

# **Yarim o'tkazgichlar fizikasi**

---

**Xususiy yarim o'tkazgichlar.**

**Yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi.**

**Fermi sathi va uning holati.**

**Xususiy yarim o'tkazgichlarni elektr o'tkazuvchanligining temperaturaga bog'liqligi.**

**Toshkent-2006 y.**

# Yarim o'tkazgichlar fizikasi

---

**Xususiy yarim o'tkazgichlar.**

**Yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi.**

**Fermi sathi va uning holati.**

**Xususiy yarim o'tkazgichlarni elektr o'tkazuvchanligining temperaturaga bog'liqligi.**

TATU Fizika kafedrası

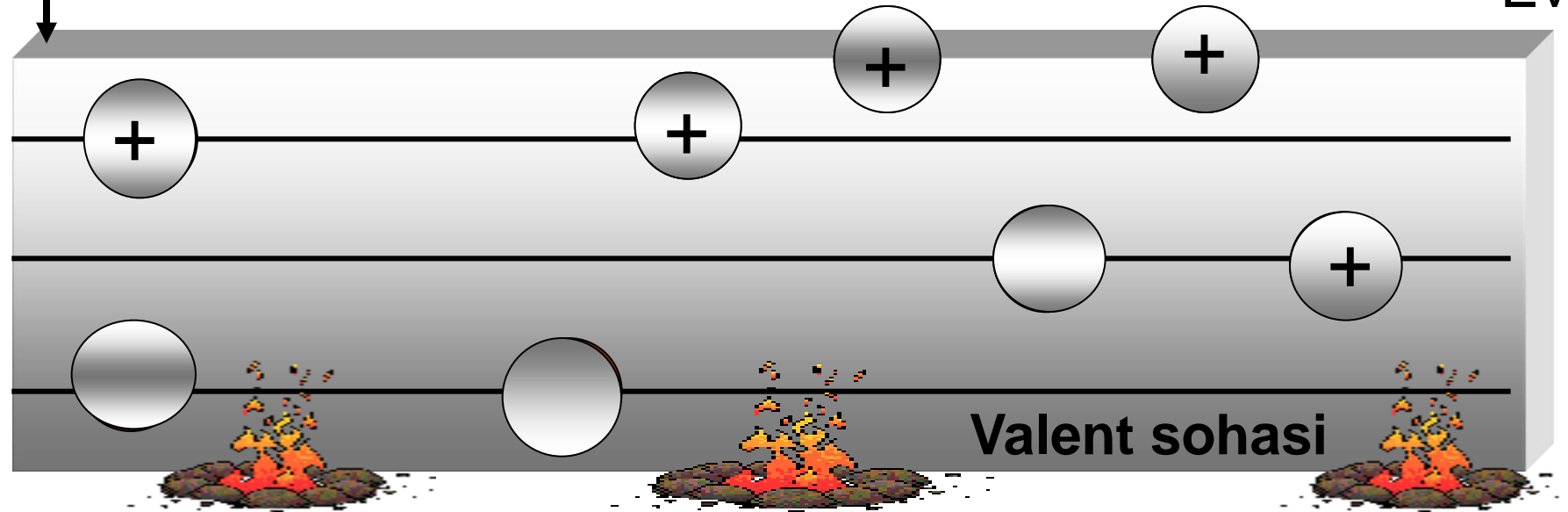
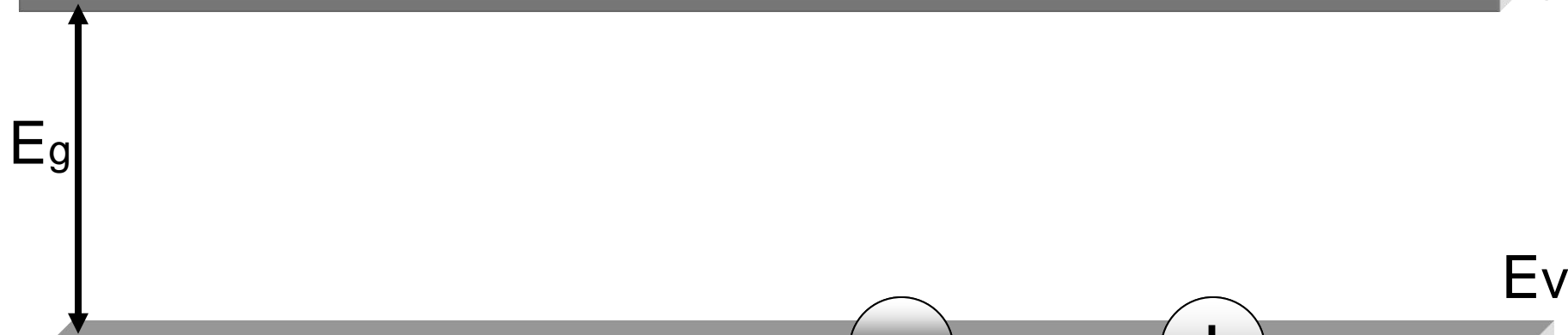
K.P. Abduraxmanov, V.S.Xamidov

## ***Yuqori darajada tozalangan kremniy tarkibida kirishmalarning atom ulushi***

<b>Kirishmalar</b>	<b>Mumkin bo'lgan miqdori , %</b>
<i>Al</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>B</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>H</i>	$1 \cdot 10^{-3}$
<i>Fe</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>O</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>Mg</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>Mn</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>Cu</i>	$1 \cdot 10^{-8}$
<i>Pb</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>Ag</i>	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>P</i>	$1 \cdot 10^{-8}$
<i>Zn</i>	$1 \cdot 10^{-8}$

- Ximiyaviy jihatdan toza yarim o'tkazgichlar xususiy yarim o'tkazgichlar deb ataladi. Ularga bir qator ximiyaviy toza elementlar (germaniy-**Ge**, kremniy-**Si**, selen-**Se**, tellur-**Te**) va ximiyaviy birikmalar (galliy arsenidi – **GaAs**, indiy arsenidi-**InAs**, indiy antimonidi- **InSb**, Karbid kremniy-**SiC** va xakozolar) kiradi.

-



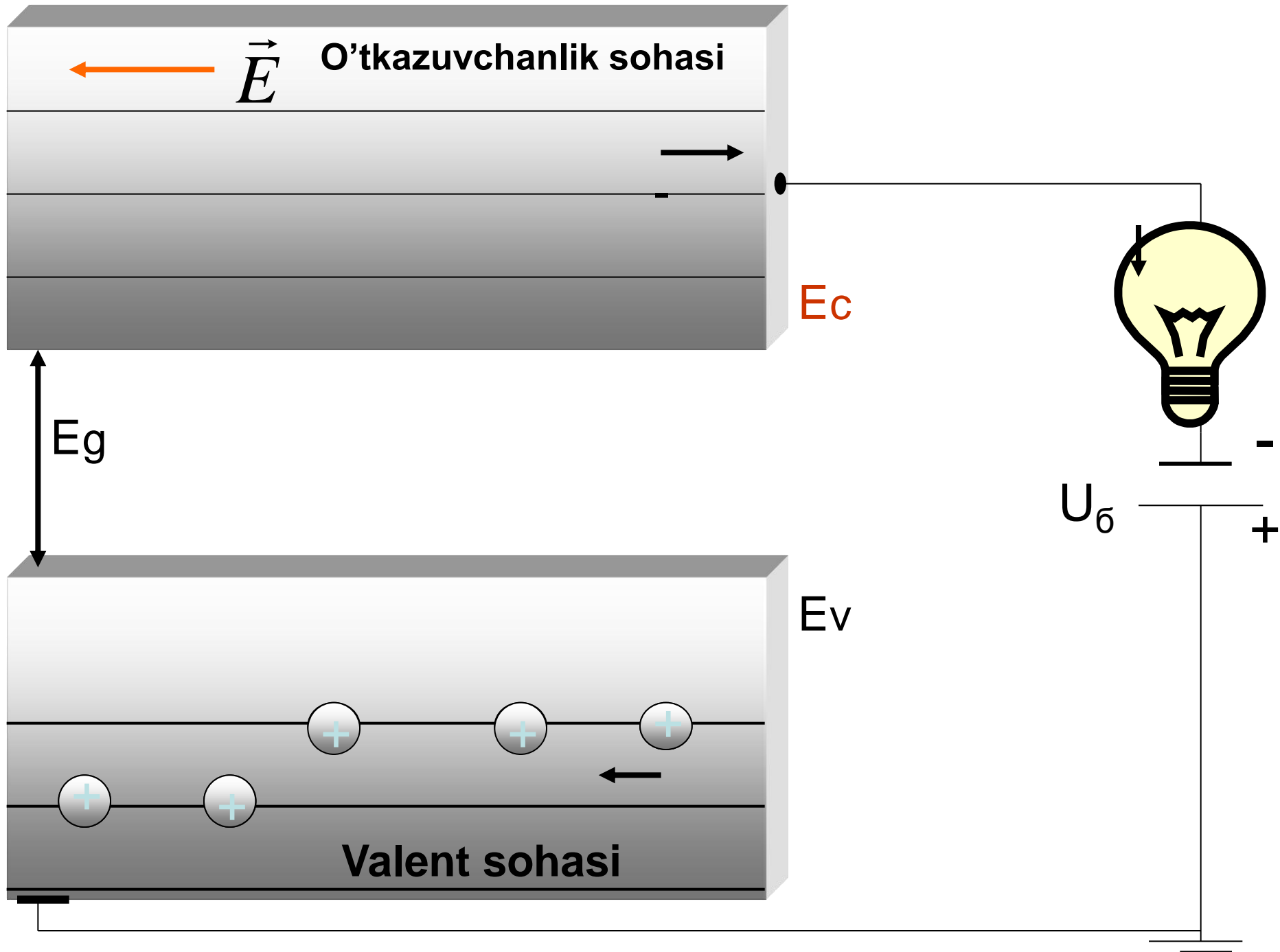
Taqiqlangan soha kengligi  $E_g=0.66$  eV.  
**Germaniy** uchun uy temperaturasida  $t=25^{\circ}$  C,  
o'tkazuvchanlik sohasidagi elektron gaz konsentratsiyasi  
 $n_i \approx 10^{19} \text{ m}^{-3}$ , solishtirma qarshiligi  $\rho_i=0.48$  Om m ga teng  
bo'ladi.

Taqiqlangan sohaning kengligi  $E_g=5.2$  eV ga teng  
bo'lgan **olmos** uy temperaturasida  $t=25^{\circ}$  C  
o'tkazuvchanlik sohasida elektronlar konsentratsiyasi  
 $n_i \approx 10^7 \text{ m}^{-3}$  ga, solishtirma qarshiligi  $\rho_i=10^8$  Om m ga teng  
bo'ladi.

Ammo temperatura 600 K ga teng bo'lishi bilan  
elektron gazning konsentratsiyasi olmosda bir necha  
tartibga ortadi, solishtirma qarshiligi esa 0,5Om m ga  
teng bo'ladi.

- **Yuqoridagilardan quyidagi ikkita muhim xulosa kelib chiqadi:**
- 1. Yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi valent sohadagi elektronlarga o'tkazuvchanlik sohasiga o'tish uchun yetarli bo'lgan energiyani beruvchi tashqi kuchlar ta'sirida paydo bo'ladi. SHuning uchun yarim o'tkazgichlar o'tkazuvchanligi **qo'zg'atilgan o'tkazuvchanlikdan** iboratdir;
- 2. Qattiq jismlarni yarimo'tkazgichlar va dielektrlarga bo'linishi ma'lum bir hisobda shartli xarakterga egadir. O'y haroratida dielektrik xususiyatiga ega bo'lgan olmos yuqori temperaturalarda sezilarli o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, yarim o'tkazgich xususiyatini oladi.





$$\vec{I} = q\vec{v}_s, \quad (1)$$

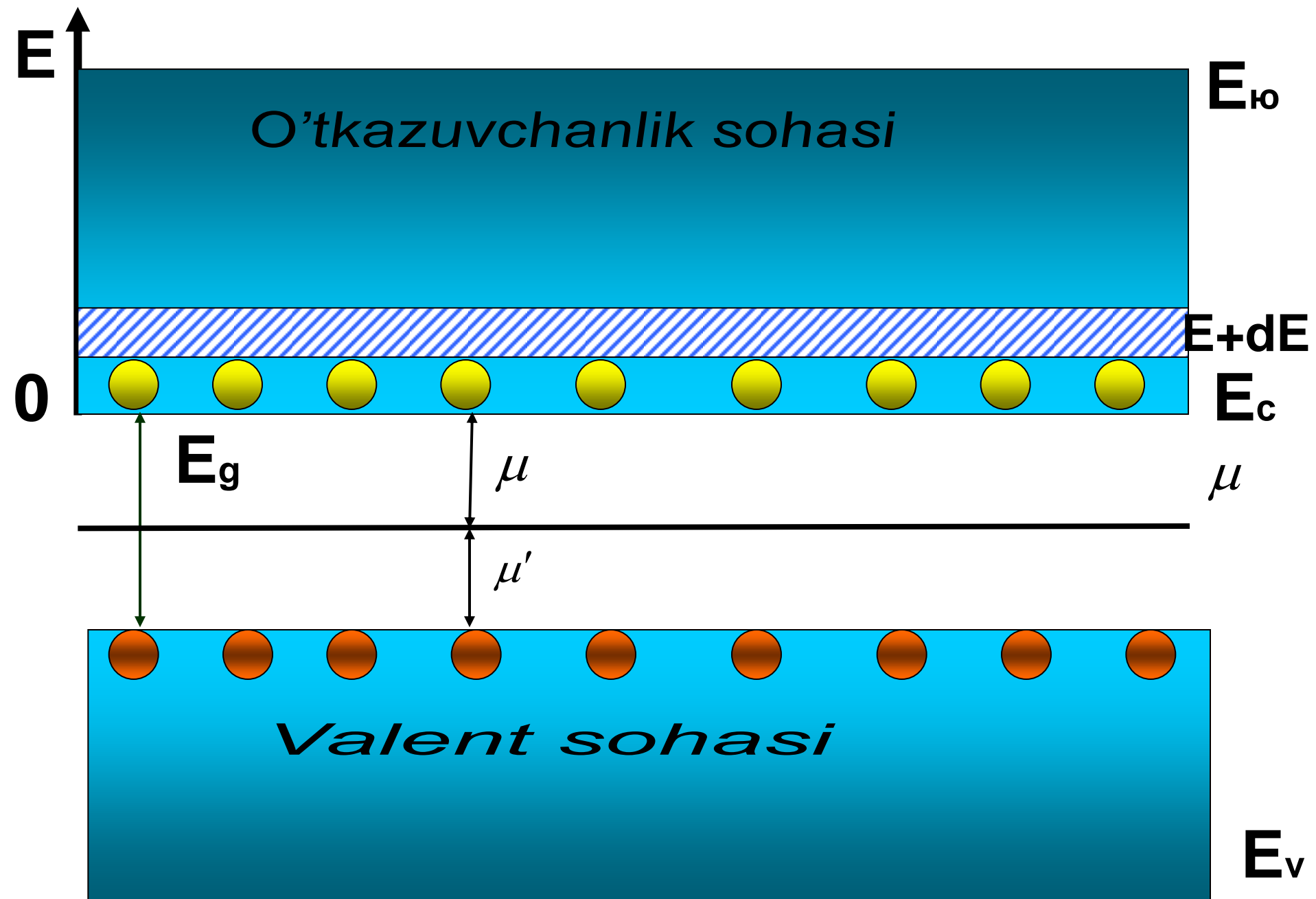
Yarim- o'tkazgichlar	$E_g, \text{эВ}$	$n_i, m^{-3}$	$\rho_i, \text{ОМ} \cdot \text{м}$	Effektiv massalar	
				Elektron $m_n$	Kovak $m_p$
Indiy Antimonidi	0.17	$1.4 \cdot 10^{22}$	$6 \cdot 10^{-5}$	0.015m	0.18m
Germaniy	0.66	$3 \cdot 10^{19}$	0.48	0.56m	0.59m
Kremniy	1.12	$10^{16}$	$2 \cdot 10^3$	1.08m	0.37m



# Erkin zaryad tashuvchilar kontsenratsiyasining Fermi sathi holatiga bog'liqligi

- Yarim o'tkazgichlarda erkin zaryad tashuvchi gazning xususiyatlarini belgilovchi asosiy parametrlardan biri  $\mu$ - kimyoviy potentsialdir. Bu iborani elektron va kovakli gaz uchun oddiygina qilib **Fermi sathi** deyiladi.
- Bizga ma'lumki metallarda Fermi sathi o'tkazuvchanlik sohasidagi elektronlar bilan to'lgan oxirgi energetik sathdir.  $T=0$  K da Fermi sathidan pastdagi hamma energetik sathlar elektronlar bilan tulgan, undan yuqoridagi energetik sathlarning barchasi bo'shdir. Metallarda elektron gazning kontsentratsiyasi o'tkazuvchanlik sohasidagi xolatlar soni bilan bir xil bo'ladi, shuning uchun bu gaz aynigan gaz hisoblanadi va elektronlarning xolatlar buyicha taqsimlanishi Fermi Dirak kvant statistikasi bilan ifodalanadi. Bunday gazdagi elektronlarning kontsentratsiyasi temperaturaga deyarli bog'liq emas.

-



Yuqoridagi rasmda xususiy yarim o'tkazgich keltirilgani sababli elektron gazi aynimagan bo'lganligi uchun Maksvell-Boltsman taqsimotiga asoslanib  $dE$  energiya oralig'idagi egallagan  $dn$ - elektronlar konsentratsiyasini hisoblashga harakat qilamiz:

$$N(E)dE = f(E)g(E)dE \quad (2)$$

$$f_{M.B.}(E) = e^{\frac{\mu-E}{kT}} \quad (3)$$

$$f_{M.B.}(E) = \frac{N}{V} \left( \frac{h^2}{2\pi mkT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E}{kT}} \quad (4)$$

$$g(E)dE = \frac{4\pi V}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} \sqrt{E} dE \quad (5)$$

$$dn = \frac{4\pi}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\mu-E}{kT}} \sqrt{E} dE \quad (6)$$

$$-E_g = \mu + \mu' \quad \mu' = -(E_g + \mu) \quad (7)$$

$$n = 4\pi \left( \frac{2m_n}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\mu}{kT}} \int_0^{E_{\mu}} e^{-\frac{E}{kT}} \sqrt{E} dE \quad (8)$$

**E** ortishi bilan  $e^{-\frac{E}{kT}}$  funktsiyasi juda tez kamayib borishini e'tiborga olib integrallash chegarasini **0** dan  $\infty$  gacha deb olish mumkin.

$$n = 4\pi \left( \frac{2m_n}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\mu}{kT}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{E}{kT}} \sqrt{E} dE \quad (9)$$

$$n = 2 \left( \frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\mu}{kT}} \quad (10)$$

$$p = 2 \left( \frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-(E_g + \mu)}{kT}} \quad (11)$$

(10) va (11) ifodalarda  $m_n$  va  $m_p$  elektron va kovaklarning effektiv massalaridir.

$$np = n_i p_i = 4 \left( \frac{2\pi kT}{h^2} \right)^3 (m_n m_p)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{kT}} \quad (12)$$

$$n_i = p_i \quad (13)$$

$$2 \left( \frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\mu}{kT}} = 2 \left( \frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g + \mu}{kT}}$$

Bu ifodani  $\mu$  ga nisbatan yechib, xususiy yarim o'tkazgichning Fermi sathining holatini aniqlaymiz:

$$\mu = -\frac{E_g}{2} + \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_p}{m_n}$$

**T=0 K** bo'lgan xolda  $\mu = -\frac{E_g}{2}$  ga teng, Fermi sathi taqiqlangan sohaning qoq o'rtasida joylashadi

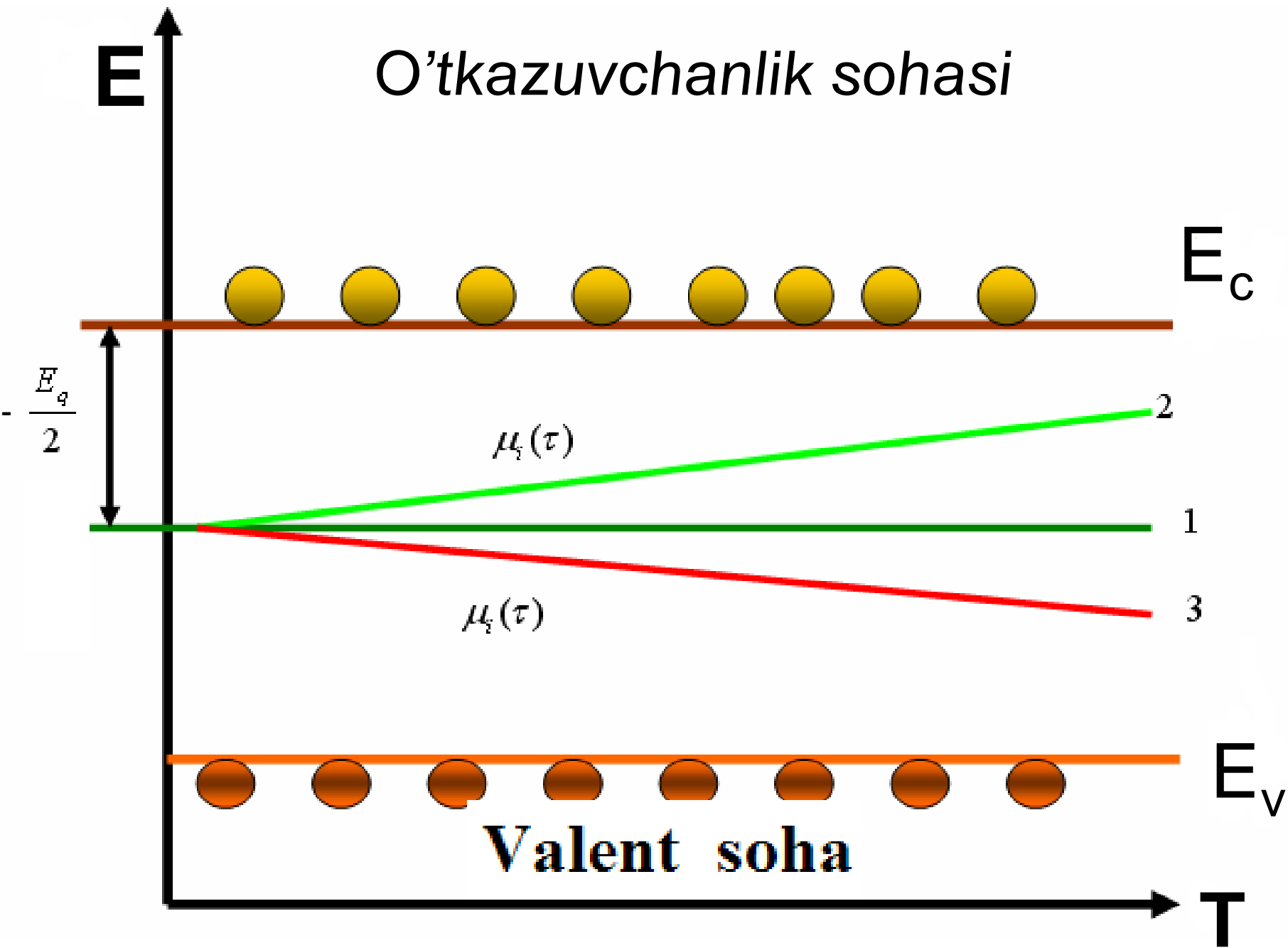
Fermi sathining qiymatini (10) va (11) ifodalarga qo'ysak, xususiy yarim o'tkazgichlardagi elektron va kovaklar konsentratsiyasini aniqlashimiz mumkin:

$$n_i = p_i = 2 \left( \frac{2\pi \sqrt{m_n m_p} kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (15)$$

Ular taqiqlangan soha kengligi va temperaturaga bog'liqdir. Xususiy yarim o'tkazgichlarda belgilangan biror  $T$  temperatura uchun elektron va kovak konsentratsiyasining ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir

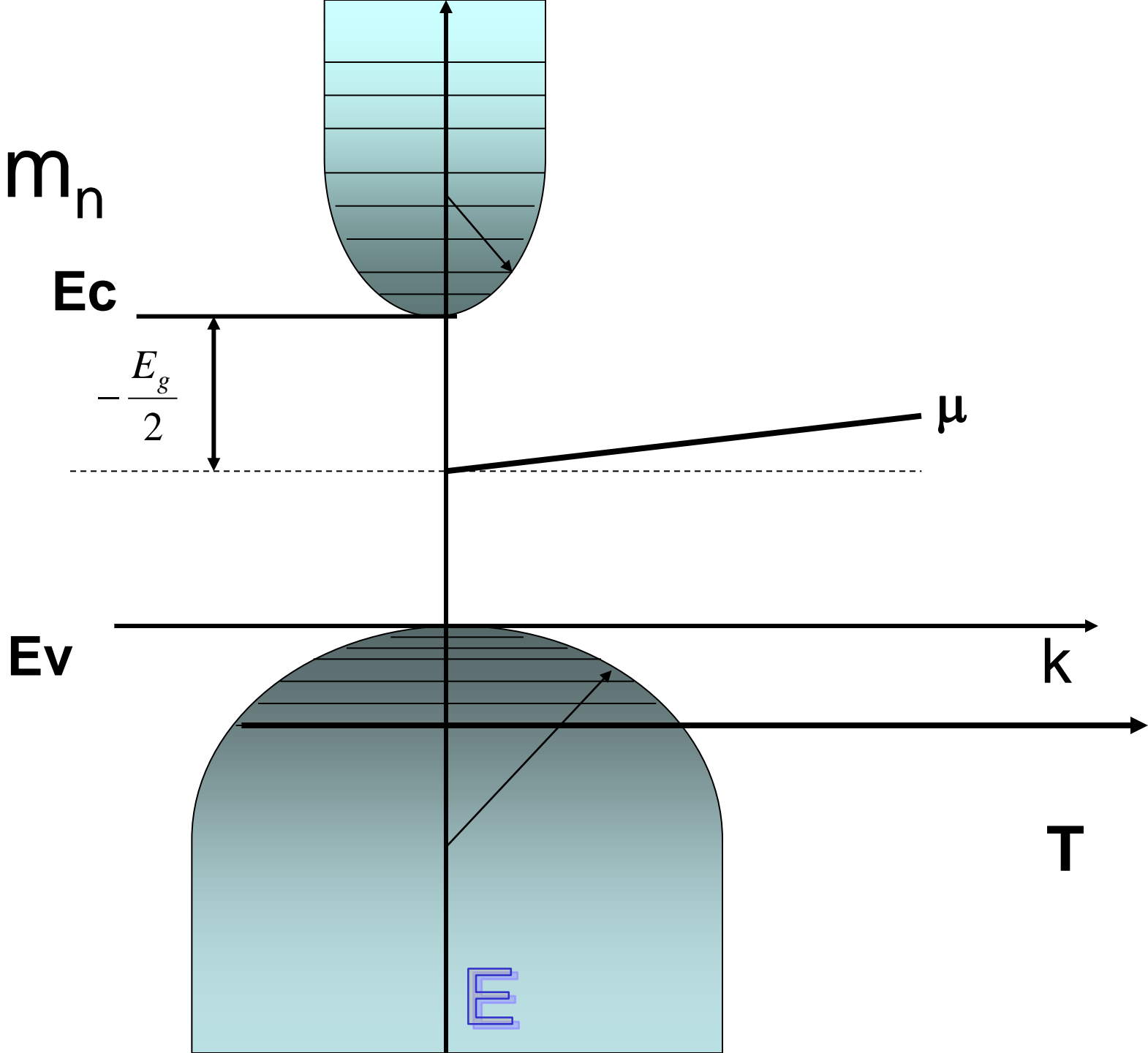
$$n_n \cdot n_p = n_i^2 \quad (16)$$

# O'tkazuvchanlik sohasi

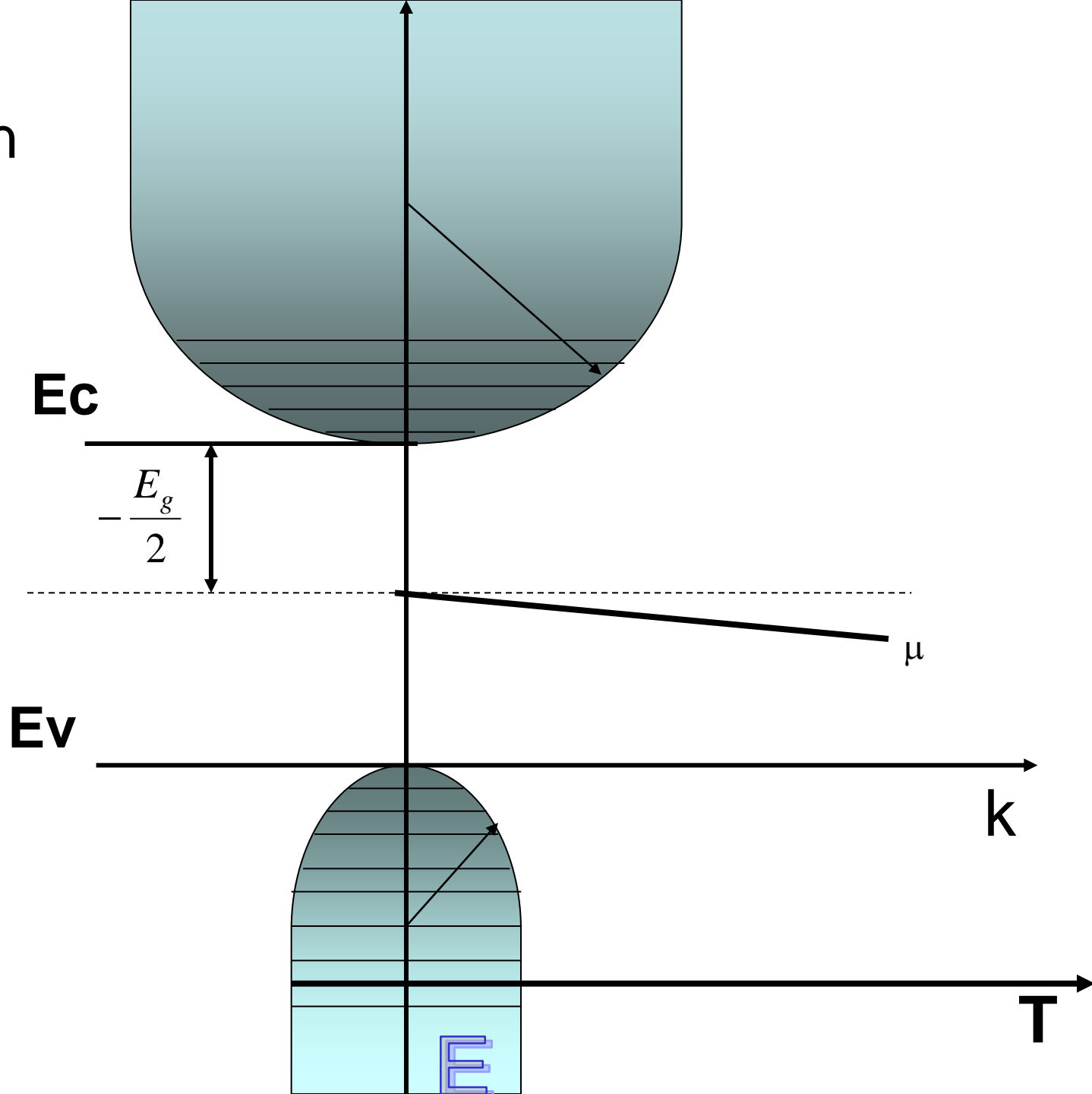




•  $m_p > m_n$



•  $m_p < m_n$



# Xususiy yarim o'tkazgichlarning elektr o'tazuvchanligi

Kirishmalardan yuqori darajada tozalangan yarim o'tkazgichlar juda past bo'lmagan temperaturalarda, quyilgan tashqi elektr maydon ta'sirida o'zining xususiy zaryad tashuvchilari – elektronlar va kovaklarning yo'naltirilgan harakati hisobiga elektr o'tkazuvchanlikki ega bo'ladi. Ushbu elektr o'tkazuvchanlik yarim o'tkazgichlarning **xususiy o'tkazuvchanligi** deyiladi.

$$n_i = p_i$$

sharti bajarilganligi uchun xususiy yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\sigma_i = \sigma_n + \sigma_p = qn_i(u_n + u_p) \quad (17)$$

Aynimagan elektron gazi uchun

$$U \approx T^{-\frac{3}{2}}$$

shartni hisobga olib va (15) ifodadan foydalanib, xususiy yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligi uchun quyidagicha formulani hosil qilamiz

:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (18)$$

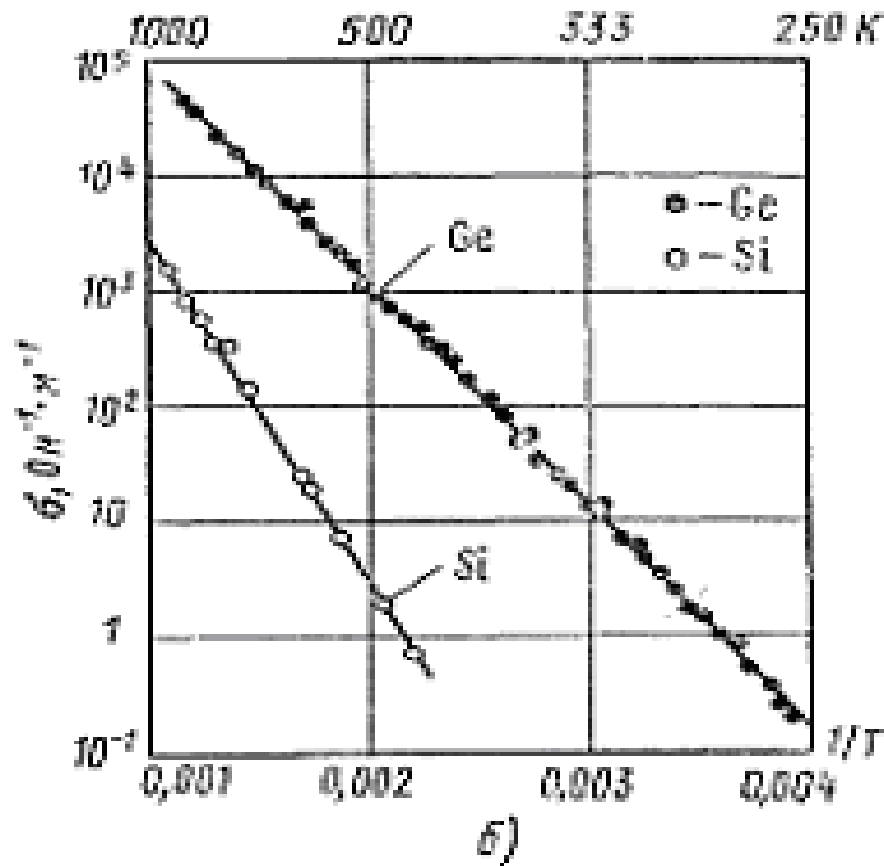
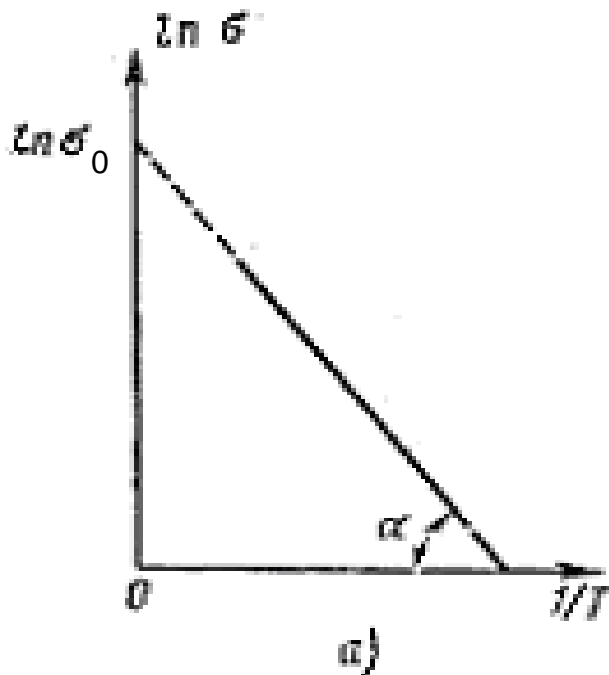
Bu ifodani yarim logarifmik masshtabda keltirish  $\sigma$  ning (T) ga qanday bog'liqligini yaqqol ko'rsatadi

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2kT} \quad (19)$$

Bu bog'lanish rasmda ko'rsatilgan. Bu to'g'ri chiziqni abtsissa o'qi bilan kesishda hosil qilgan  $\alpha$  -burchakning tangensi

$$\frac{E_g}{2k}$$

ga tengdir. Chiziqning ordinata o'qi bilan kesishgan nuqtasi  $\sigma_0$  doimiysini,  $\alpha$  burchagi esa taqiqlangan soha kengligini  $-(E_g)$  ni topish imkonini beradi.



Amaliyotda xam aynan shu usul bilan taqiqlangan soha kengligi –  $E_g$  topiladi. SHu usul bilan tajribada kremniy va germaniylarning taqiqlangan soha kengligi aniqlangan bo'lib quyidagi qiymatlarga tengdir:

$$E_g \Big|_{Si} = 1.12 \text{эВ}$$

$$E_g \Big|_{Ge} = 0.75 \text{эВ}$$

## Ma'ruzani tayyorlashda foydalanilgan dasturlar, linklar va adabiyotlar

---

- Microsoft Power Point
  - Savelev I. V. Kurs fiziki. M.: Nauka 1989 t.2
  - Epifanov G.I. Fizika tverdogo tela. M. Visshaya shkola 1977.
-