

# Учите и повторяйте ННЗ по физике!

- Если к каждому вопросу вы можете нарисовать одну картинку – это неплохо
- Если к каждому вопросу вы можете нарисовать ДВЕ картинки – это хорошо
- Это поможет сделать ваш рейтинг таким, каким вы его хотите видеть

## Связь этой лекции с вопросами ННЗ - буклет

3.10. Уравнение плоской монохроматической бегущей ЭМВ

3.12. Условия возникновения ЭМ излучения. Излучение диполя

4.14. Классическая и квантовая картины излучения света.  
Излучение диполя

«Три вещи» для запоминания прямо сейчас

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.11)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.12)$$

Уравнения плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в положительном направлении оси z

$$I_{\text{ИЗЛ}} \propto E_m^2 \omega^4 \quad (18.8)$$

Зависимость интенсивности излучения от частоты и амплитуды

В классическом представлении электромагнитное излучение порождается ускоренно движущимися электрическими зарядами или переменными токами

## Л.18 Переменные поля. Излучение света

Классическая картина распространения и генерации ЭМИ

$$\oint_S \vec{D} d\vec{s} = \int_V \rho_q dV \quad (1.7)$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{s} = 0 \quad (1.8)$$

$$\oint_l \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s} \quad (1.9)$$

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{s} + \int_S \vec{j} d\vec{s} \quad (1.10)$$

Переменное электромагнитное поле может существовать в пространстве само по себе (без вещества) и распространяться в виде ЭМВ – это видно из уравнений Максвелла

Пустое пространство – нет токов и зарядов

$$\oint_S \vec{E} ds = 0 \quad (18.1)$$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \quad (18.5)$$

$$\oint_S \vec{B} ds = 0 \quad (18.2)$$

$$\epsilon = 1$$

Вакуум

$$\oint_l \vec{E} dl = - \int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} ds \quad (18.3)$$

$$\mu_0 \epsilon_0 = 1/c^2 \quad (18.7)$$

$$\oint_l \vec{B} dl = \frac{1}{c^2} \int_s \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} ds \quad (18.4)$$

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} \quad (18.6)$$

$$\mu = 1$$

Вакуум

## Электромагнитные волны

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.11)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.12)$$

Уравнения плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в положительном направлении оси  $z$

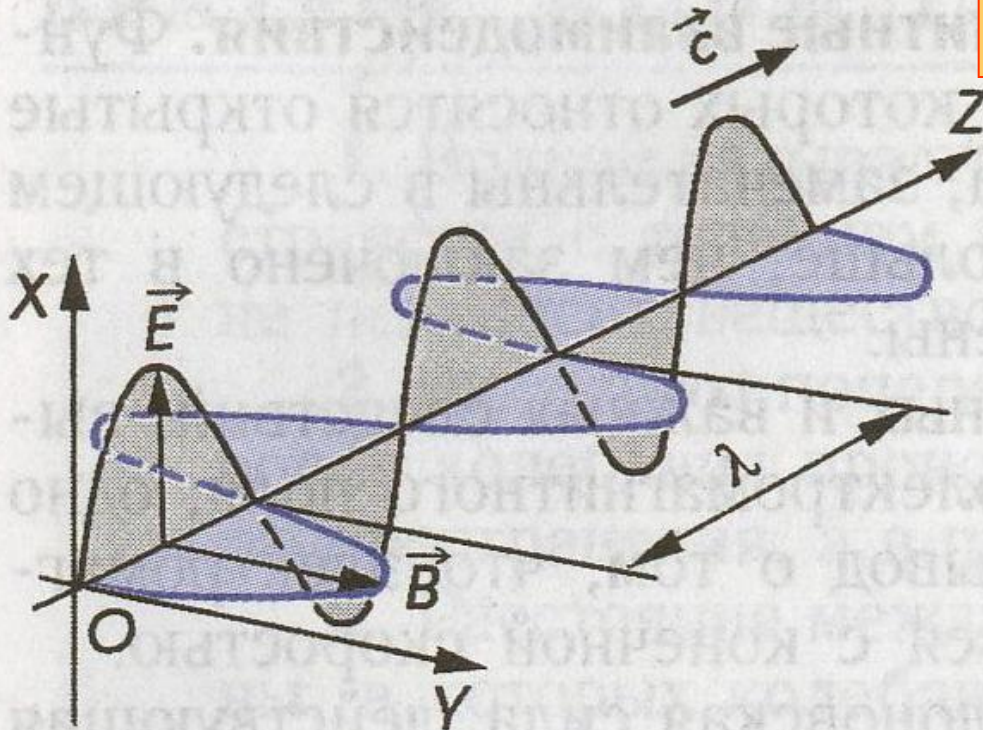


Рис. 120

## Откуда берутся ЭМВ?

Покоящийся заряд  $\rightarrow$  постоянное электрическое поле

Равномерно движущийся заряд  $\rightarrow$  переменное электрическое поле + переменное магнитное поле, но излучения нет (принцип относительности = равноправность всех ИСО)

Ускоренно движущийся заряд  $\rightarrow$  переменное электрическое поле + переменное магнитное поле = излучение

Примеры были:

л.7 – тормозное рентгеновское излучение

л.7 и л.16 – магнетрон (микроволновая печь)

## Интенсивность излучения диполя

$$I_{\text{э}} = \frac{q^2 l_0^2 \omega^4 \cos^2 \psi}{32\pi^2 \varepsilon_0 r^2 c^3} \quad (18.8)$$

$$p_e = ql_0 \cos(\omega t) \quad (18.9)$$

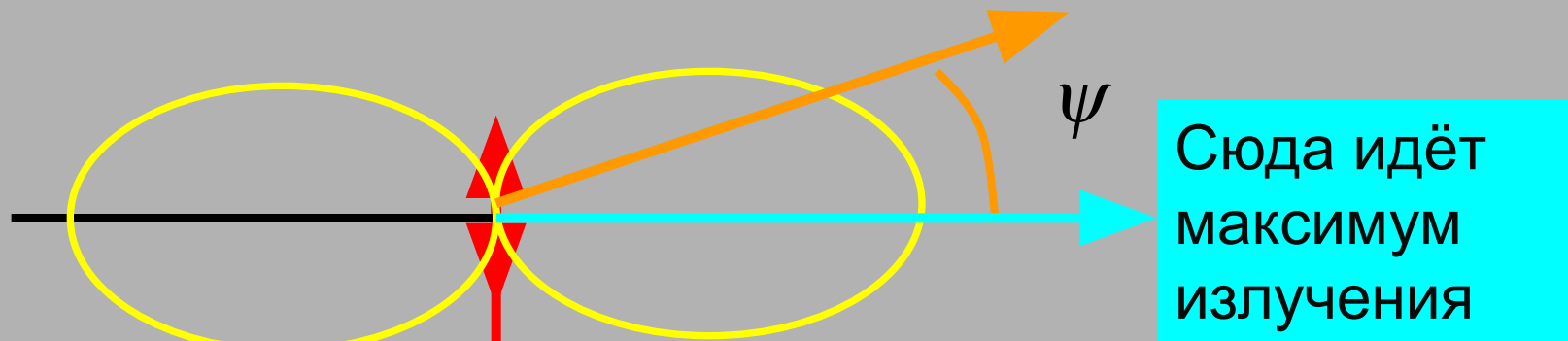


Диаграмма направленности излучения диполя

Сюда излучение не идёт вообще



## Анализ формулы для интенсивности излучения диполя: зависимость от частоты

$$I_{\text{э}} = \frac{q^2 l_0^2 \omega^4 \cos^2 \psi}{32\pi^2 \varepsilon_0 r^2 c^3} \quad (18.8)$$

Интенсивность излучения мала на малых частотах даже при большой амплитуде.

1) Вот почему излучаемый сигнал необходимо модулировать (100 МГц по сравнению с 1 кГц)

2) Вот почему небо днём голубое, а Солнце на закате и восходе красное

«Три вещи» для запоминания прямо сейчас

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.11)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.12)$$

Уравнения плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в положительном направлении оси z

$$I_{\text{ИЗЛ}} \propto E_m^2 \omega^4 \quad (18.8)$$

Зависимость интенсивности излучения от частоты и амплитуды

В классическом представлении электромагнитное излучение порождается ускоренно движущимися электрическими зарядами или переменными токами

Что такое интенсивность? Связь энергии колебаний и волн с их амплитудой

Колебания

$$W = \frac{\tilde{m}\dot{\xi}^2}{2} + \frac{\tilde{k}\xi^2}{2} \quad (10.6)$$

$$\xi(t) = \xi_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0) \quad (10.8)$$

Волны

$$\rho_W = \frac{dW}{dV} \quad (18.10)$$

$$j_W = \rho_W v_{gr} \quad (11.5)$$

$$\xi(x, t) = \xi_m \cos(kx - \omega t + \alpha_0) \quad (11.0)$$

$$W \propto \xi_m^2 \quad (18.11)$$

$$\rho_W \propto W \propto \xi_m^2 \quad (18.12)$$

Что такое интенсивность? Связь энергии ЭМВ с их амплитудой

ЭМВ = электрическое поле + магнитное поле

$$\rho_{WE}(t) = \frac{D(t)E(t)}{2} \quad (18.13)$$

Плотность энергии электрического поля

$$\rho_{WB}(t) = \frac{B(t)H(t)}{2} \quad (18.14)$$

Плотность энергии магнитного поля

$$\sqrt{\varepsilon_0} E_m = \sqrt{\mu_0} H_m \quad (18.15)$$

Связь амплитуд НЭП и НМП в ЭМВ в вакууме

Что такое интенсивность? Связь энергии ЭМВ с их амплитудой

ППЭ ЭМВ быстро изменяется со временем

$$j_{\text{ЭМВ}}(t) = v_{\text{gr}} \left\{ \frac{D(t)E(t)}{2} + \frac{B(t)H(t)}{2} \right\} \quad (18.16)$$

Поэтому пользуются интенсивностью – средним значением ППЭ ЭМВ по времени за период

$$\langle j_{\text{ЭМВ}} \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} j_{\text{ЭМВ}}(t) dt \quad (18.17)$$

$$I_{\text{ЭМВ}} = E_m H_m / 2 \quad (18.18)$$

Определение среднего значения по времени за промежуток тау

# Квантовая картина распространения и генерации ЭМИ

ЭМИ - фотоны

Двигутся в вакууме со скоростью  $c$  относительно любой ИСО

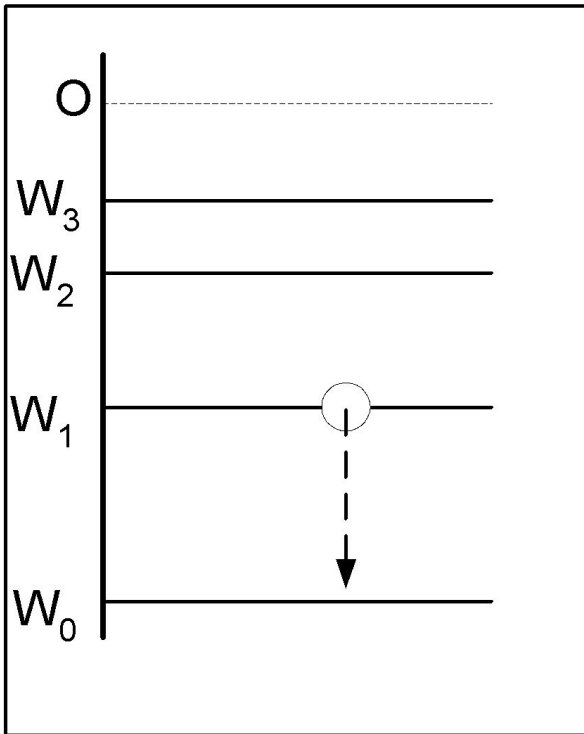
Энергия ЭМИ пропорциональна числу фотонов

Энергия одного фотона пропорциональна частоте ЭМИ

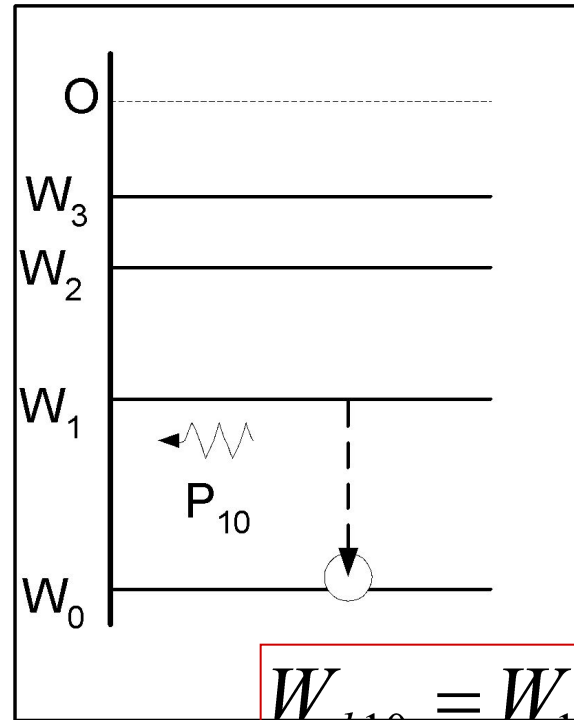
$$W_{\phi} = \hbar \omega \quad (1.13)$$

$$p_{\phi} = \hbar k \quad (1.15)$$

# Спонтанное излучение света атомом



До излучения:  
атом в первом  
возбуждённом  
состоянии



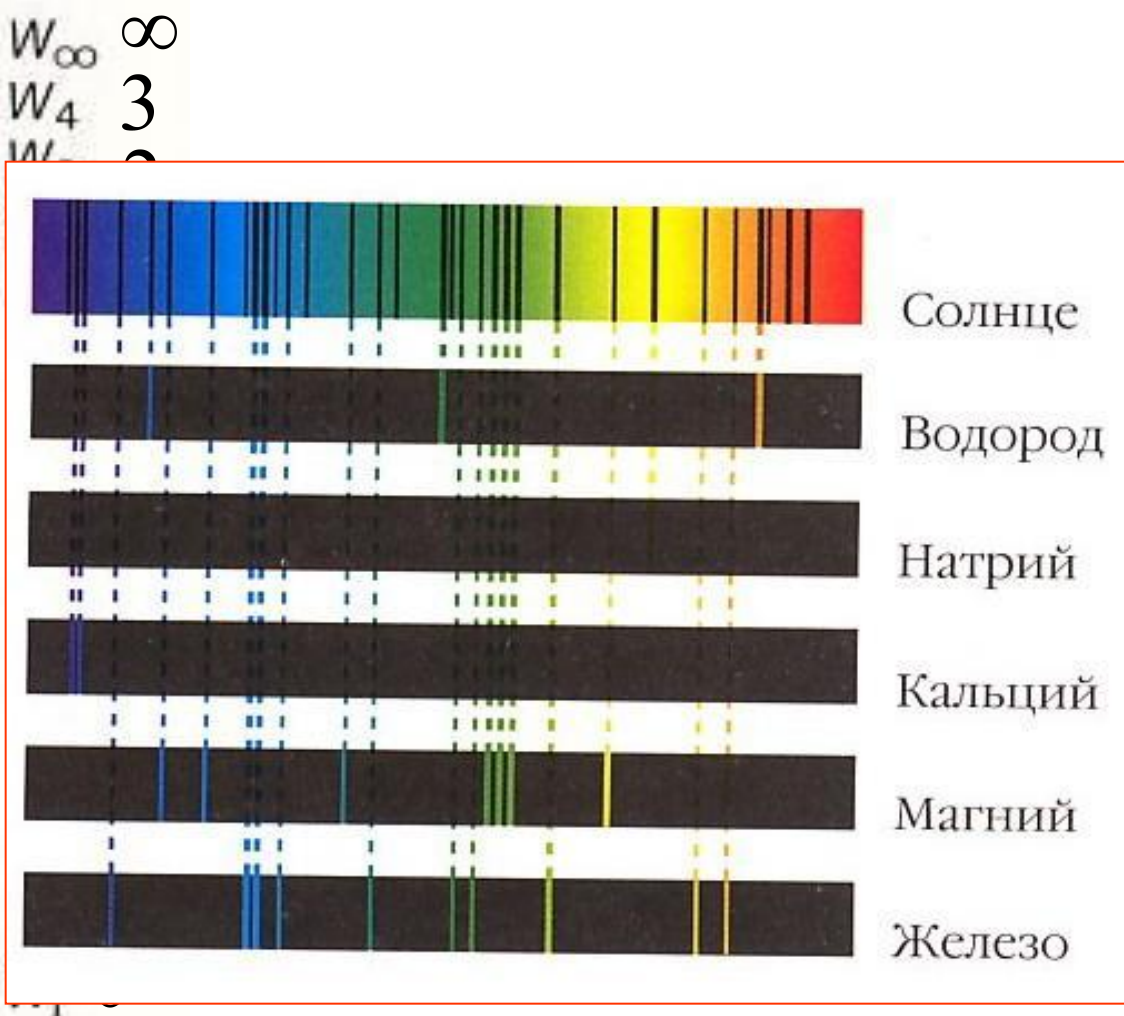
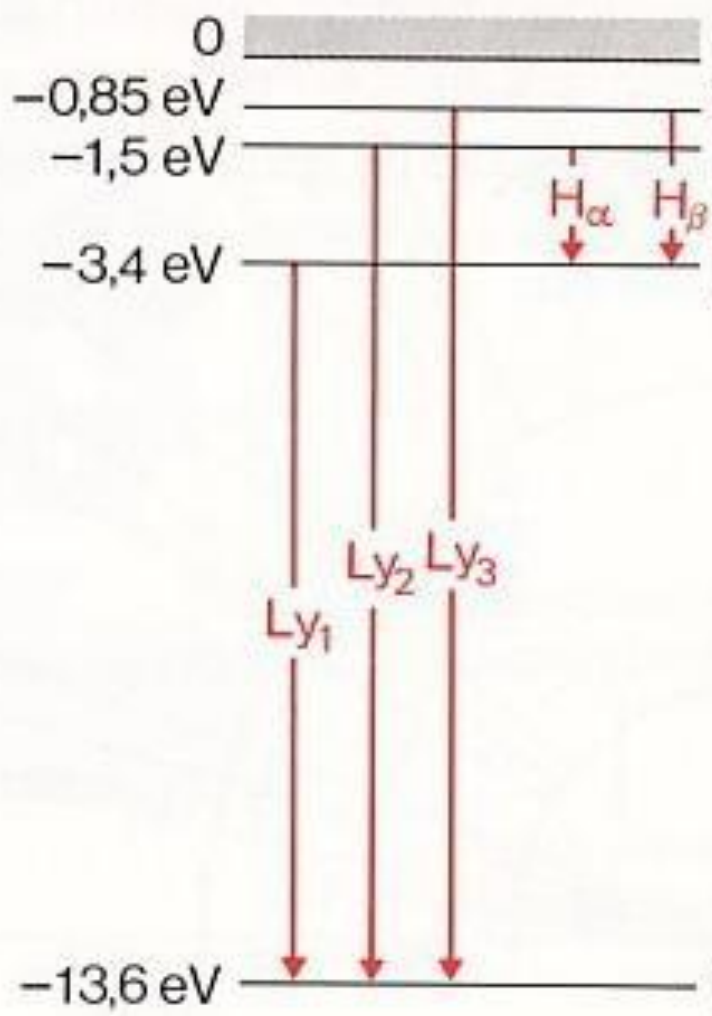
$$W_{\phi_{10}} = W_1 - W_0 \quad (18.19)$$

После излучения:  
атом перешёл в  
основное  
состояние, испустив  
фотон (photon)

Схема уровней энергии атома водорода

$$W_n = -\frac{W_I}{(n+1)^2} \quad (18.20)$$

27.3 Energieniveauschema





Спектральный анализ - прикладная наука и технология (David Alter, 1854, USA; Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen, 1860, Deutschland )

Спектральный анализ на многих производствах: количественно определяется химический состав материалов

Спектральный анализ в астрофизике: количественно определяется химический состав звёзд

Спектральный анализ в астрономии: с помощью эффекта Доплера количественно определяется скорость движения звёзд и галактик

Линии в спектрах удалённых галактик смещены в красную сторону: Вселенная расширяется (закон Хаббла). Значит был Большой Взрыв!

«Три вещи» для запоминания прямо сейчас

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.11)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_m \cos(kz - \omega t) \quad (1.12)$$

Уравнения плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в положительном направлении оси z

$$I_{\text{ИЗЛ}} \propto E_m^2 \omega^4 \quad (18.8)$$

Зависимость интенсивности излучения от частоты и амплитуды

В классическом представлении электромагнитное излучение порождается ускоренно движущимися электрическими зарядами или переменными токами