



**ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Физика-техникалық факультеті**

**Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасы**



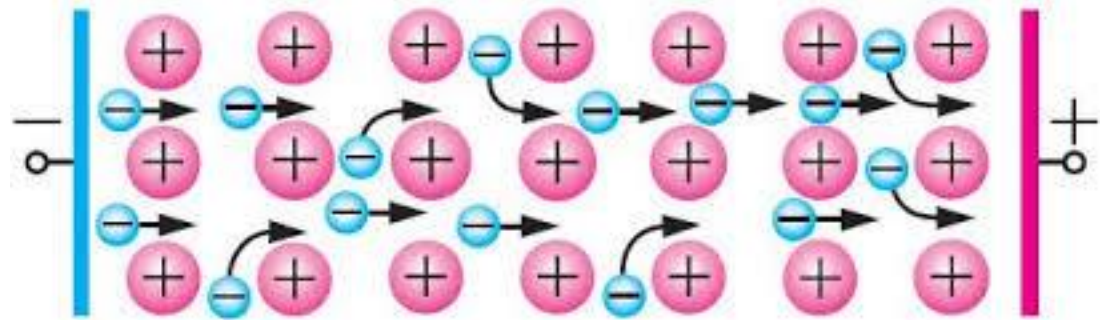
# **ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ**

**Дәріс 5.**

**Металдар мен шалаөткізгіштердегі электр тогы.**

қауымдастырылған профессор: Туреханова К.М.

*e-mail: [turekhanova.kunduz@kaznu.kz](mailto:turekhanova.kunduz@kaznu.kz)*



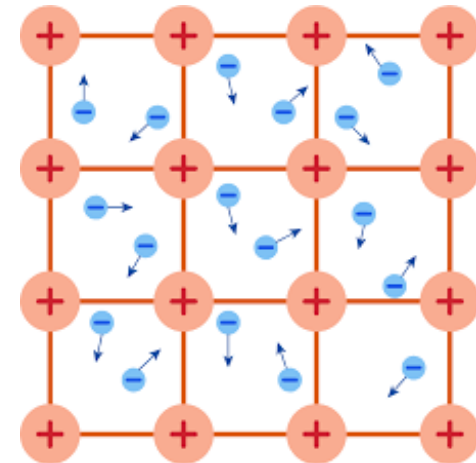
**Дәріс мақсаты:** Металдар мен жартылай өткізгіштердегі электр тогының табиғатын, ток тасымалдаушылардың (электрондар мен кемтіктердің) рөлін, асқынөткізгіштік пен зоналық теория негіздерін түсіндіру.

**Қарастырылатын мәселелер:** Металл кристалдық торы, еркін электрондар және токтың пайда болуы; Классикалық теория мен тәжірибе қайшылықтары, асқынөткізгіштік құбылысы және оның механизмі (Купер жұптары); Таза (меншікті) жартылай өткізгіштердегі электрондар мен кемтіктер тогы, температураға тәуелділігі.

**Металл кристалдық торы** – оң иондар түйіндерде орналасқан, ал валенттік электрондар әлсіз байланыста болады да, бүкіл кристалл көлемінде «еркін электрондар газы» тәрізді қозғалады.

Электр өрісі болмаған кезде электрондардың жылулық қозғалысы ретсіз, бағытталған ток жоқ (орташа ток нөл).

Электр өрісі қосылғанда электрондар өріске қарсы бағытта аз ғана **дрейф жылдамдығына** ие болады, нәтижесінде макроскопиялық ток пайда болады.



## Өткізгіштік және кедергі

Металл үшін микроскопиялық Ом заңы:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

мұндағы  $\sigma$  – меншікті электр өткізгіштік,  $\vec{E}$  – электр өрісі.

Өткізгіштік пен ток тығыздығы:

$$\sigma = nq\mu, \quad \vec{j} = nq\mu\vec{E}$$

мұнда  $\mu$  – заряд тасымалдаушылардың қозғалғыштығы.

Кедергі:

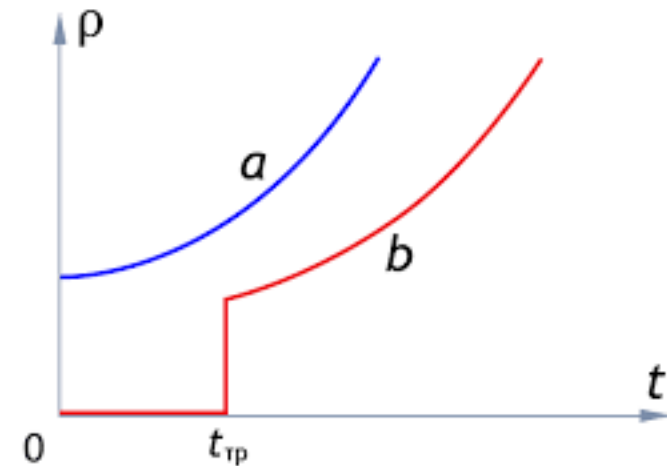
$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \frac{1}{\sigma}$$

## Температураға тәуелділік (металл)

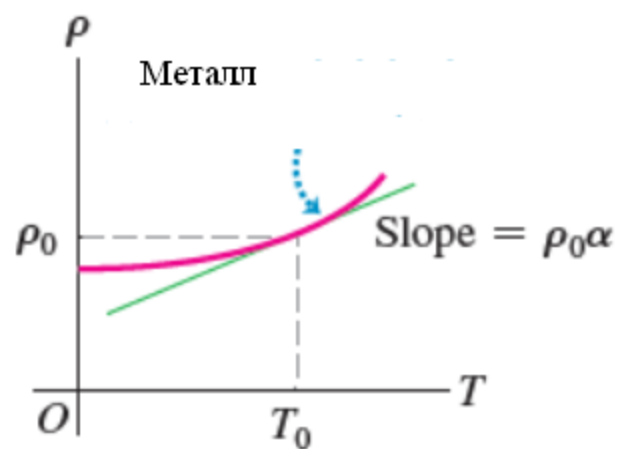
Температура артқан сайын кристалдық тордың тербелісі күшейеді, электрондардың шашырауы көбейеді, сондықтан **кедергі өседі**, ал өткізгіштік кемиді:

$$\rho(T) \approx \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Мұнда  $\alpha$  – температуралық коэффициент, көбінесе оң шама.



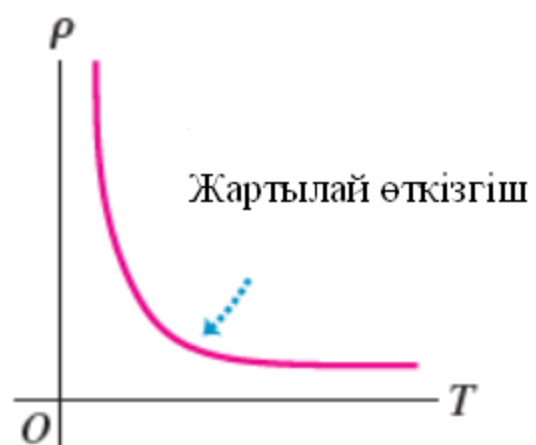
(a)



## Меншікті кедергі

$$\rho = \frac{E}{J}$$

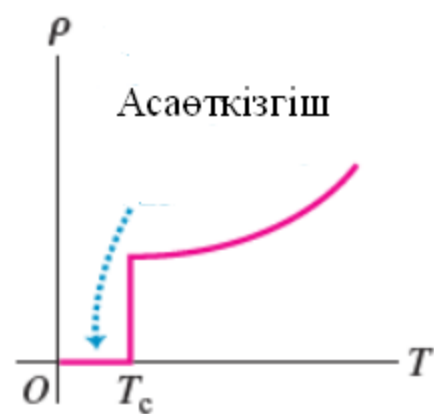
(b)



## Меншікті кедергінің температураға тәуелділігі

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

(c)



**Шалаөткізгіштер** – электр өткізгіштігі металдар мен диэлектриктер арасындағы аралықта орналасқан заттар (мысалы, Si – кремний, Ge – германий, GaAs – галлий арсениді).

Энергетикалық зона тұрғысынан:

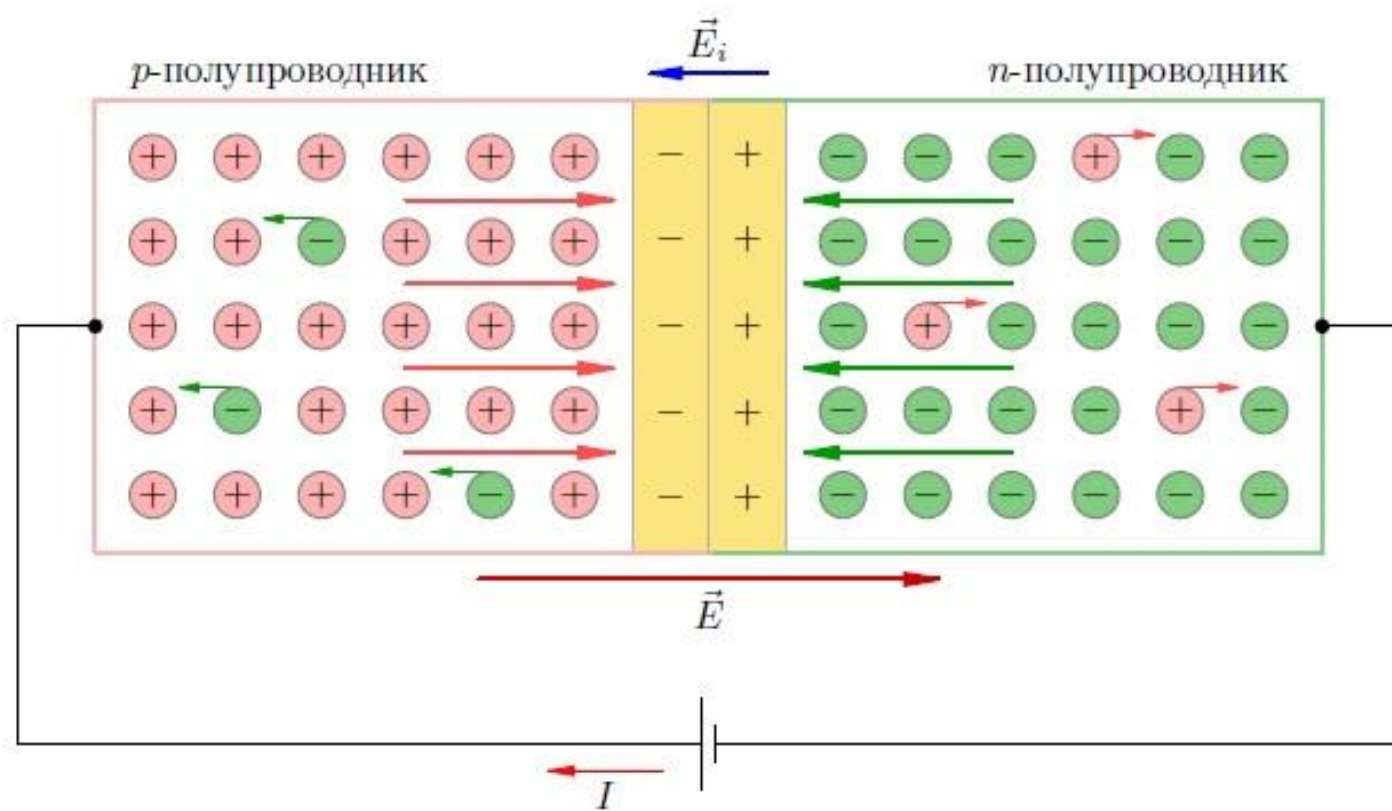
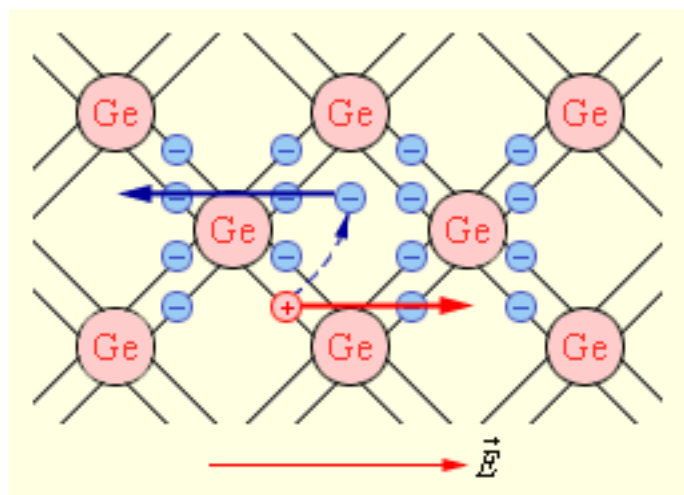
- **Валенттік зона** – электрондар толтырған төменгі энергиялы деңгейлер аймағы.
- **Өткізгіштік зона** – электрондар еркін қозғала алатын жоғары энергиялы деңгейлер аймағы.
- Екі зона арасында **тыйым салынған аймақ** (энергетикалық саңылау) бар:

$$\Delta E_g$$

**Металда** валенттік зона мен өткізгіштік зонасы қабаттасып немесе Ферми деңгейі зонаның ішінде жатады → еркін электрондар бар, өткізгіштік жоғары.

**Диэлектрикте** тыйым салынған аймақ өте үлкен ( $\approx 5-9$  eV), бөлме температурасында электрондардың өткізгіштік зонаға өту ықтималдығы өте аз → ток өтпейді.

**Шалаөткізгіште**  $\Delta E_g$  салыстырмалы түрде кіші ( $\approx 0,5-3$  eV), температура немесе жарық әсерінен электрондар валенттік зонадан өткізгіштік зонаға өте алады → ток жүреді.





| Ерекшелігі                                     | Металдар                                                          | Шалаөткізгіштер                                              |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Негізгі тасымалдаушылар                        | Электрондар                                                       | Электрондар және/немесе тесіктер                             |
| Тасымалдаушылар концентрациясы                 | Жоғары, іс жүзінде T-ден әлсіз тәуелді                            | Күшті T-тәуелді, экспоненциалды өседі                        |
| Температура артқанда                           | Кедергі өседі, өткізгіштік кемиді                                 | Кедергі кемиді, өткізгіштік артады                           |
| Энергетикалық құрылым                          | Валенттік зона мен өткізгіштік зона қабаттасуы немесе тар саңылау | Орташа тыйым салынған аймақ, зоналар нақты бөлінген          |
| Вольт-амперлік сипаттама (идеал өткізгіш үшін) | Көп жағдайда сызықтық (Ом заңы)                                   | Көптеген құрылғыларда (диод, транзистор) сызықтық емес       |
| Қолданылуы                                     | Сымдар, контактілер, электродтар                                  | Диодтар, транзисторлар, интегралдық микросхемалар, датчиктер |

## **Бақылау сұрақтары:**

1. Өткізгіштер мен жартылай өткізгіштердегі электр токтарының табиғаттары қандай?
2. Асқынөткізгіштің құбылысын түсіндіріңіз.
3. Зоналық теория нені сипаттайды?
4. Диод пен транзистор қалай жұмыс жасайды?

## **Пайдаланылған әдебиеттер:**

1. Бәйімбетов Ф.Б., Рамазанов Т.С. Электр және магнетизм. – Алматы: Қазақ университеті, 2011. – 199 б.
2. Бәйімбетов Ф.Б., Аймауытов Д., Құрманбеков А. Физика есептері (Электр және магнетизм). – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – 216 б.
3. Архипов Ю.В. Краткий конспект лекций по курсу "Электричество и магнетизм" : учеб.-методическое пособие КазНУ 2009
4. Габдуллина Г.Л., Қисан А., Абыканова Б.Т. Электр және магнетизм курсы бойынша қысқаша дәрістер мен есептер жинағы : оқу-әдістемелік құрал, Әл-Фараби атын. ҚазҰУ. - Алматы : Қазақ ун-ті, 2017. - 161 б.
5. Туреханова К.М. Электр және магнетизм курсы бойынша есептер жинағы/ Оқу құралы, әл-Фараби атын. ҚазҰУ. - Алматы : Қазақ ун-ті, 2017. – 191 б.
6. Raymond A. Serway, John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 9<sup>th</sup> ed. – Cengage Learning, 2014. – 1622 p.