

*Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)*

ФАКУЛЬТЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Кафедра №37
«ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА»

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лекция-2



Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом

Процессы передачи энергии лазерного излучения металлам

Закон Бугера-Ламберта:

$$q(x) = q_0 (1 - R) \exp\left(-\int_0^x \alpha(x) dx\right),$$

Для изотропной среды:

$$q(x) = A q_0 \exp(-\alpha x),$$

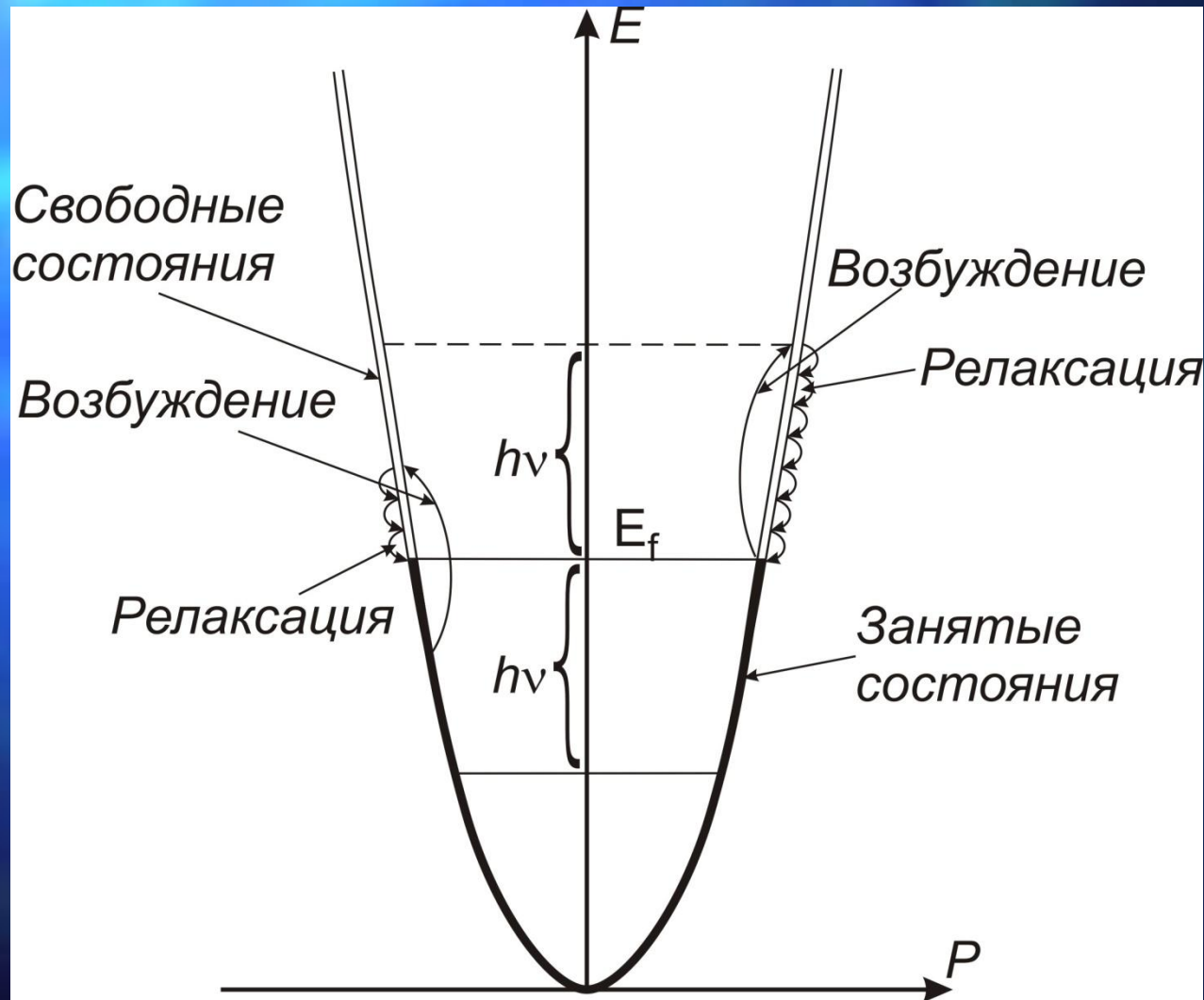
q_0 , $q(x)$ – плотности мощности на поверхности и на глубине x ,

R и α – коэффициенты отражения и поглощения, соответственно,

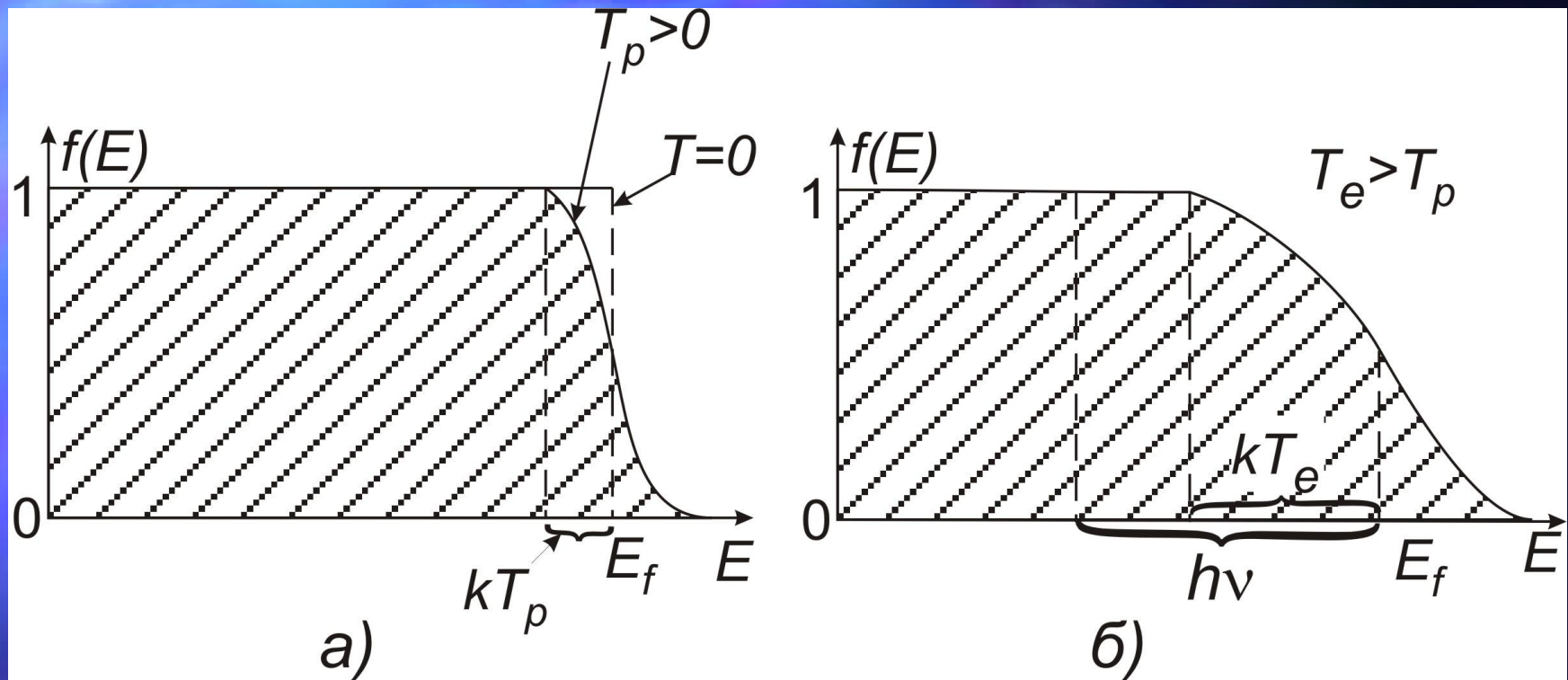
$A = 1 - R$ – отражательная способность.

График зависимости энергии свободных электронов в металле от импульса.

(схематически показан процесс возбуждения электронов при поглощении фотонов и процесс электрон-электронной релаксации)



Функция распределения электронного газа в металле по энергии.



$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_f}{kT} + 1\right)},$$

E — кинетическая энергия электронов, E_F — энергия Ферми, k — константа Больцмана, T — температура.

Ограничения, вследствие запрета Паули:

1. $E_F - \hbar\nu$ -- область кинетических энергий электронов, способных поглощать лазерное излучение с энергией кванта $\hbar\nu$.
2. $E_F - kT$ -- область кинетических энергий электронов, способных участвовать в электрон-электронной релаксации.

Условие равновесности фермиевской функции распределения электронов.

$$\nu_{ef} < \nu_{ee}$$

где ν_{ef} - частота электрон- фотонных возбуждений,
 ν_{ee} - частота электрон- электронной релаксации

Характерные частоты взаимодействия:

ν_{ef} - частота электрон- фотонных возбуждений

$$\nu_{ef} = \alpha q_0 / h \nu n'$$

αq_0 – мощность, поглощаемая в единице объема металла в поглощающем слое $d = 1/\alpha$; n' – концентрация электронов, участвующих в поглощении лазерного излучения.

$$n' = n h \nu / E_F$$

Характерные частоты взаимодействия:

ν_{ee} - частота электрон- электронной релаксации

$$\nu_{ee} = v_F \cdot \sigma_{ee} \cdot n (kT_e / E_f)^2$$

v_F – скорость на поверхности Ферми

σ_{ee} – резерфордское сечение рассеяния электрона на электроне

n – концентрация свободных электронов

T_e – электронная температура.

Характерные частоты взаимодействия:

ν_{ep} - частота электрон- фононной релаксации

$$\nu_{ep} = \frac{u}{\rho_i c_i} = \frac{\pi^2}{15} \cdot \frac{\pi k s^2}{\rho_i c_i d_0 \nu_f},$$

u – коэффициент передачи энергии от электронного газа решетке

$\rho_i c_i$ – удельная теплоемкость.

s – скорость звука,

d_0 - параметр решетки

Характерные частоты взаимодействия:

ν_{pp} - частота электрон- фононной релаксации

$$\nu_{pp} = k\gamma_0^2 T_p / d_0 \mu_i s,$$

γ_0 – параметр Грюнайзена

s – скорость звука,

d_0 - параметр решетки

T_p - температура решетки

Характерные частоты взаимодействия:

$$\nu_{ef} = (1,5-3,0) \cdot 10^2 q_0, \text{ c}^{-1};$$

$$\nu_{ee} = 10^{11}-10^{13}, \text{ c}^{-1};$$

$$\nu_{ep} = 10^{11}-10^{12}, \text{ c}^{-1};$$

$$\nu_{pp} = 10^{13}-10^{14}, \text{ c}^{-1}.$$