

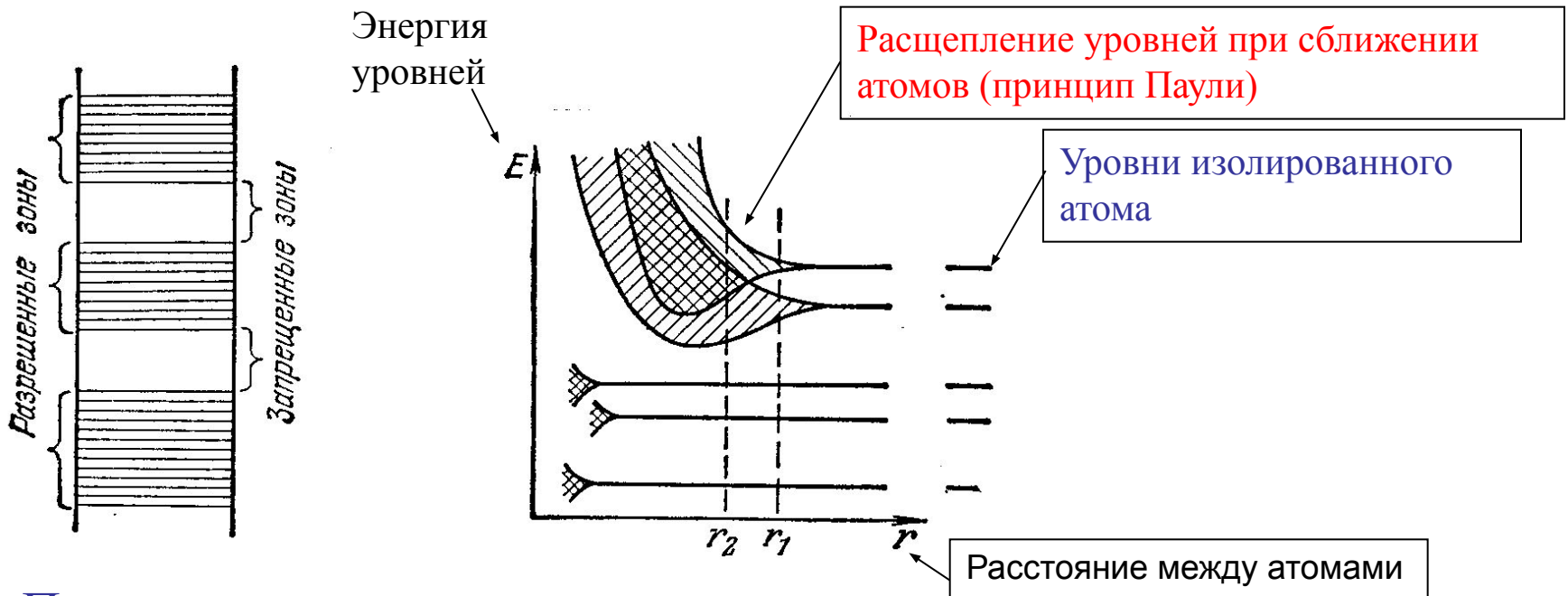
## Отступление 1.

(Короткий экскурс в физику твердого тела)

Некоторые представления физики твердого  
тела

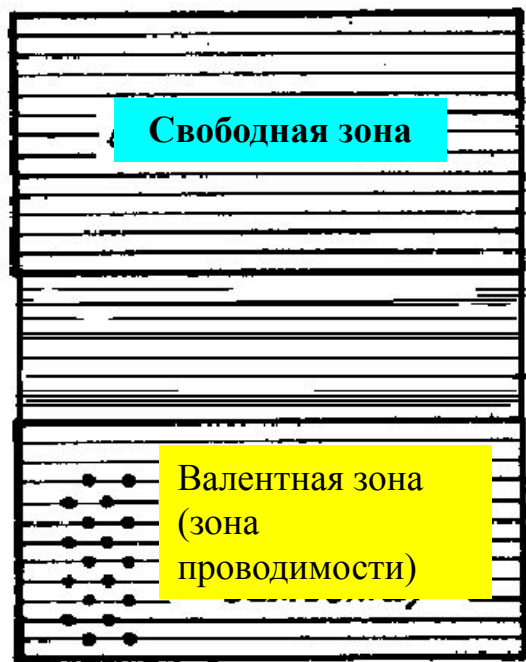
# Зонная модель твердого тела

## Схема формирования энергетических зон

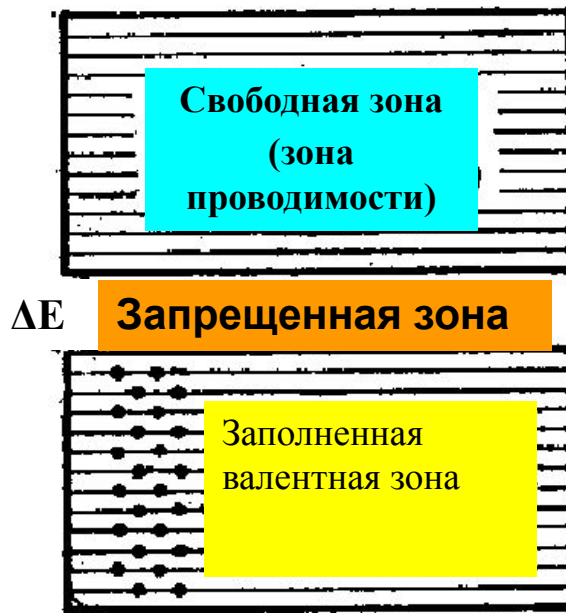


- Пока атомы изолированы друг от друга, они имеют полностью совпадающие схемы энергетических уровней. Заполнение уровней электронами осуществляется в каждом атоме независимо от заполнения аналогичных уровней в других атомах.
- По мере сближения атомов между ними возникает все усиливающееся взаимодействие, которое приводит к изменению положения уровней. Вместо одного уровня одинакового для всех  $N$  атомов возникают  $N$  очень близких, но не совпадающих уровней. Таким образом, **каждый уровень изолированного атома расщепляется в твердом теле на  $N$  густо расположенных уровней, образующих полосу или зону.**

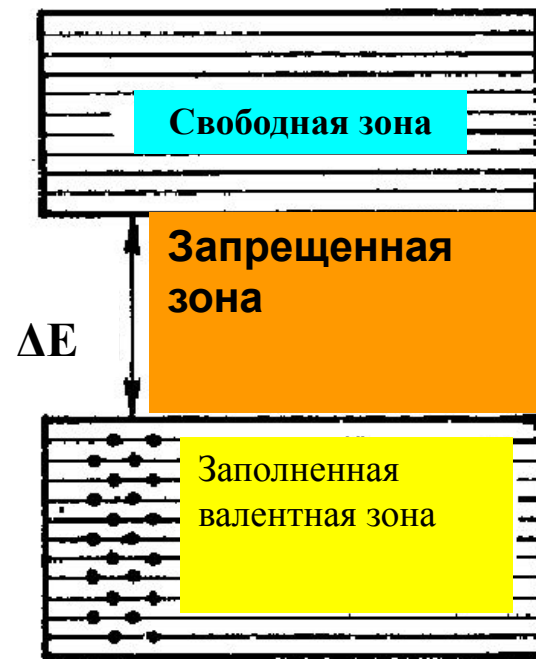
# Зонная классификация твердых тел



**МЕТАЛЛ**

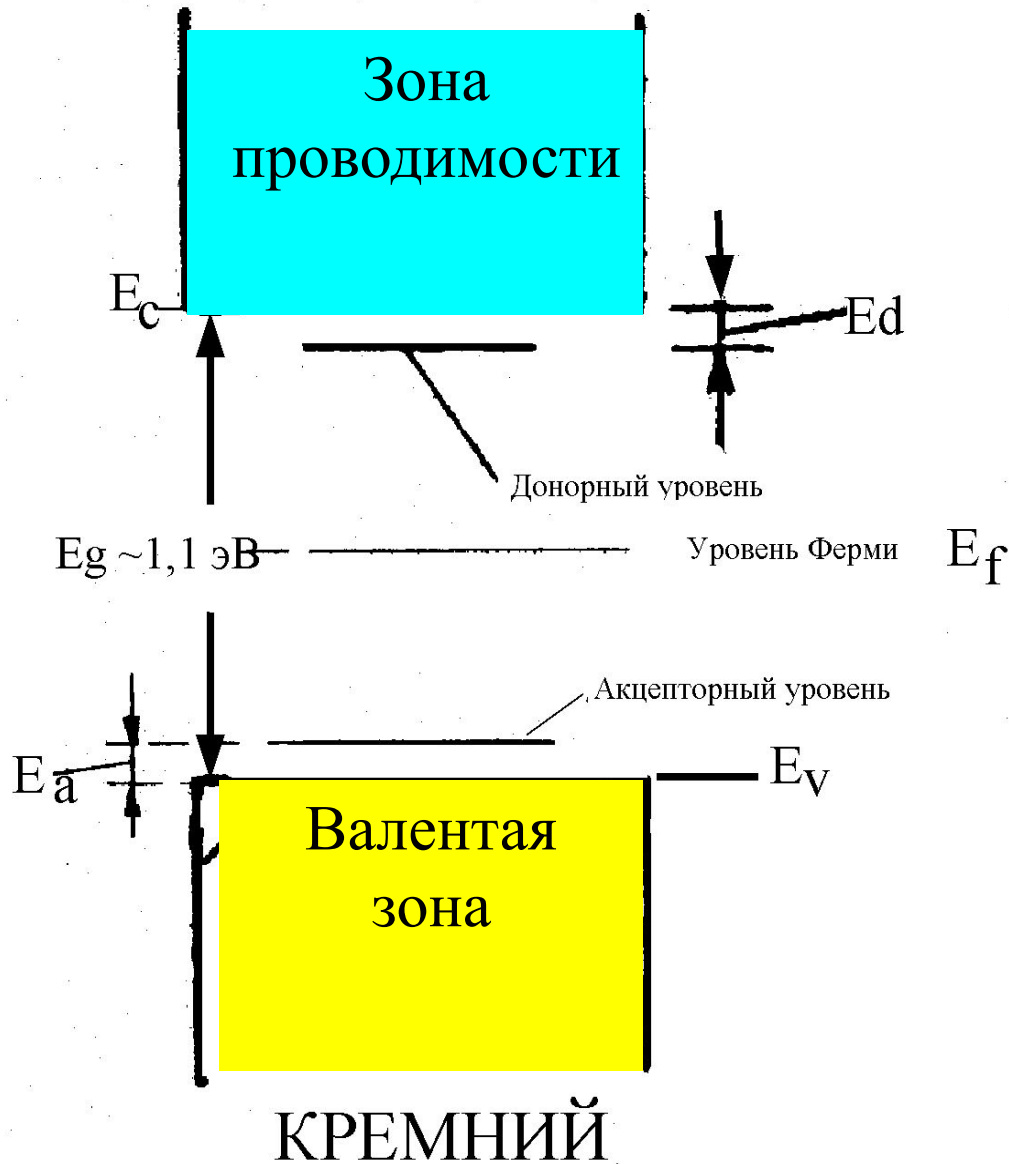


**ПОЛУПРОВОДНИК**



**ДИЭЛЕКТРИК**

# Схема зонной структуры полупроводника



## Характерные энергии:

$E_c$  – дно зоны проводимости  $\equiv$  потолок запрещенной зоны;

$E_g$  – ширина запрещенной зоны;

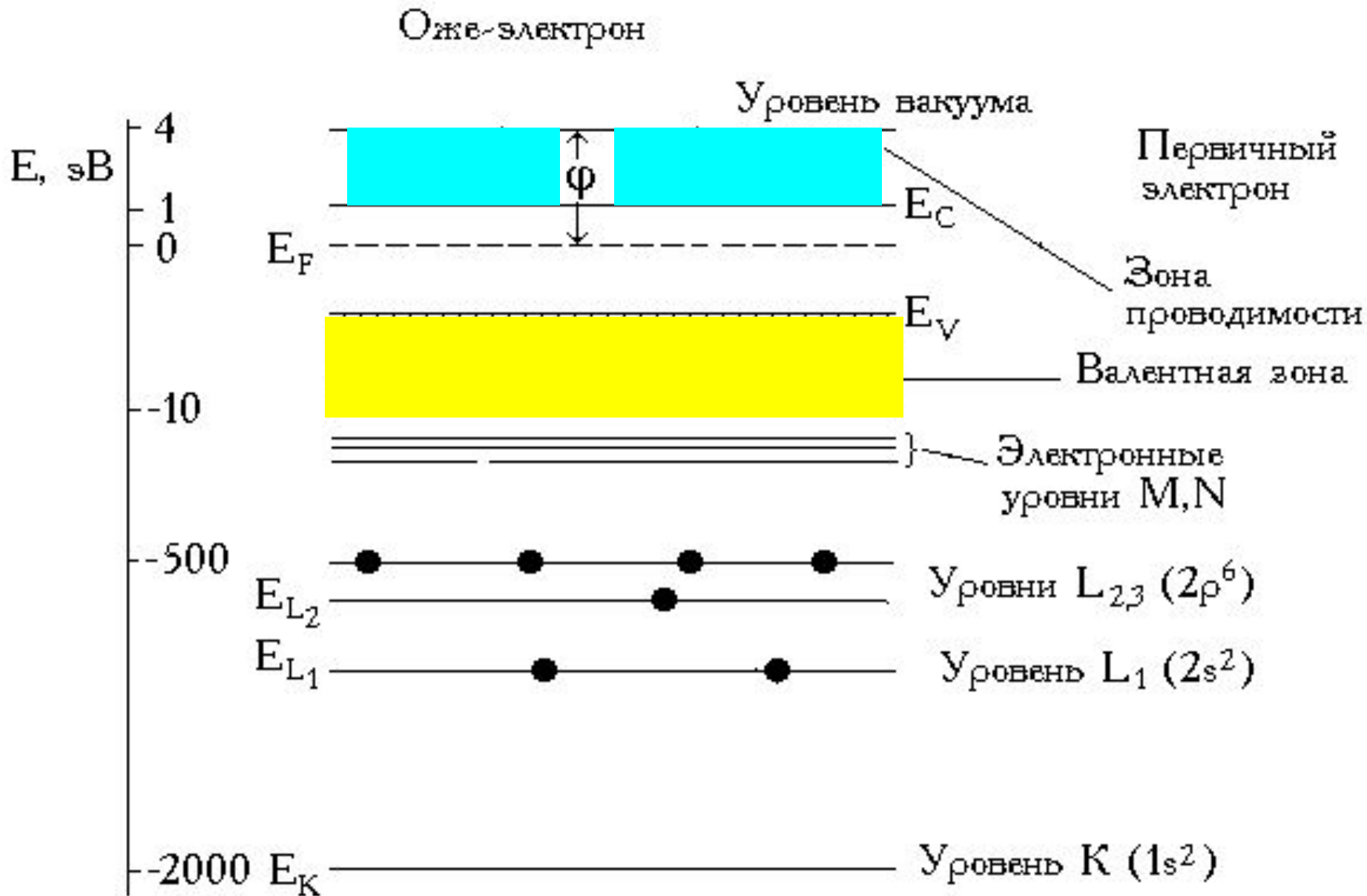
$E_v$  – потолок валентной зоны  $\equiv$  дно запрещенной зоны;

$E_f$  – энергия уровня Ферми;

$E_d$  – энергия донорного уровня;

$E_a$  – энергия акцепторного уровня;

# Обобщенная схема уровней энергии твердого тела

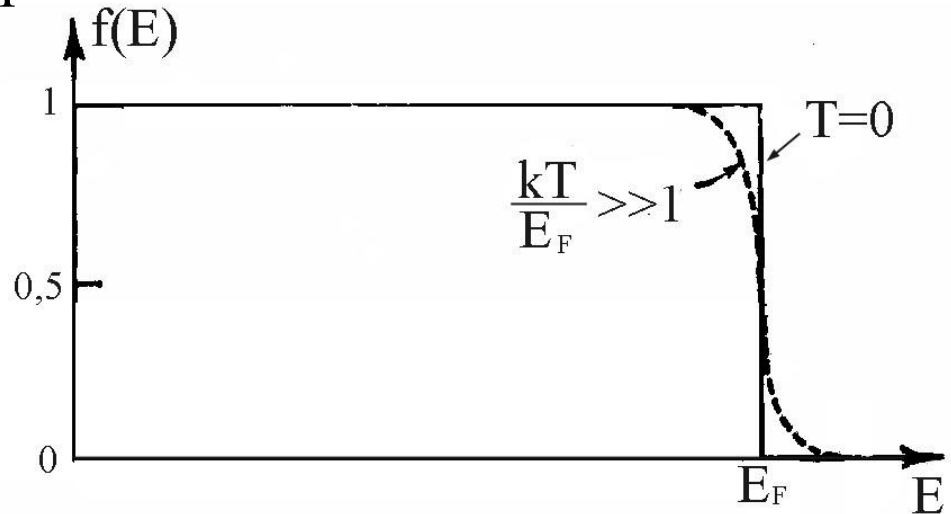


## Распределение Ферми

В применении к электронам квантовая механика считает электроны *неразличимыми* и чтобы в каждом состоянии системы не мог находиться более, чем один электрон.

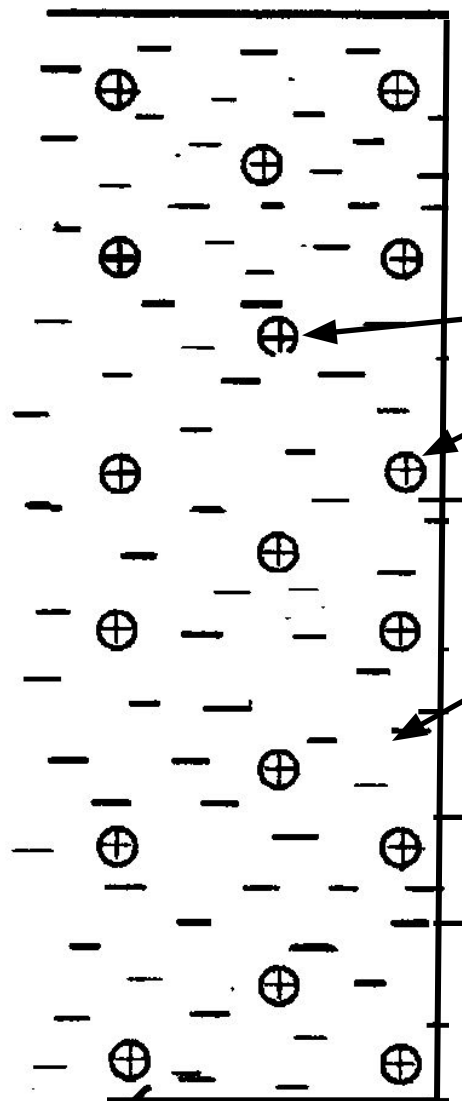
Исходя из этих требований **функция распределения  $f$  электронов по энергетическим состояниям в твердом теле.** Эта функция характеризует вероятность того, что данное энергетическое состояние занято и называется функцией распределения Ферми-Дирака; график ее изображен на рис.

$$f = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT} + 1}$$



Энергия  $E_F$  называется **энергией Ферми**. При абсолютном нуле ( $T = 0^\circ\text{K}$ )  $f = 1$  при  $E < E_F$  и  $f = 0$  при  $E > E_F$ . Таким образом, при абсолютном нуле  $E_F$  имеет смысл предельной энергии; все состояния с энергией, меньшей  $E_F$ , заняты, а все состояния с энергией, большей  $E_F$ , вакантны.

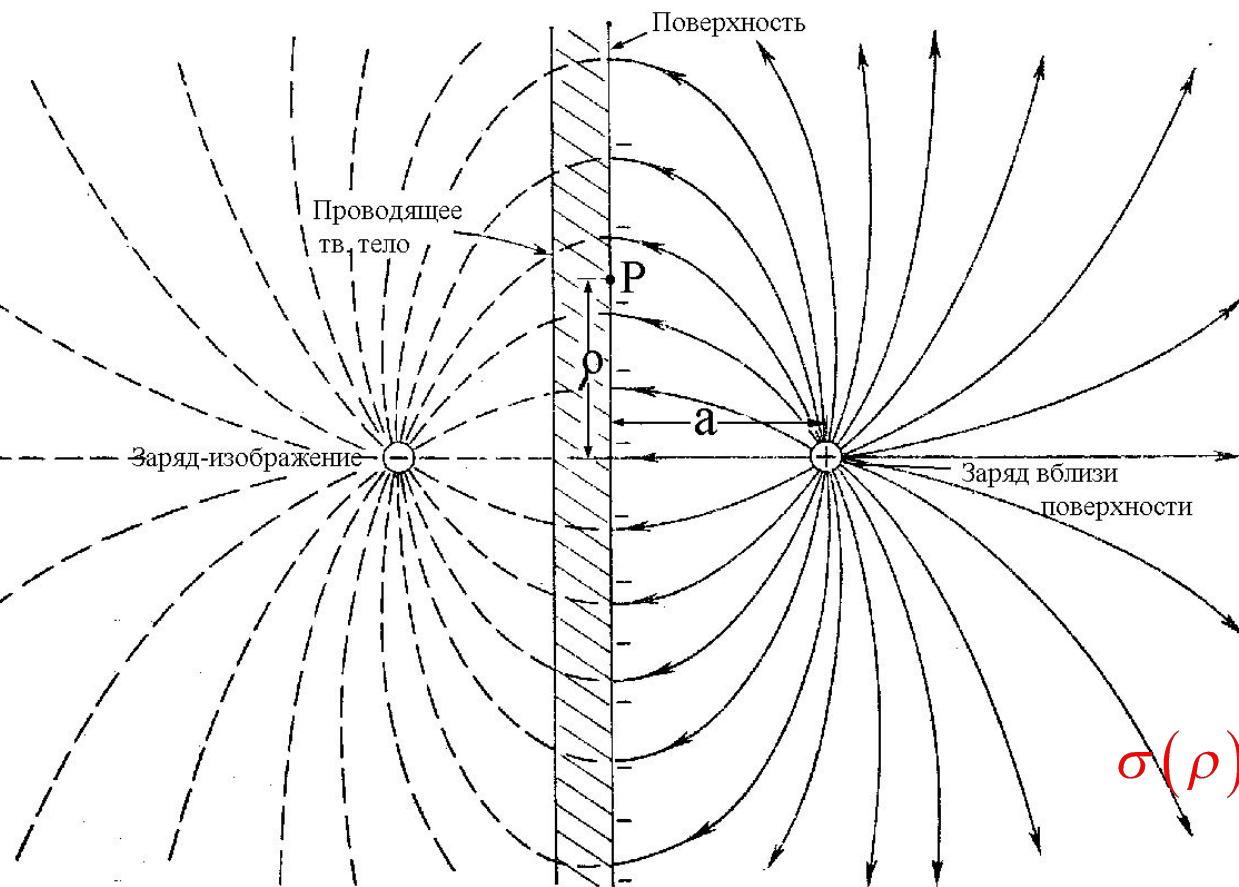
# Модель свободных электронов (металлы)



Положительно  
заряженные ионы  
(остов)

Свободные электроны  
(электронный газ,  
жидкость, желе)

# К понятию о силах электрического изображения



В точке Р на расстоянии **a** и **ρ** составляющая поля положительного точечного заряда, нормальная к поверхности, равна:

$$F_{n^+} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{aq}{(a^2 + \rho^2)^{1/2}}$$

Плотность заряда в произвольной точке поверхности:

$$\sigma(\rho) = \epsilon_0 E(\rho) = -\frac{1}{4\pi} \frac{2aq}{(a^2 + \rho^2)^{1/2}}$$

Сила притяжения заряда к поверхности

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(2a)^2}$$

Подробности см:

Р.Фейнман, Р. Дейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Т.5, М: Мир, 1977, С. 123.



**Статистический вес** в термодинамике и статистической физике - число способов, которыми может быть реализовано данное макроскопическое состояние системы. Термодинамически равновесное макроскопическое состояние системы характеризуется определенными значениями полной энергии, полного числа частиц  $N$  и объёма системы. Микроскопическое состояние системы соответствует заданному распределению её частиц по возможным классическим или квантовым состояниям. **Статистический вес** равен числу микроскопических состояний, которыми может быть реализовано данное макроскопическое состояние.

Иногда **Статистический вес** называют термодинамической вероятностью.