



# Виртуальный курс физики

## Оптика

Лекция 16. Квантовая оптика

---

**ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ПОДГОТОВКА К ЕГЭ**



**Уважаемые друзья!**

**Вы выбрали Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I и поступили, несомненно, правильно!**

**Наш университет основан в 1809 году. Это старейший инженерный транспортный вуз России. Это "особенный институт" - так в манифесте назвал его Император Александр I.**

**Для того, чтобы успешно пройти вступительные испытания и стать студентом одного из лучших технических вузов России, необходимо иметь высокую подготовку по физике.**

**Как правило, уровень подготовки выпускников школ не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к поступающим в высшие учебные заведения. Повысить этот уровень и качественно подготовиться к вступительным испытаниям по физике в технический университет помогут преподаватели факультета довузовской подготовки.**

**Факультет довузовской подготовки организует и проводит курсы по подготовке к поступлению в вуз по программам, соответствующим требованиям ЕГЭ.**

**Занятия проводятся по очной и заочной формам обучения. Занятия по очной форме обучения проводятся в дневное время - с 16.25 (тел. [457-84-04](tel:457-84-04)), и в вечернее время - с 18.00 (тел. [457-87-83](tel:457-87-83)). Мы с удовольствием ответим на все Ваши вопросы.**

**Факультет довузовской подготовки**

***Курс дистанционного обучения по физике  
изложен в авторской редакции доцента  
Петербургского государственного университе-  
та путей сообщения Императора Александра I  
Кытина Юрия Александровича***

## ОПТИКА

### Лекция 16.

**Тема: Квантовая оптика. Кванты света. Фотозффект и его законы. Уравнение Эйнштейна для фотозффекта.**

*Квантовой оптикой* называется раздел физики, в котором изучаются распространение света и его взаимодействие с веществом на основе представлений о квантовом характере излучения.

#### 16.1. Кванты света

В квантовой оптике свет рассматривается как поток *фотонов* – частиц, не имеющих массы в состоянии покоя ( $m_0 = 0$ ) и движущихся со скоростью света в вакууме  $c$ . Энергия движущегося фотона связана с частотой  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$  соотношениями

$$W = h\nu = \frac{hc}{\lambda_0},$$

где  $h$  – постоянная Планка ( $h = 6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с);  $\lambda_0$  – длина волны света в вакууме.

Импульс фотона

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_0}.$$

При движении со скоростью света  $c$  фотон имеет массу

$$m = \frac{h\nu}{c^2}.$$

В приведенных соотношениях энергия, импульс и масса фотона выражены через волновые характеристики: частоту и длину волны. В этом проявляется *корпускулярно-волновой дуализм* (двойственность) света. При малых частотах преобладают волновые свойства, а при больших – корпускулярные.

## 16.2. Фотоэффект и его законы. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

*Фотоэлектрическим эффектом* называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

Основные закономерности фотоэффекта установлены опытным путем. На рис. 16.1 представлена схема такого опыта (опыт А. Г. Столетова).

Пучок света от источника  $S$  падает на металлическую пластину  $K$ , которая является катодом. Анодом в этом опыте служит тонкая металлическая сетка  $A$ . При освещении катода в электрической цепи возникает ток, регистрируемый гальванометром  $G$ . Этот ток создается электронами, вырванными светом в результате фотоэффекта из катода.

На рис. 16.2 приведены зависимости силы тока  $I$  (фототока) от напряжения  $U$  между катодом и анодом при двух разных освещенностях  $E_1$  и  $E_2$  катода. Из этих зависимостей видно, что при  $U = U_{\text{нас}}$  сила тока при данной освещенности  $E$  достигает максимального значения  $I_{\text{нас}}$ , которое называется *током насыщения*. При увеличении освещенности ( $E_2 > E_1$ ) сила тока насыщения больше ( $I_{\text{нас}2} > I_{\text{нас}1}$ ). Это означает, что при большей освещенности из катода вырывается большее число электронов.

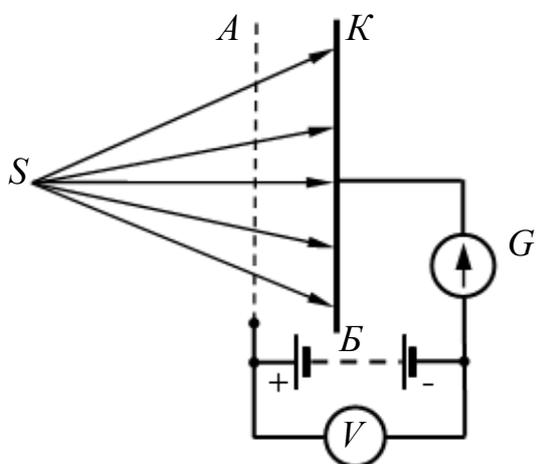


Рис. 16.1

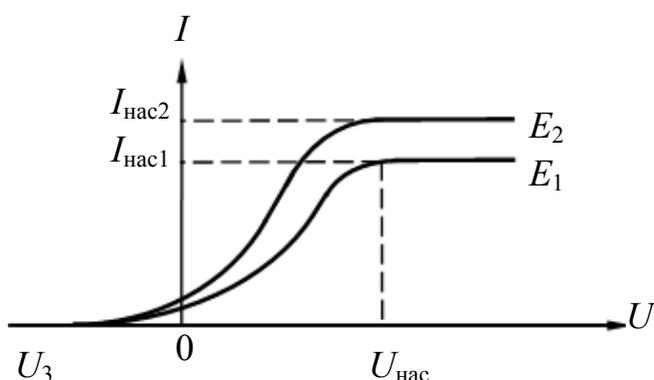


Рис.16.2

Существование тока при  $U < 0$  объясняется тем, что выбитые из катода электроны обладают кинетической энергией, благодаря которой они преодолевают силы отталкивания электрического поля и достигают анода. При  $U = U_3$  (где  $U_3$  – *задерживающее напряжение*) фототок прекращается, так как вся кинетическая энергия электронов расходуется на работу против сил поля:

$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU_3.$$

Явление фотоэффекта описывается следующими опытными законами:

- 1) максимальная начальная скорость фотоэлектронов зависит от частоты света, свойств поверхности металлов и не зависит от освещенности;
- 2) общее число фотоэлектронов, вырванных с поверхности вещества за единицу времени, и сила фототока прямо пропорциональны освещенности;
- 3) для каждого вещества существует такая наименьшая частота  $\nu_{\min}$  (или наибольшая длина волны  $\lambda_{\max}$ ), при которой еще невозможен внешний фотоэффект. Значение  $\nu_{\min} (\lambda_{\max})$  называется *красной границей фотоэффекта*.

Используя гипотезу квантовой природы света, А. Эйнштейн вывел закон фотоэффекта, который является выражением закона сохранения энергии в фотоэлектрических процессах: энергия фотона  $h\nu$  затрачивается на работу выхода  $A_{\text{вых}}$ , которую совершает электрон при выходе из металла, и на сообщение электрону кинетической энергии  $\frac{mv_{\max}^2}{2}$ :

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

Уравнение Эйнштейна позволяет объяснить опытные законы фотоэффекта. При  $\nu = \nu_{\text{гр}}$  ( $\nu_{\text{гр}}$  – красная граница фотоэффекта) максимальная скорость фотоэлектронов  $v_{\max} = 0$ , и, следовательно,

$$h\nu_{\text{гр}} = A_{\text{вых}}, \text{ или } \nu_{\text{гр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}.$$

Общее число электронов, вылетающих из катода в единицу времени, прямо пропорционально числу фотонов, падающих на поверхность катода за то же время. Это означает, что число электронов пропорционально освещенности.

Так как  $\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3$ , уравнение фотоэффекта может быть записано таким образом:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3, \text{ или } h\nu = h\nu_{\text{гр}} + eU_3.$$

Используя связь между частотой  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$  ( $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , где  $c$  – скорость света), все ранее приведенные формулы можно выразить через длину волны  $\lambda$ .

## **От авторов**

***Возникли трудности в усвоении теоретического курса или в его применении при решении конкретных задач, тестов – записывайтесь на наши курсы и мы поможем Вам подойти к экзамену во всеоружии.***

***Наш адрес:***

***190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9, ПГУПС, факультет довузовской подготовки.***

***Наши телефоны отдела заочной формы обучения:***

***8 (931) 214-51-45;***

***8 (812) 457-88-07 .***

