодействий
элементарных частиц до
структуры и эволюции
Вселенной**

Лекция 2

СВЕТ м. — состоянье, противное тьме,
темноте, мраку, потемкам,
что дает способ видеть;
иные *свет* принимают за
сотрясение малейших частиц вещества,
другие — за особое, тончайшее вещество,
разливаемое всюду солнцем и огнем.

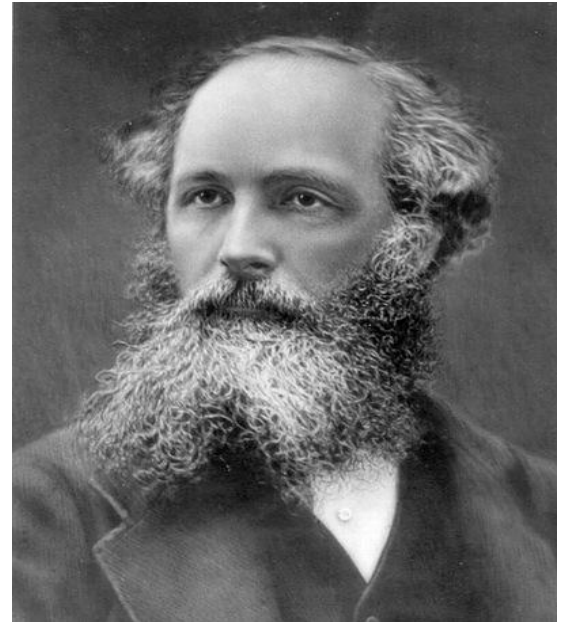
Толковый словарь Даля.



Идея
электромагнитного поля.
1832 г.

Майкл Фарадей
(1791 – 1867)

Теория ЭМ поля.
Свет представляет
собой
электромагнитную
волну.
1865 г.



Джеймс К. Максвелл
(1831 – 1879)



Экспериментальное
открытие ЭМ волн.
1888 г.

Генрих Герц
(1857 – 1894)

Потенциал электромагнитного поля

$$A_0, \quad \vec{A} = (A_1, A_2, A_3).$$

$$\vec{E} = -grad A_0 - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t},$$

$$\vec{B} = rot \vec{A}.$$

$$A_\mu \quad (\mu = 0, 1, 2, 3)$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) A_\mu - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_\mu}{\partial t^2} = 0.$$

Решение волнового уравнения

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) A_\mu - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_\mu}{\partial t^2} = 0.$$

$$A_\mu(t, \vec{x}) = \\ F(\omega t - \vec{k} \vec{x}) + G(\omega t + \vec{k} \vec{x}),$$

$$\frac{1}{c^2} \omega^2 = k_1^2 + k_2^2 + k_3^2 = \vec{k}^2.$$

Плоская монохроматическая волна

$$F(\omega t - k x)$$

$$A_{\mu}(\omega; t, x) = \\ a(\omega) \sin(\omega t - k x) + b(\omega) \cos(\omega t - k x) .$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} , \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} ; \quad \omega = k c , T = \frac{\lambda}{c} .$$

Разложение поля по монохроматическим волнам

$$\begin{aligned} A_{\mu}(t, x) &= \int_0^{\infty} A_{\mu}(\omega; t, x) d\omega \\ &= \int_0^{\infty} A_{\mu}(k; t, x) dk. \end{aligned}$$

$$A_{\mu}(t, \vec{x}) = \int_{(\vec{k})} A_{\mu}(\vec{k}; t, \vec{x}) d\vec{k}.$$

Скорость света в вакууме

$$c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$$

— фундаментальная постоянная,
максимальная скорость
движения частиц и
распространения взаимодействий.



Свет от Солнца доходит до Земли
за 8 минут 19 секунд.

Время распространения светового луча от Земли до Луны
= 1,255 сек.

Эффективная скорость света в веществе
меньше, чем в вакууме.

Например, скорость света в воде $v=3/4$ с.

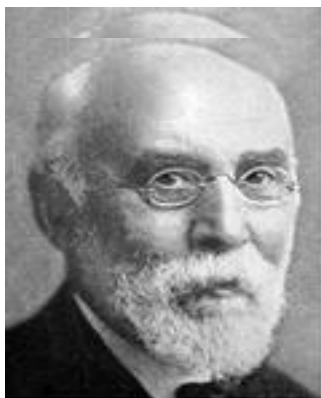
Это - не замедление частиц света, а их

поглощение и излучение заново

заряженными частицами вещества.

Крайний пример - «полная остановка света» -
поглощение света набором атомов, и его
когерентное излучение через некоторое
время.

Специальная теория относительности



Гендрик А. Лоренц
(1853 – 1928)



Анри Пуанкаре
(1854 – 1912)



Альберт Эйнштейн
(1879 – 1955)

Четырёхмерное пространство-время

$$\tilde{x} = \{x_\mu\}, \quad \mu = 0, 1, 2, 3; \quad x_0 = ct.$$

$$P, \quad Q; \quad \Delta x_\mu = x_\mu(P) - x_\mu(Q)$$

$$s^2 = \\ - (\Delta x_0)^2 + (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + (\Delta x_3)^2.$$

4-вектор энергии-импульса

$$\tilde{p} = \left(\frac{1}{c} E, p_1, p_2, p_3 \right)$$

$$(\tilde{p}, \tilde{x}) = -p_0 x_0 + p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 .$$

Преобразования Лоренца

$$x_{\mu} = \sum_{\nu=0}^3 \Lambda_{\mu}^{\nu} x_{\nu} .$$

$$A_{\mu} = \sum_{\nu=0}^3 \Lambda_{\mu}^{\nu} A_{\nu} .$$

Релятивистское соотношение между энергией и импульсом
точечной частицы

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m^2 c^4 .$$

$$(\tilde{p} , \tilde{p}) = - m^2 c^2 .$$

$$E_0 = m c^2 ;$$

$$m = 0 : \quad E = p c .$$

Измерение с точки зрения классической физики

Постулат:

одновременно можно измерить
сколь угодно точно
любое число величин

Экспериментальное открытие давления света.
(П.Н. Лебедев 1900 г.)

Электромагнитная волна (или фотоны)
при взаимодействии с телом
передают ему импульс.

Солнечный парус

Макс Планк:
излучение абсолютно чёрного тела.
1900 г.

$$\varepsilon = \hbar\omega, \quad \hbar = 1,054 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}.$$

А. Эйнштейн: теория фотоэффекта. Фотон
1905 г.

Измерение – взаимодействие прибора
с объектом измерения.

Невозможно одновременно
измерить абсолютно точно
координату и импульс частицы !

Принцип неопределённостей:

$$\Delta x \Delta p \sim \hbar$$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$



Квантовая механика

Квантовая механика

1925 г.

Наблюдаемые – операторы
(матрицы)



Вернер Гейзенберг
(1901 – 1976)

Как вычислить средние
значения наблюдаемых.

Оператор состояния
1927 г.



Джон фон Нейман
(1903 – 1957)

Как построить квантовую теорию из классической

Эволюция наблюдаемых во
времени.

Коммутаторы и
антикоммутаторы операторов.



Поль А.М. Дирак
(1902 – 1984)

Как устроена классическая механика: (Ньютон, Эйлер, Лагранж, Гамильтон, Пуассон...)

канонические координаты q

канонические импульсы p

все наблюдаемые $g(p, q)$,

энергия $E = h(p, q)$

состояние системы: $(\underline{p}, \underline{q})$

значение наблюдаемой в состоянии $(\underline{p}, \underline{q})$: $g(\underline{p}, \underline{q})$

эволюция: $q(t), p(t)$; $\dot{g} = \{g, h\}$

Как устроена квантовая механика:

оператор координаты Q

оператор импульса P

все наблюдаемые – операторы: $G = g(P, Q)$,

оператор энергии: $H = h(P, Q)$

состояние системы: оператор N

среднее значение наблюдаемой в состоянии N :

$$\text{Tr}(GN)$$

эволюция: $Q(t), P(t); \quad \dot{G} = i [H, G] = i (HG - GH)$