



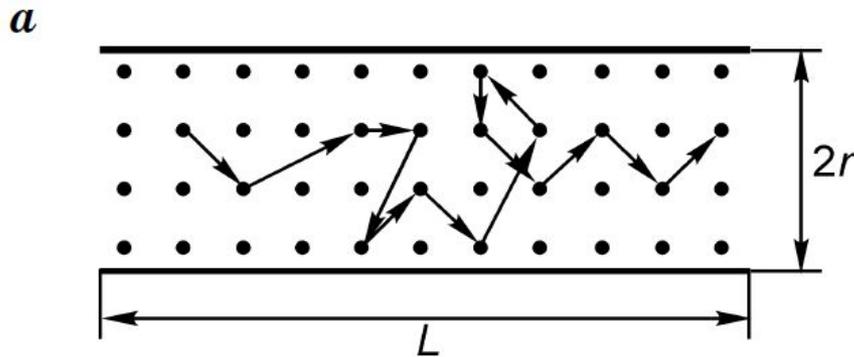
Беликов Андрей Иванович, к.т.н., доцент
кафедра МТ-11 "Электронные технологии в машиностроении"

Основы наноэлектроники и нанотехнологий

Москва, 2014

Баллистический транспорт электронов в 1D - структурах

Диффузионный механизм



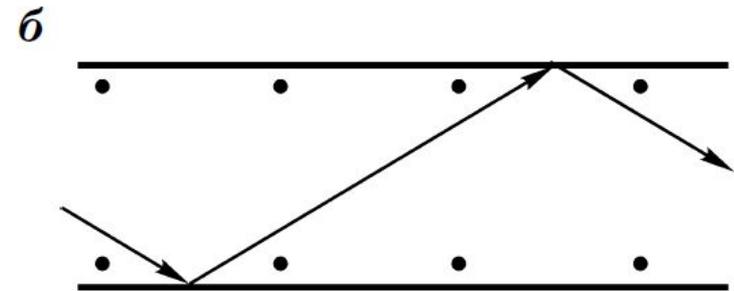
Средняя длина свободного пробега l – путь электрона между двумя последовательными актами рассеяния.

Для металлов $l \sim 10$ нм

Для полупроводников – $l \sim 50-120$ нм

Например, для Si, GaAs: $l = 50-100; 120$ нм

Баллистический механизм



Квантуемая проводимость

$$G = \frac{I}{U} = \frac{2e^2}{h} N$$

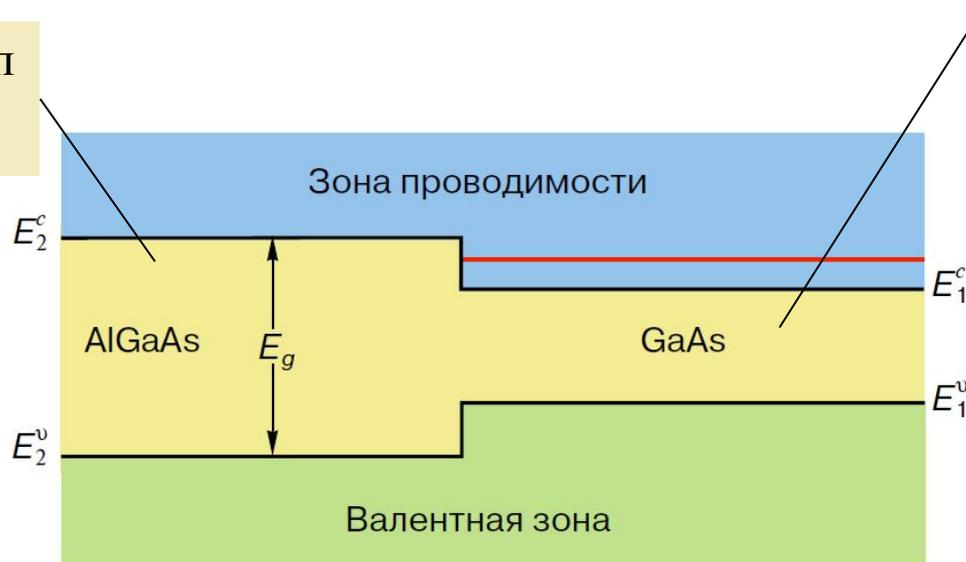
Квант сопротивления:

$$\frac{h}{2e^2} \approx 12,9 \text{ кОм}$$

N – число разрешенных состояний в проводнике

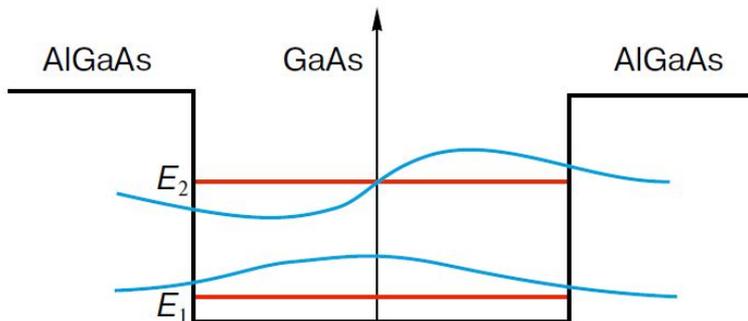
Формирование квантовых барьеров и ям

Широкозонный п/п
 $E_g = \text{до } 2.2 \text{ эВ}$

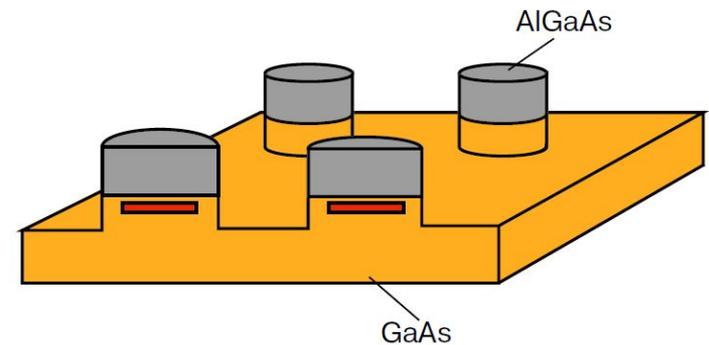


Узкозонный п/п
 $E_g = 1.5 \text{ эВ}$

Квантовая яма



Квантовая точка

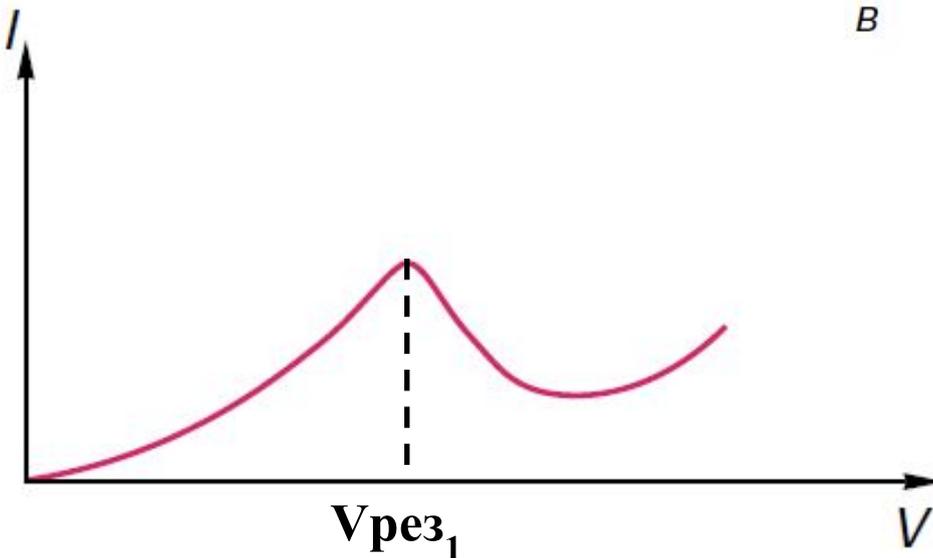
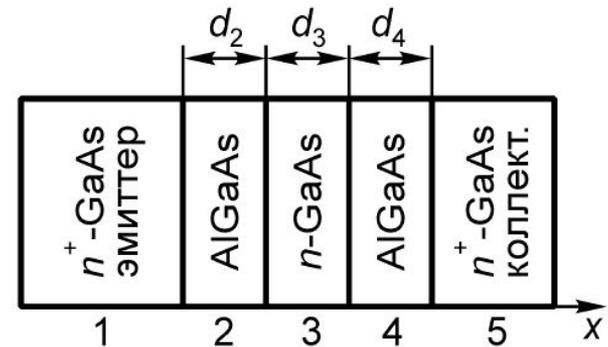
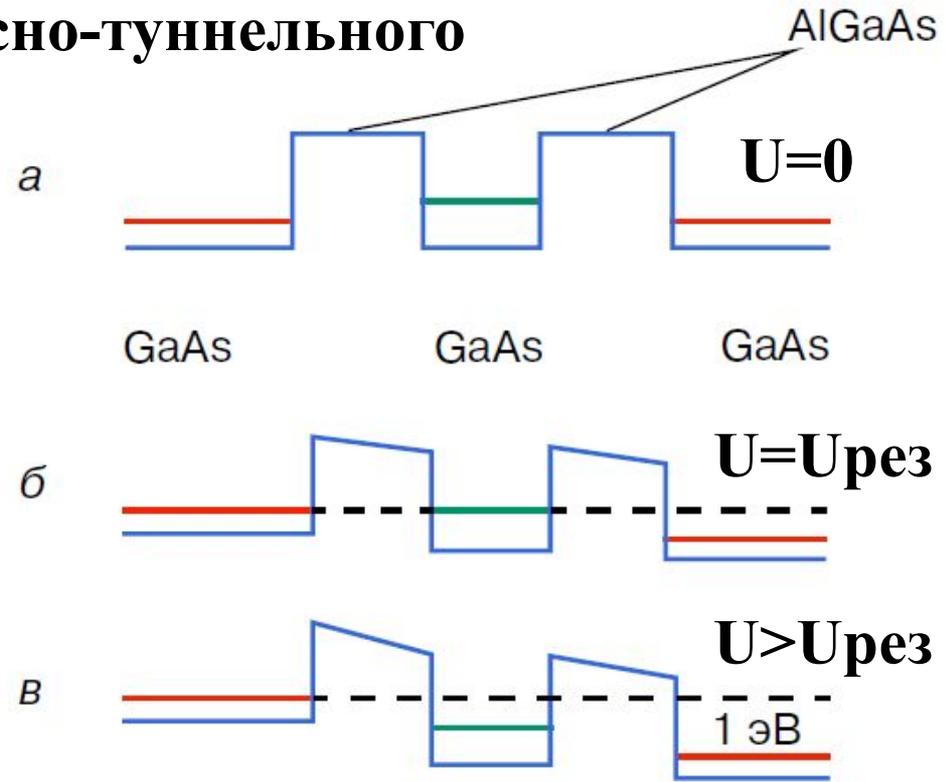


Принцип работы резонансно-туннельного диода и его ВАХ

1958 г. Л.Исаки (Япония) – исследование резонансного туннелирования.

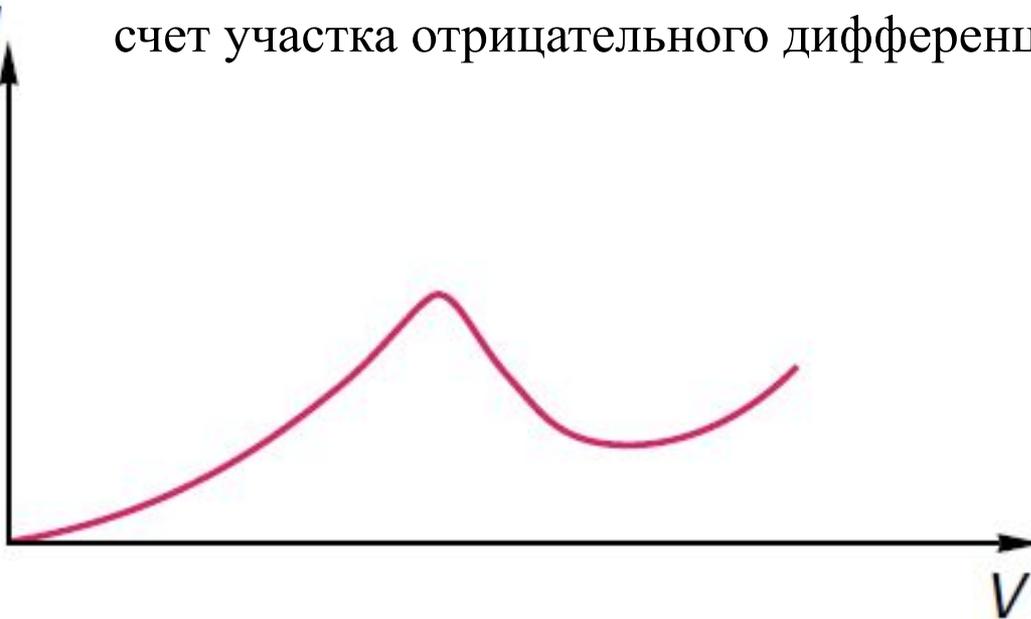
1962 г. Л.В.Келдыш – возможность создания особой периодической структуры (сверхрешетка).

1974 г. – Исаки и Чанг – создают первый РТД



Особенности резонансно-туннельного диода

1. Малое время переключения (пикосекунды – 10^{-12}).
2. Низкая потребляемая мощность.
3. Большие плотности тока при малых размерах.
4. Существенная нелинейность ВАХ.
5. Возможность спонтанной генерации электрических колебаний (за счет участка отрицательного дифференциального сопротивления).



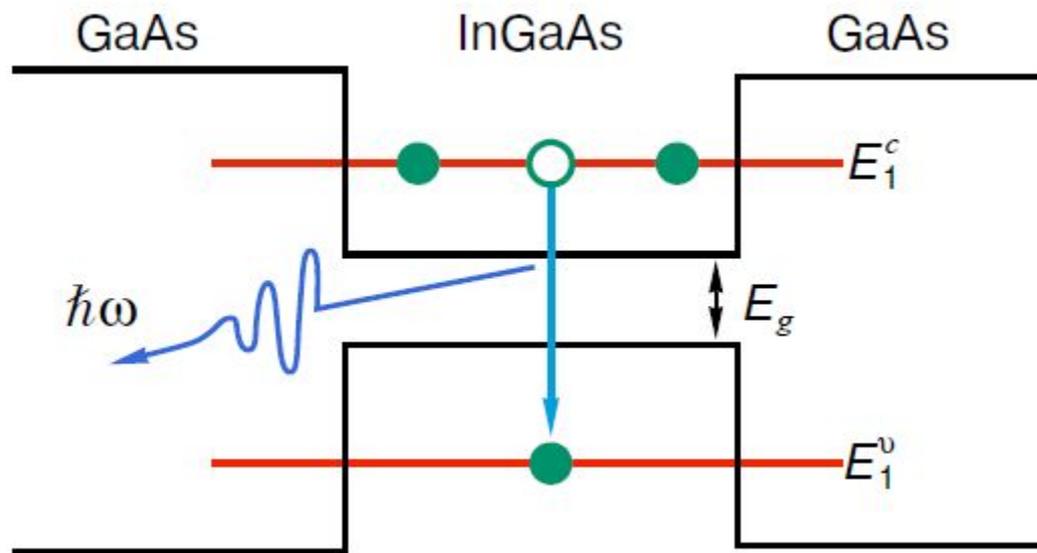
6. Используемые материалы: GaAs, AlAs, InP, InAs.

Полупроводниковый лазер на квантовой яме

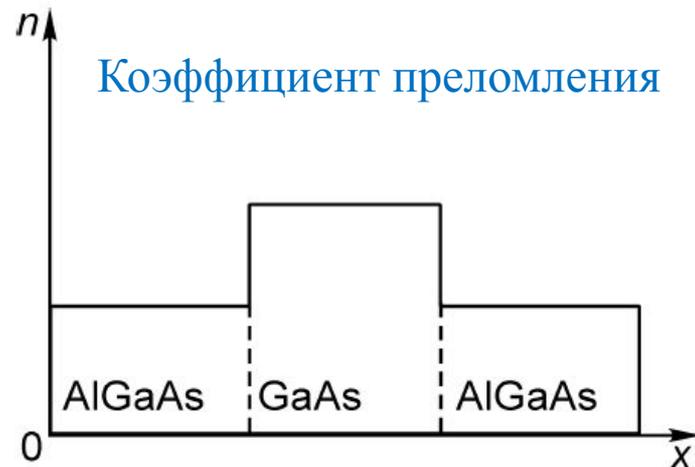
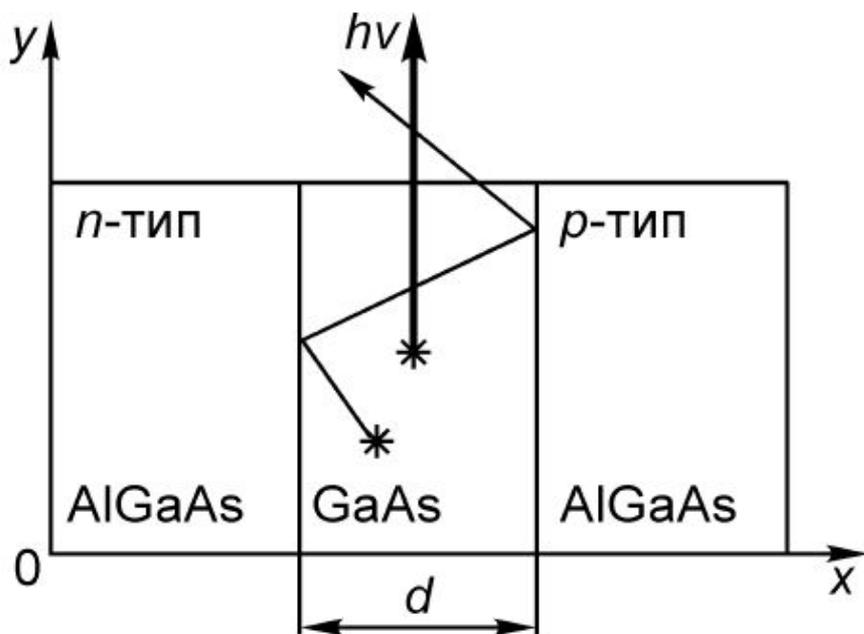
$$\hbar \omega = E_g + E_1^C + E_1^V$$

ω - частота излучения,
 E_g – ширина запрещенной зоны,
 E^C – зона проводимости,
 E^V – валентная зона

Высокий (60%)
 КПД



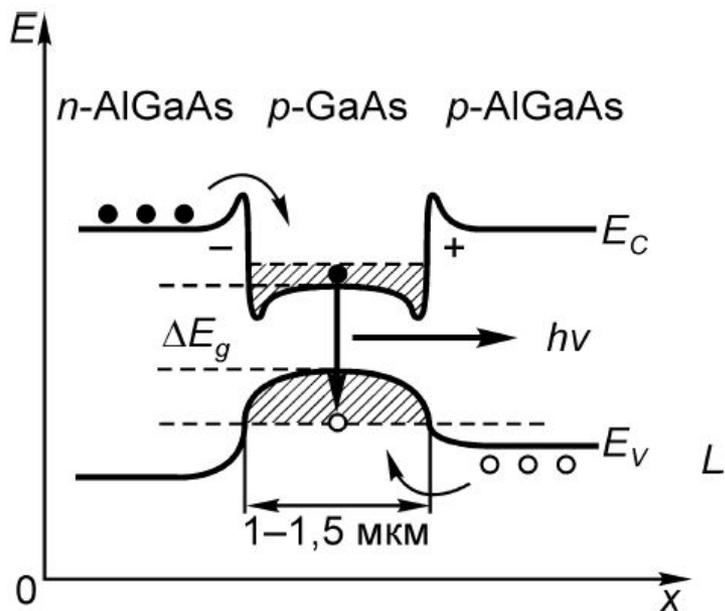
Формирование излучения



Нобелевская премия 2000 г. - исследования в области физики полупроводников и полупроводниковой технологии: полупроводниковые гетероструктуры.

Ж.И.Алферов (Россия), Г.Кремер, Дж.Килби (США)

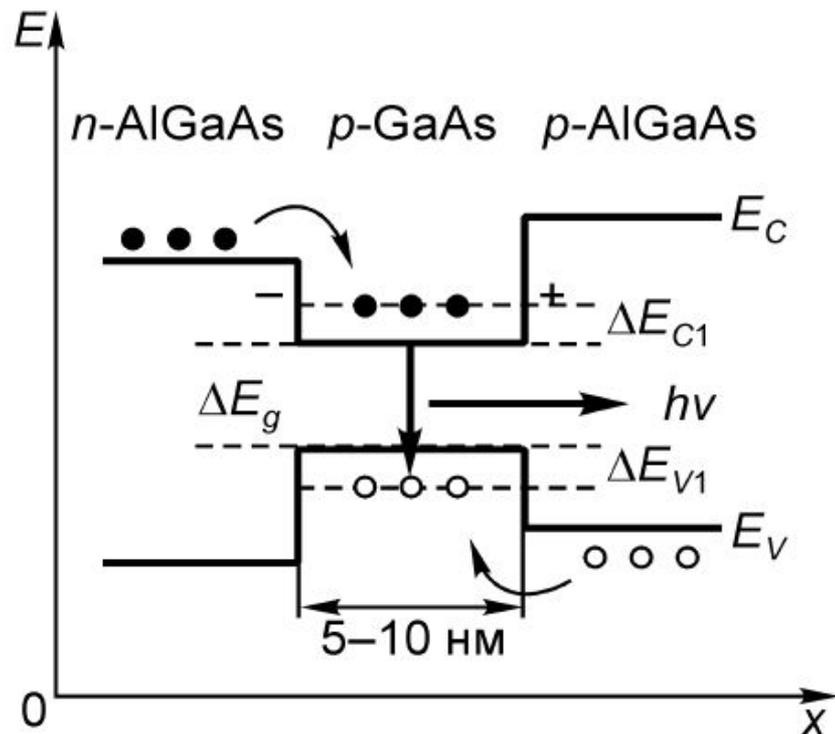
ДГС-лазер классический



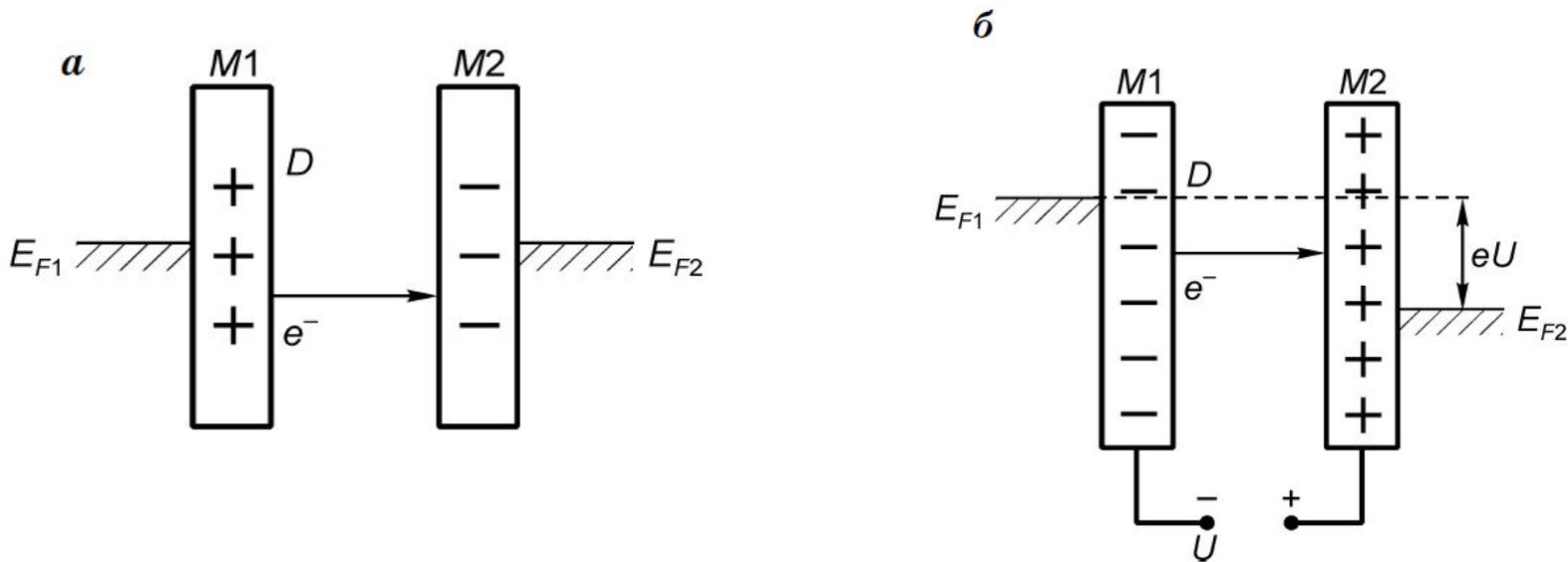
$$h\nu = \Delta E_g$$

$$h\nu = \Delta E_g + \Delta E_{C1} + \Delta E_{V1}$$

ДГС-лазер на квантовой яме



Кулоновская блокада – величина разности потенциалов эл. поля, препятствующая туннелированию электронов



$$\Delta E = \frac{e^2}{2C}$$

$$eU_k = \frac{e^2}{2C}$$

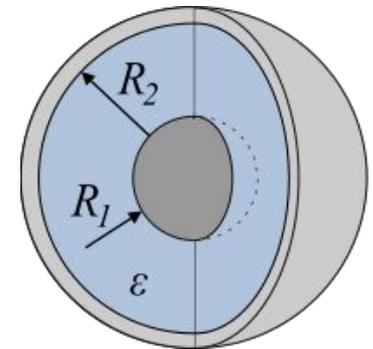
$$U_k = \frac{e}{2C}$$

Наличие кулоновской блокады:

$$kT < \Delta E$$

$$\Delta E = \frac{e^2}{2C} \quad \square \quad C < \frac{e^2}{2kT}$$

Емкость сферического конденсатора
(пример) - $C_{сф} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1$

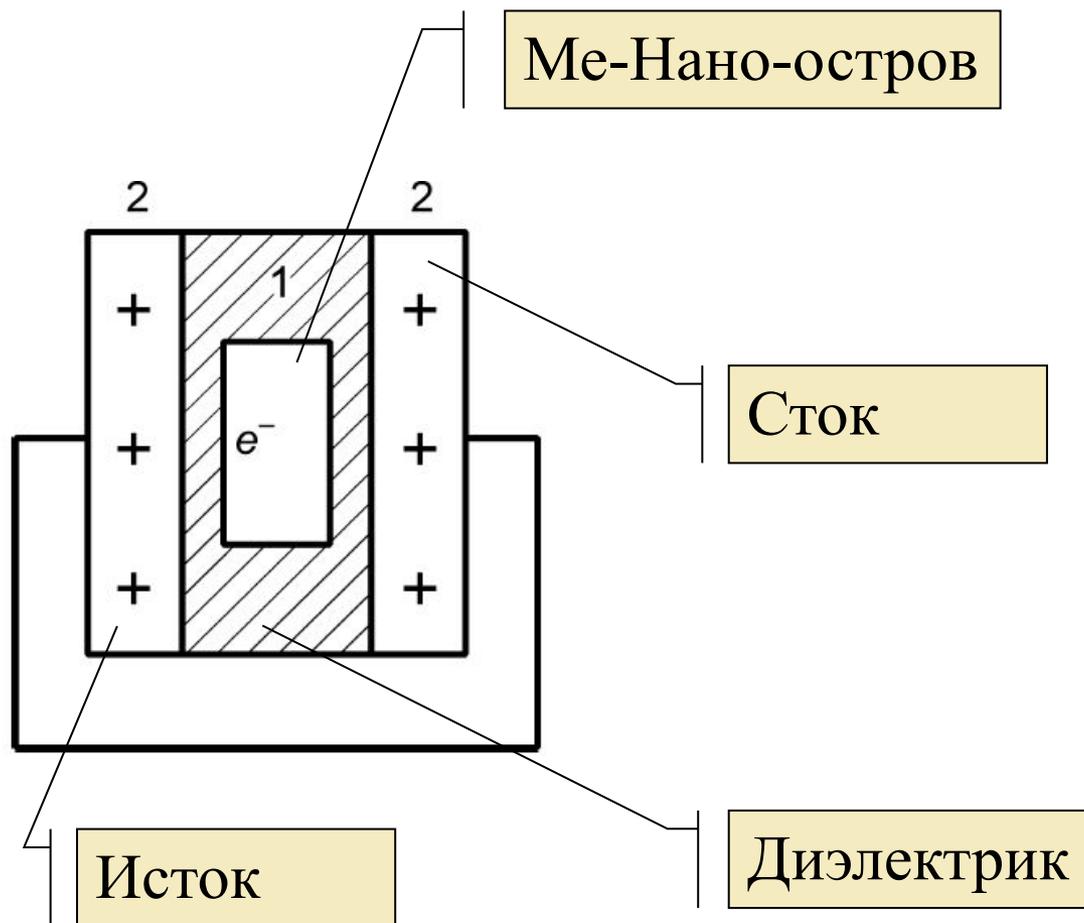


Для температур:

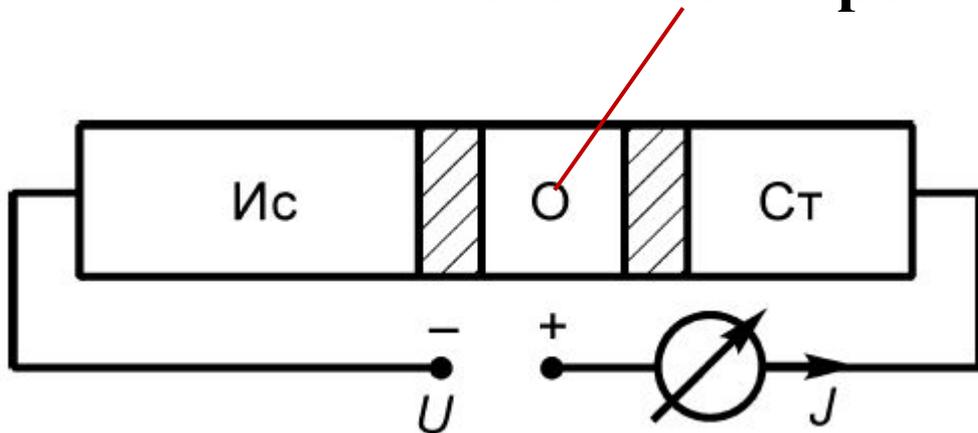
1К: $C \sim 9 \cdot 10^{-16}$ Ф, размер конденсатора (для $\epsilon=10$) – $R_1 \sim 1$ мкм

300 К: $C \sim 3 \cdot 10^{-18}$ Ф, $R_1 \sim 3$ нм

Использование кулоновской блокады в одноэлектронных приборах

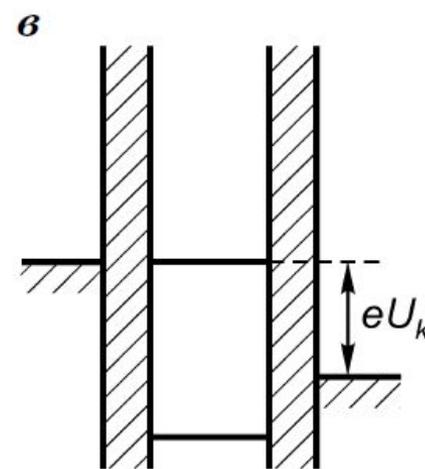
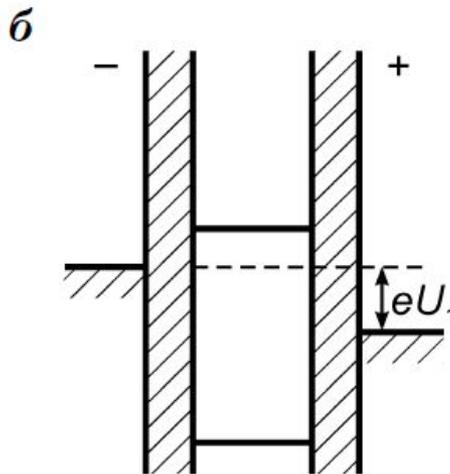
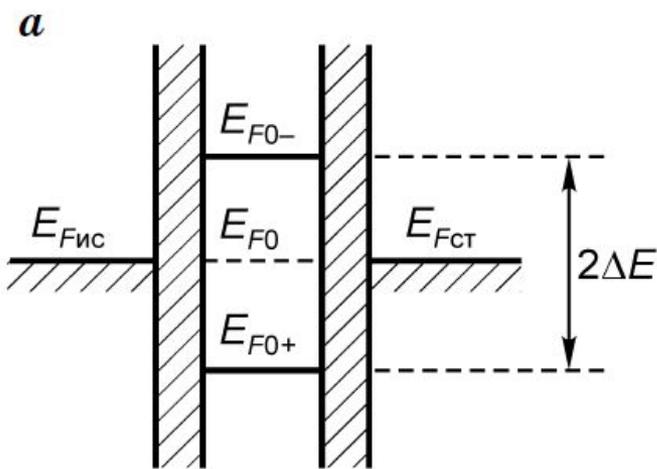
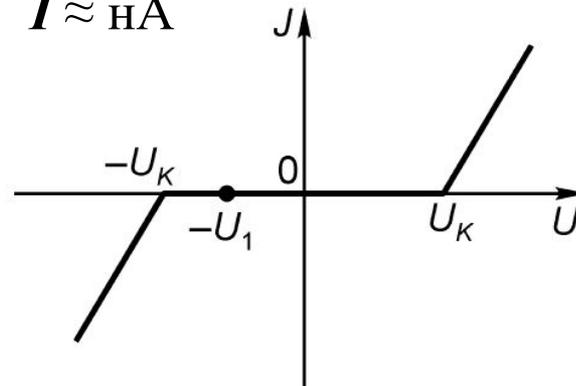


Элемент на основе nano-острова

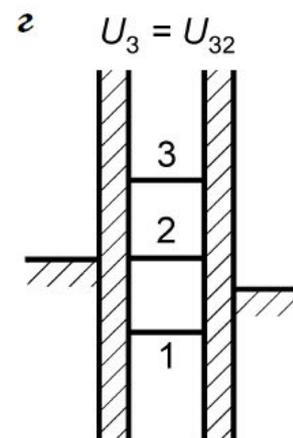
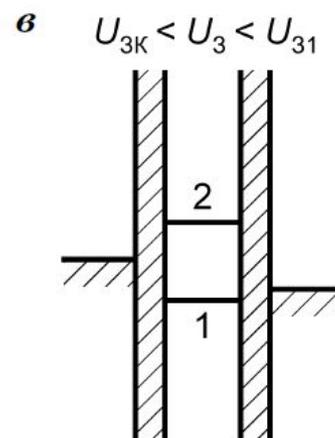
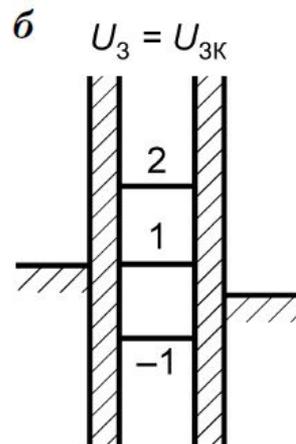
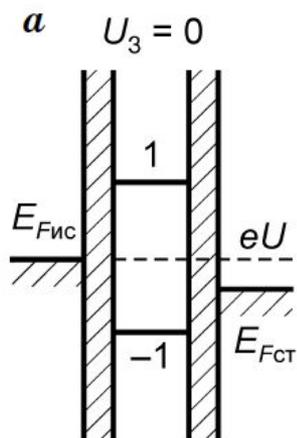
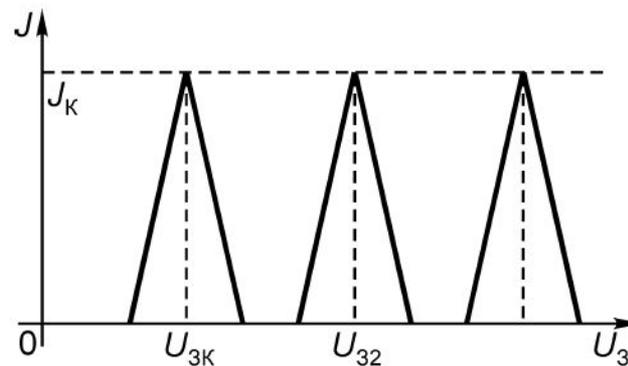
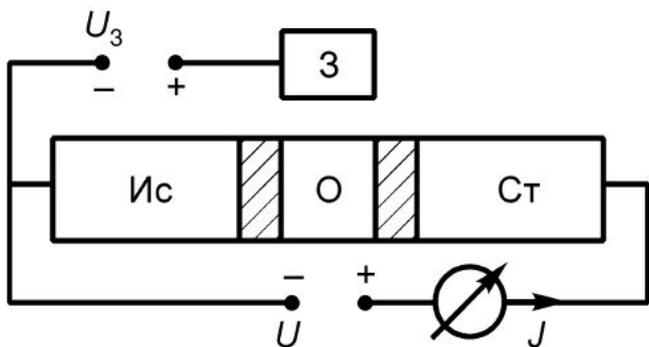


$U \approx \text{мВ}$

$I \approx \text{нА}$



Использование кулоновской блокады в одноэлектронных приборах – одноэлектронный транзистор



end

14

**Спасибо за
внимание!**