Subject
Date

۲۰۸ « فیزیک حالت جامد »

میان ترم ۷ + پایان ترم ۱۰ + ۳ نمره بونیز و تکلیف

// فعالیت فرهنگی ۰٫۵

// حضور مثبت ۱٫۸

Telegram : @SSP_KNTU

Refrence : { J-R Hook, H.E Hall, "solid state physics

charles kittel, "Introduction to solid state physics"

رابطه دوبروی : $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ ← ثابت پلانک ← momentum

معادله شرودینگر : $\nabla^2\psi + \left(\frac{8\pi^2 m}{h^2}\right)(E - V)\psi = 0$

تابع موج ψ بیانگر اوربیتال است.

Subject
Date

$\psi(r,\theta,\varphi) = R(r)\ Y(\theta,\varphi)$ (توابع حالت کوانتومی)

تابع زاویه‌ای — تابع شعاعی

جواب‌ها وابسته به شرایط مرزی مانند n و L هستند

اعداد کوانتومی

ψ^2 ⟵ چگالی بار الکترون ⟵ احتمال یافتن الکترون

عدد کوانتومی اصلی	عدد کوانتومی ثانویه	عدد کوانتومی مغناطیسی	عدد کوانتومی اسپین
n	$0 \le L \le n-1$	$-L \le m_L \le L$	$m_s = \pm 1/2$
۱	$L=0$	۰	
۲	$L=0$ و ۱	۰ و ۱ و ۱-	
۳	$L=0$ و ۱ و ۲	۰ و ۱ و ۱- و ۲ و ۲-	

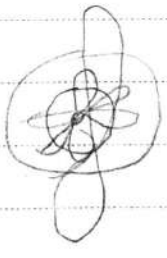
$L=0 \to s$ $\quad L=2 \to d$

$L=1 \to p$ $\quad L=3 \to f$

m_L ← جهت‌گیری اوربیتال را نشان می‌دهد

$s \to L=0 \to m_L=0$ — یک جهت‌گیری فقط یک دانه دارد

$f \to L=3 \to m_L = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ — سه جهت‌گیری



https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

اصل طرد پائولی ← n ، l ، m_l ، m_s نمی‌توانند هر چهارتا برای دو الکترون یکسان باشند.

$\frac{\uparrow\downarrow}{2p_x}$ $\frac{\uparrow\downarrow}{2p_y}$ $\frac{\uparrow\downarrow}{2p_z}$

n	l	m_l	تعداد	m_s
۱	$l=0$	$-l \le m_l \le l$		
۲	$l=0$	$m_l=0$	۲	
	$l=1$	$m_l=-1,0,1$	۶	
۳	$l=0$	$m_l=0$	۲	
	$l=1$	$-1 \le m_l \le 1$	۶	
	$l=2$	$-2 \le m_l \le 2$	۱۰	

ابتدا الکترون‌ها از اوربیتال‌های انرژی پایین‌تر پر می‌شود که سطح انرژی پایین‌تری دارد

$ns^2\ (n-2)f^{14}$ .....

homework: دو هفته‌ی دیگه

آیا شکل اوربیتال‌های $2p$ و $3p$ یکسانه یا ریاضی متفاوت به؟

(A) $n=2,\ l=1 \rightarrow R(r)=\frac{1}{2\sqrt{6}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}\left(\frac{Zr}{a_0}\right)e^{-Zr/2a_0}$

(B) $n=3,\ l=1 \rightarrow R(r)=\frac{2}{27\sqrt{6}}\cdot\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}\left(2-\frac{Zr}{3a_0}\right)e^{-\frac{Zr}{3a_0}}$

(A) $Y_{1,0}(\theta,\phi)=\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2}\sin\theta\cos\phi$

(B) $Y_{1,0}(\theta,\phi)=\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2}\sin\theta\cos\phi$

P4PCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸, ۷, ۶

bond → پیوند
overlap → منطبق
alloy → آلیاژ

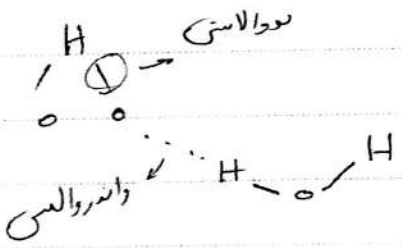
property → خواص
compound → ترکیب
اغلب یون ← فلز + نافلز

$\underset{+}{NH_4}\underset{-}{Cl}$ → مثلاً استثنا

homework : چرا وقتی انرژی sp^3 بیشتر از sp^2 است پایدارتره؟ (پایداری الماس و گرافیت)

۹۸, ۷, ۱۳

Dipole → دوقطبی
Induced → القایی
H_2 ← متقارنه و دوقطبی نیست



دوقطبی‌ها
- دائمی ← $\overset{\delta^+}{HF} - \overset{\delta^-}{H_2O}$
- القایی

دوقطبی
- القایی - القایی
- القایی - دائمی
- دائمی - دائمی

→ واندروالس ضعیف

H_2 دوقطبی القایی - القایی

PARCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

دوقطبی دائمی ـ القایی :

$\underbrace{HCl}_{\text{دوقطبی دائمی}} + (\text{اتم}) \rightarrow$ القایی

دوقطبی دائمی ـ دائمی :

(پیوند هیدروژنی بین H و O و N و F) بین دو تا مولکول ← قوی‌ترین واندروالس و نوعی دوقطبی ـ دوقطبی محسوب می‌شه.

H:F:

۹۸/۷/۲۰

ارتعاشات بلوری (ارتعاش اتم‌ها در شبکه‌ی بلور)

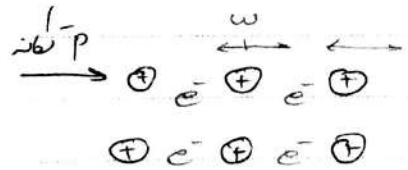
دینامیک بلور : در یک بلور به صورت توزیع منظم از اتم‌های سالن ← این فرض نمی‌تواند کاملاً صحیح باشد بلورشناسی

(اصل عدم قطعیت) حتی در دمای صفر مطلق اتم‌های بلور حول مکان‌های تعادل خود ارتعاش دارند.

ماهیت حرکت‌های اتمی (ارتعاش‌های شبکه) :

ارتعاشات کم دامنه شبکه : تقریب بورن ـ اپن‌هایمر (اوپنهایمر) (هدف : ساده‌سازی مدل) حرکت الکترون و هسته در یک مولکول جداشدنی است. در یک مولکول یعنی در شبکه بلوری جایگاه یون‌ها را ثابت فرض می‌کنیم و الکترون‌ها اجازه حرکت دارند.

ω = فرکانس ω^2 برحسب k (عدد موج) ← رابطه پاشندگی



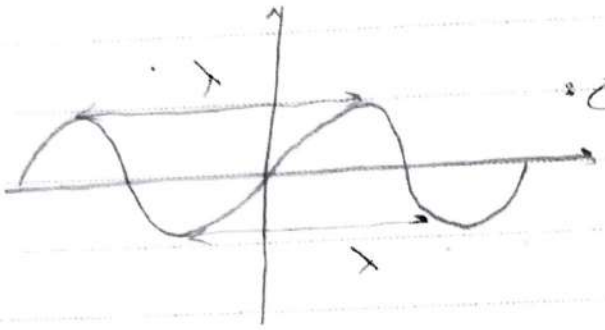
P4PCO
https://t.me/miirza_beneviis

فرکانس ← تعداد ارتعاشات در ثانیه -

$$f = \frac{1}{t}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$ ← سرعت موج / ← طول موج

طول موج :



عدد موج : تعداد موج‌های موجود در واحد طول $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

ارتعاشات شبکه در بلورهای یک بعدی :

حالت ۱ ← زنجیر ابدی از اتم‌های یکسان (حالت تک اتمی) :

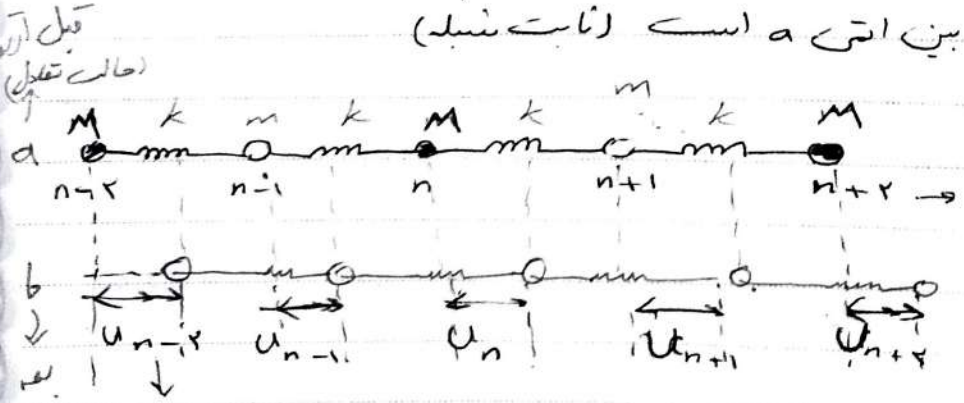
فرض ۱) حرکت اتم‌ها موازی با زنجیر

فرض ۲) از طریق پتانسیل بین اتمی برهم‌کنش دارند.

فرض ۳) فقط نزدیک‌ترین اتم‌ها به هم تاثیر می‌گذارند.

فرض ۴) اتم‌ها هم‌جنس هستند.

فرض ۵) فاصله‌ی بین اتمی a است (ثابت شبکه)



شکل ۲-۶

PAPCO
https://t.me/mirza_beneviis

Subject
Date

نیروی وارد بر اتم n ام :

① $k(U_n - U_{n-1})$ ← نیروی با فنر سمت چپ

② $k(U_{n+1} - U_n)$ ← نیرو با فنر سمت راست

قانون دوم نیوتون : $F = ma = k\Delta x$

نیروی فنر

$$\Rightarrow \underbrace{M\ddot{U}}_{\text{جرم}} = \underbrace{k}_{\text{ثابت فنر}}(U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1}) \quad \star$$

برای حل معادلات ★ جواب موج پونده‌ای را در آن تمام اتم‌ها با دامنه یکسان A نوسان می‌کنند؟ می آزماییم:

برای اتم $x = n$

$$U_n = A\exp[i(kna - wt)] \quad \star\star$$

شکل کلی تابع موجی مانند ψ به صورت زیر است :

$$\psi(x,t) = A\sin(kx - wt) = A\cos(kx - wt) = A\exp[i(kx - wt)]$$

تابع احتمال $|\psi|^2 = \psi\psi^*$ مزدوج تابع

$\star$ در $\star\star$ جایگزین : $-w^2 MAe^{i[kna - wt]}$

$$= kA\left[e^{i(k(n+1)a - wt)} - 2e^{i(kna - wt)} + e^{i(k(n-1)a - wt)}\right]$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

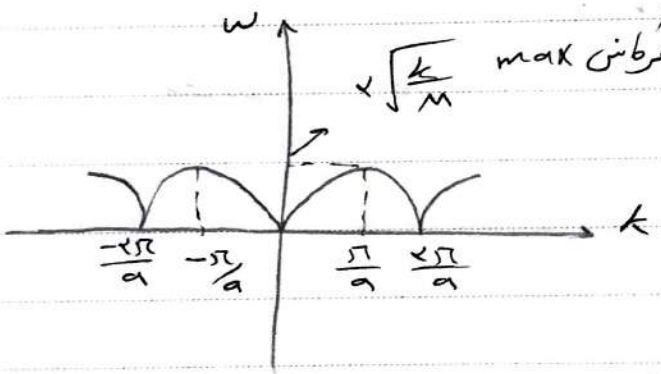
$$\Rightarrow -\omega^2 M = k\left(e^{ika} - 2 + e^{ika}\right) = 2k\left[\cos(ka) - 1\right]$$

رابطه‌ی پاشندگی (رابطه بین ω و k):

(ثابت فنر (برگشت) — (عدد موج (وجیه)

$$\omega^2 = \frac{4k}{M}\sin^2\left(\frac{ka}{2}\right)$$

شکل روبه‌رو رابطه پاشندگی را برای ارتعاشات شبکه‌ای موج‌گونه نشان می‌دهد.



$$\cos\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2}$$

۹۸، ۸، ۴

زنجیر یک‌بعدی با دو نوع اتم:

ارتعاشات شبکه در زنجیر یک‌بعدی حاوی دو نوع اتم با جرم‌های M و m که با فنرهای یکسان با ثابت فنر K به هم متصلند.

فرض ← نیروها کوتاه‌برد هستند.

a ← ثابت شبکه یا فاصله بین دو اتم از یک جنس

معادله حرکت را برای جرم‌های m و M به صورت جداگانه می‌نویسیم:

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

$F = ma = Kx$

جابجایی n ام
(مشتق دوم حاد حیاتی)

$$M\ddot{U}_n = K(U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1}) \quad \text{معادله ①}$$

$$m\ddot{U}_{n-1} = K(U_n - 2U_{n-1} + U_{n-2}) \quad \text{معادله ②}$$

برای جرم‌های M می‌توانیم جوابی به صورت زیر فرض کنیم:

$$U_n = A\exp\left[i\left(\frac{kna}{2} - \omega t\right)\right] \quad \text{معادله ③}$$

برای جرم‌های m:

$$U_n = \alpha A\exp\left[i\left(\frac{kna}{2} - \omega t\right)\right] \quad \text{معادله ④}$$

معادلات ③ و ④ را در ۱ و ۲ جایگزین می‌کنیم ←

$$-\omega^2 M e^{i\left(\frac{kna}{2} - \omega t\right)} = K\left(\alpha e^{i\left[k(n+1)\frac{a}{2} - \omega t\right]} - 2e^{i\left(\frac{kna}{2} - \omega t\right)} + \alpha e^{i\left[k(n-1)\frac{a}{2} - \omega t\right]}\right)$$

برای جرم m: $-\alpha\omega^2 m e^{i\left[k(n-1)\frac{a}{2} - \omega t\right]} = K\left(e^{i\left(\frac{kna}{2} - \omega t\right)} - 2\alpha e^{i\left(\frac{k(n-1)a}{2} - \omega t\right)} + e^{i\left(k(n-2)\frac{a}{2} - \omega t\right)}\right)$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

حذف عوامل مشترک:

$$\begin{cases} -\omega^2 M = 2k\left[\alpha\cos\left(\frac{ka}{2}\right) - 1\right] \\ -\alpha\omega^2 m = 2k\left[\cos\left(\frac{ka}{2}\right) - \alpha\right] \end{cases} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{2k\cos\left(\frac{ka}{2}\right)}{2k - \omega^2 m} = \frac{2k - \omega^2 M}{2k\cos\left(\frac{ka}{2}\right)}$$

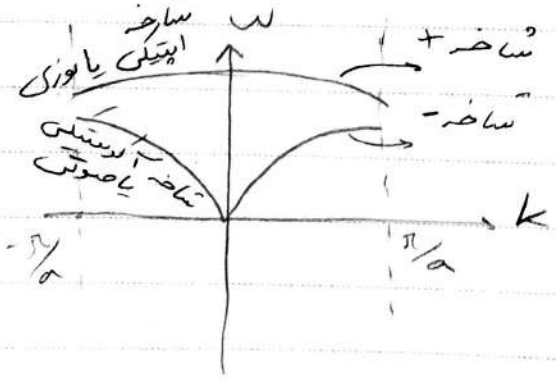
از معادله قبل یک معادله درجه ۲ بر حسب ω^2 حاصل می‌شود:

$$mM\omega^4 - 2k(M+m)\omega^2 + 4k^2\sin^2\left(\frac{ka}{2}\right) = 0$$

$$\omega^2 = \frac{k(M+m)}{Mm} \pm k\left[\left(\frac{M+m}{Mm}\right)^2 - \frac{4}{Mm}\sin^2\left(\frac{ka}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

ثابت فنر — ثابت فنر — عدد موج

رابطه پاشندگی برای دو اتم متفاوت در زنجیر یک بعدی



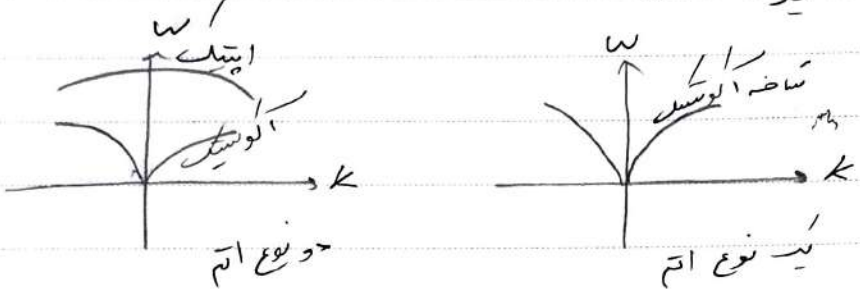
Acoustic branch
optical branch

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

ارتعاشات شبکه در بلورهای ۳ بعدی :

در یک راستای خاص در بلور سه بعدی، روابط پاشندگی برای امواج ارتعاشی به یکی از دو صورت زیر هستند :



یا تابعی موجی از k است.

برای unit cell (یاخته) تک اتمی : ۳ شاخه یا ۳ مد آکوستیکی داریم.
یعنی ۳ تا رابطه پاشندگی داریم در جهات x و y و z

برای unit cell با دو اتم : ۳ شاخه آکوستیکی
۳ شاخه اپتیک

در unit cell با p اتم
کلاً $3p$ شاخه یا مد نوسانی دارد
۳ شاخه آکوستیکی (۱ طولی، ۲ تا عرضی (TA) (LA) Longitudinal optical (LO) Transverse optical (TO))
$3(p-1)$ شاخه اپتیکی ($2(p-1)$ عرضی، $p-1$ طولی)
$3+3(p-1)=3p$
آکوستیکی / اپتیک / کل

موج عرضی : جهت انتشار و ارتعاش عمود بر هم

موج طولی : جهت انتشار و ارتعاش در راستای هم

PAPCO

longitudinal → طولی
transverse → عرضی

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸ , ۸ , ۱۸

هدایت الکتریکی (در فلزات):

جریان الکتریکی ← جریان و هدایت بار از یک محل به محل دیگر
↓ حرکت الکترون ها

جریان الکتریکی:

$$I = \frac{q}{t}$$

مثال) در یک سیم نقره با قطر یک mm ، بار ۹۰ coloumb در یک ساعت و ۱۸ دقیقه جریان می یابد. جریان در سیم بر حسب آمپر چقدر است؟

$$I = \frac{q}{t} = \frac{۹۰}{۷۸۰۰} = \frac{۳}{۱۸۰} = \frac{۱}{۶۰} = ۰/۰۲ \text{ Amp} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{coloumb}}{\text{sec}}$$

(if net charge (بار خالص) of q, passes through any cross-section of a conductor in time t, then I is $\frac{q}{t}$.)

مقدار به دست آمده در کل سیم ثابت! در سطح مقطع است!

تئوری الکترون: (electron theory) از مثبت به قطب منفی

الکترون آزاد ← با توجه به تئوری الکترون، تعداد زیادی ث با پیوستگی ضعیف در فلزات وجود دارد که قادرند آزادانه در فواصل بین اتمی حرکت کنند. به این نوع الکترون ها الکترون آزاد گوینه ← free electrones

* در غیاب میدان الکتریکی، ث ها حرکت بی قاعده در تمام جهات دارند.

net rate of flow? = ۰ سرعت خالص

PaPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

★ اگر میدان الکتریکی برقرار شود ⇐ الکترون ها در خلاف جهت میدان شروع به حرکت می‌کنند و جریان الکتریکی برقرار می‌شود.

الکترون آزاد ⇐ الکترون‌های رسانش / هدایت conduction electron

تعداد e آزاد در فلزات ⇐ در هر مترمکعب $10^{29}\ \frac{e}{m^3}$

اگر در هر سطح مقطعی از یک هادی فلزی، n الکترون آزاد در زمان t عبور کنند، بار الکتریکی خالص عبوری از آن مقطع برابر با q خواهد بود.

$q = n \times e \rightarrow e = 1,6 \times 10^{-19}$ coulomb

(n: تعداد الکترون آزاد در زمان t)

$$\rightarrow I = \frac{q}{t} = \frac{ne}{t} \quad \begin{cases} \text{if } I = 1\ amp \\ t = 1\ sec \\ e = 1,6 \times 10^{-19}\ C \end{cases} \Rightarrow n = ?$$

$n = 6,25 \times 10^{18}$ تعداد eهایی که در 1s از سطح مقطع رسانا جریان پیدا می‌کنند

تعریف در صفحه بعد

سرعت رانش الکترون‌ها: (Yd) Drift velocity of electrons

در یک رسانای فلزی، الکترون‌های آزاد حرکت رندم و سریع و بی‌وسته (بی‌قاعده) در فضای خالی بین یون‌های مثبت ثابت در رسانا دارند و در واقع مانند مولکول‌های گازی در یک ظرف بسته عمل می‌کنند.
بنابراین گفته می‌شود که تشکیل گاز الکترون می‌دهند.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

سرعت حرارتی الکترون‌ها: Thermal velocity of electrons

V_{rms} — root mean square $= \sqrt{\bar{v}^2}$ → مقدار

سرعت { جهت / مقدار

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{M}}$$

k: ثابت بولتزمن

M: جرم مولی مولکول‌ها $\frac{kg}{mol}$

T: دما (K)

$E_k = \frac{3}{2}RT$

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$

تمرین) V_{rms} مربوط به مولکول‌های اکسیژن در $0^\circ C$ چقدر است؟

< weeks

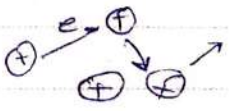
* V_{rms} در فلزات $\sim 10^5 \frac{m}{s}$

root mean square velocity is the square root of the average of the square of the velocity.

اگر سرعت حرارتی الکترون‌ها در جهات مختلف $v_1, v_2, v_3, \dots$ باشد و تعداد کل الکترون‌ها n باشد، سرعت حرارتی متوسط:

Average thermal velocity of all the e^-s $= \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}$

در غیاب میدان $\rightarrow = 0$



λ: فاصله آزاد متوسط (پویش) ← mean free path

τ: زمان استراحت ← relation time

PaPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

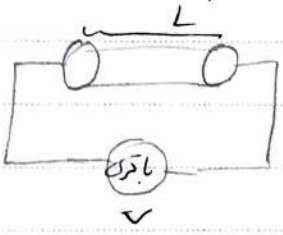
در حالت عادی، برخورد e های آزاد با یون های مثبت شبکه دارای فاصله و زمان متوسط است که e آزاد بین دو برخورد

$$\tau = \frac{\lambda}{v_{rms}}$$

سرعت راننده ← سرعتی است که ذره مانند e به علت حضور در یک میدان الکتریکی به دست می آورد. ← $(10^{6}\ m/s)$

فرض کنید که اختلاف پتانسیل V بین دو انتهای مادی رسانا به طول L برقرار است در این حالت میدان الکتریکی $\vec{E}$ برابر است با:

میدان الکتریکی $\vec{E} = \frac{V}{L}$



نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد بر هر یک از الکترون های آزاد تحت تأثیر میدان الکتریکی در رسانا:

$F = eE \rightarrow F = e\frac{V}{L}$

بار الکترون

اگر جرم الکترون m باشد بزرگی شتاب a حاصل روی e ها:

$F = ma$

$a = \frac{eV/L}{m} = \frac{eV}{mL}$

جهت F در خلاف جهت $\vec{E}$ است

جهت a و F یکسان

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

در غیاب میدان: $\vec{v_1}$ = سرعت حرارتی

در حضور میدان E: $\vec{u_1} + \vec{a}\tau_1$ = سرعت

$\frac{m}{sec}$ ↓ sec زمان

$$(\vec{u_2} + \vec{a}\tau_2), \dots (\vec{u_n} + \vec{a}\tau_n)$$

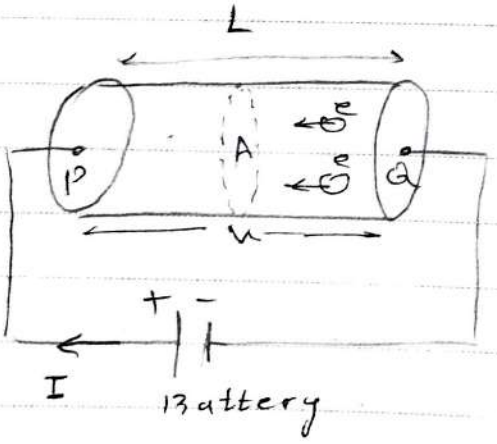
$$\text{سرعت متوسط تمام الکترون‌های آزاد} = \frac{(\vec{u_1} + \vec{a_1}\tau_1) + (\vec{u_2} + \vec{a_2}\tau_2) + \dots + (\vec{u_n} + \vec{a}\tau_n)}{n}$$

$$= \underbrace{\frac{\vec{u_1} + \vec{u_2} + \dots + \vec{u_n}}{n}}_{=0} + a\left(\underbrace{\frac{(\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n)}{n}}_{\tau}\right)$$

$$\Rightarrow v_d = a\tau \quad \text{مقدار سرعت رانش}$$

$$\rightarrow v_d = \left(\frac{eV}{mL}\right)\tau \rightarrow v_d \propto \sqrt{V} \quad \text{اختلاف پتانسیل}$$

ارتباط بین جریان الکتریکی و v_d:



اگر تعداد الکترون‌های آزاد در واحد حجم رسانا n باشد که به آن دانسیته الکترونی رسانا گوییم و تعداد الکترون آزاد عبوری از یک سطح رسانا در t ثانیه برابر است با:

$N = ?$

v_d ← فاصله پیموده شده در یک ثانیه

https://t.me/miirza_beneviis

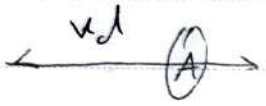
Subject
Date

$N = (\text{حجم رسانا که توسط } e \text{ ها اشغال شده است}) \times n$

تعداد در واحد حجم رسانا

↓

بر حسب A, v_d



$N = A \times v_d \times t \times n$

بار الکتریکی عبوری از سطح مقطع رسانا

$q = N \times e$ ⟹ $q = n e A v_d t$

تعداد — بار یک الکترون

$I = \frac{q}{t} \longrightarrow I = n e A v_d$

مثال) تعداد الکترون های رسانش در مس $8.5 \times 10^{28}\ m^{-3}$ است. چقدر طول می کشد تا یک الکترون از یک انتهای سیم به طول $3m$ به انتهای دیگر آن برود؟ مساحت سطح مقطع $= 2 \times 10^{-6}\ m^2$ و $I = 2A$

∴

✓ جلسه بعد تحویل

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸ , ۸ , ۲۵

تحرک عاملان بار (mobility charge of comers :

سرعت رانش حامل بار به ازای واحد شدت میدان الکتریکی اعمال شده به رسانا.

$$\left[\frac{m^2}{V.s}\right] \mu = \frac{V_d}{E}$$

V_d: سرعت رانش حامل بار به ازای واحد شدت میدان اعمال شده به رسانا

E: میدان الکتریکی

$$V_d = \frac{e.V.\tau}{L.m}$$

V: اختلاف پتانسیل

L: طول رسانا

m: جرم الکترون

τ: زمان آزاد الکترون‌ها

برای باریا V_d و جرم m و بار q $\rightarrow V_d = \frac{q.V.\tau}{m.L}$

$$\rightarrow \mu = \frac{q(EL)\tau}{mLE} \rightarrow \boxed{\mu = \frac{q\tau}{m}}$$

تحرک به وسیله عاملان بار

$$\mu_e = \frac{e\tau}{me} \rightarrow$$ به وسیله الکترون

رابطه مویلیته I :

$$\left.\begin{array}{l} I = neAV_d \\ V_d = \mu . E \\ E = \frac{V}{L} \end{array}\right\} \rightarrow I = ne\mu E = neA\mu\frac{V}{L}$$

مثال) اختلاف پتانسیل اگر V_d عامل آزاد $3\times10^{-4}\ m/s$ باشد تحرک الکترون‌های آزاد را حساب کنید؟ اگر دانسیته e آزاد در حجم الف $8{,}5\times10^{28}\ m^{-3}$ باشد و مساحت سطح مقطع رسانا $1\ mm^2$ باشد، جریان الکتریکی در رسانا چقدر است؟

$$E = \frac{V}{L} = 40\frac{V_0 L}{m}$$

PAPCO

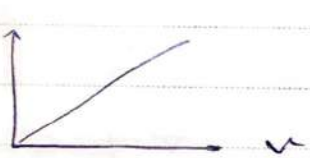
$$\mu = \frac{V_d}{E} = \frac{3\times10^{-4}}{40} = 8\times10^{-6}\ \frac{m^2}{V.s} \quad , \quad I = neA\mu_e E = 0{,}08\ A$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

قانون اهم: بر اساس قانون اهم، جریان الکتریکی عبوری از یک سیم تحت شرایط فیزیکی ثابت، و ... به طور مستقیم متناسب است با اختلاف پتانسیل بین دو انتهای سیم. رسانایی که ارتباط مذکور در آن معتبر است به اصطلاح از قانون اهم پیروی می‌کند.

$I = \frac{V}{R}$



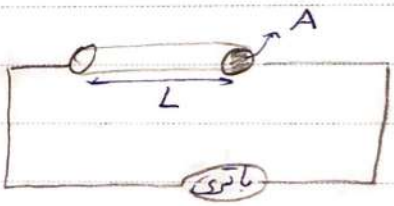
$\frac{V}{I} = R = $ ثابت = مقاومت الکتریکی رسانا

استخراج قانون اهم بر اساس v_d:

$I = neAv_d$

$v_d = \frac{eVt}{mL}$

$I = neA\left(\frac{eVt}{mL}\right)$



$\frac{V}{I} = \frac{mL}{ne^2AL}$ ← جزء

ثابت جهانی ① ← بار e

V: اختلاف پتانسیل بین دو سر سیم

n: دانسیته e آزاد در سیم

v_d: سرعت واکنش الکترون‌ها

② m, A, n ← برای یک سیم مشخص ← به ماده رسانا وابسته‌اند

③ $\rho \propto T$ ← ρ فلزها ← در T ثابت

①②③ → $\frac{V}{I} =$ مقدار ثابت در T ثابت → $R = \frac{mL}{ne^2A\rho}$

مقاومت الکتریکی یک جسم به عنوان ویژگی که جسم تعریف می‌شود که مخالفت می‌کند با عبور جریان الکتریکی از آن.

$R = \left[\frac{V}{A}\right] = \Omega$ (اهم) امط

$R \propto L$ — $T \uparrow$ — $\rho \downarrow$

$R \propto \frac{1}{A}$ — $T \uparrow$ — $v_{rms} \uparrow$ — $\rho \downarrow$

$R \propto \frac{1}{n}$ — $T \uparrow$ — $R \uparrow$

$R \propto \frac{1}{\rho}$

PqPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

R: مقاومت ← Resistence

ρ ← مقاومت ویژه ← Resistivity } مشخصه ماده است / نسبت بین شدت میدان الکتریکی و شدت جریان در هر نقطه است

شدت جریان: $J = \frac{I}{A}$ (آمپر بر متر مربع) ← $J = \frac{E}{\rho} \rightarrow \rho = \frac{E}{J}$ ①

اگر اختلاف پتانسیل V در دو طرف رسانا به طول L و سطح مقطع A اعمال شود، جریان I در آن جریان می‌یابد و در هر نقطه E و J مقادیر ثابتی دارند.

$$\left.\begin{aligned} E &= \frac{V}{L} \\ J &= \frac{I}{A} \end{aligned}\right\} \rightarrow \rho = \frac{E}{J} = \frac{\frac{V}{L}}{\frac{I}{A}} = R\frac{A}{L}$$

$\rho = \frac{\Omega}{m}$ or $\frac{\Omega}{cm}$

$$R = \frac{mL}{ne^2AZ} \rightarrow \rho = \frac{m}{ne^2Z}$$ ← مشخصه ماده رسانا

$$\begin{cases} T\uparrow \rightarrow R\uparrow \rightarrow \rho\uparrow \rightarrow T \propto \rho \\ T\uparrow \rightarrow Z\downarrow \rightarrow \rho\uparrow \end{cases}$$

رسانایی الکتریکی: (هدایت الکتریکی)

$\sigma = \frac{1}{R} = \frac{I}{?}$ واحد ← زیمنس (S) or $\frac{1}{\Omega}$

رسانایی ویژه ←

واحد: $\left(\frac{1}{\Omega m}\right)$ or $S m^{-1}$ or $\frac{S}{m}$

$\sigma = \frac{1}{\rho}$?

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸,۹,۲

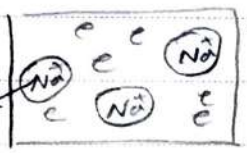
تئوری الکترون آزاد کلاسیک در فلزات:

در تئوری الکترون آزاد در فلزات، الکترون‌های ظرفیت یا والانس در یک فلز مانند ذرات یک گاز ایده‌آل در نظر گرفته می‌شوند که اثر متقابل روی یکدیگر ندارند. (non interacting)

مثال) فلز سدیم (Na) با عدد اتمی ۱۱

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ ← الکترون رسانش
← الکترون ظرفیت
↳ Ion core electron الکترون‌های دیگر + هسته همراه یون

← در فلزات قلیایی مغزهای مثبت قسمت نسبتاً بزرگی (تقریباً ۱۵ درصد) از حجم کل بلور را اشغال می‌کنند.



۱۵٪

تئوری الکترون آزاد لورنتس: (برای پدیده با سرعت زیاد و اندازه‌ی کوچک)

$\tau = \frac{\lambda}{\bar{v}}$ ← v_{rms}

با فیزیک کلاسیک توجیه‌پذیر ← $\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$ ← قانون اهم: $J = \sigma E$ است

← مقدار λ یا τ توسط فیزیک کلاسیک تعیین نمی‌شود

$\bar{v} = v_{rms}$ ← حرارت

$\bar{v} = \sqrt{\frac{3k_BT}{m}}$ ← از طبق فیزیک کلاسیک (تئوری جنبشی)

فرض: اگر λ نزدیک به فاصله‌ی بین اتمی a باشد

$\tau = \frac{a}{\sqrt{\frac{3k_BT}{m}}} \Rightarrow \sigma = \frac{ne^2}{m}\frac{a}{\sqrt{\frac{3k_BT}{m}}}$

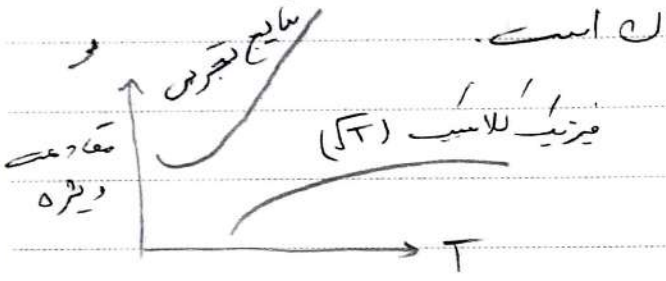
$\Rightarrow \sigma = k\frac{1}{\sqrt{T}} \Rightarrow \sigma \propto \frac{1}{\sqrt{T}} \rightarrow \rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \rho \propto \sqrt{T}$

← تمام اعداد ثابت را k قرار دادیم

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

← طبق فیزیک کلاسیک دیدیم شیب $\sqrt{T}$ برقرار است اما در حالت تجربی دیدیم در جواب‌ها اختلاف وجود دارد.
پس فیزیک کلاسیک در توجیه آن ناتوان است.



رسانای ویژه: $C_v = (10^{-6}T)\,12$ الکترون‌ها و $C_v = \frac{3}{2}\,12$ گاز ایده‌آل

← چون C_v الکترون و گاز ایده‌آل یکسان نیست می‌بینیم که فیزیک کلاسیک نمی‌تواند آن را توجیه کند.

رسانای نرمال ← انرژی جنبشی متوسط یک الکترون $= \frac{3}{2}k_{13}T$
انرژی جنبشی متوسط در انتهای گرم $= \frac{3}{2}k_{13}T_{H.t}$
نیروی وارد بر اثر ΔT به وجود می‌آید:

$$F = \frac{3}{2}k_{13}\Delta T$$

$$F = ma \qquad m\left(\frac{dv_D}{dt} + \frac{v_D}{\tau}\right) = F = \frac{3}{2}k_{13}\Delta T$$

در حالت تعادل $= \frac{dv_D}{dt} = 0 \longrightarrow v_D = \frac{3}{2}\left(\frac{k_{13}}{m}\right)\tau\Delta T$

در حالت الکتریکی $J = nev_D$

نرمال $J = \frac{nc}{\text{نرمال}}v_D \longrightarrow J_{\text{نرمال}} = \left(\frac{3}{2}\right)^2 n\,\frac{k_{13}^2}{m}T\tau\Delta T$

رسانای ویژه نرمال $k = \frac{J_{\text{نرمال}}}{\Delta T} = \left(\frac{3}{2}\right)^2 n\,\frac{k_{13}^2}{m}T\tau$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نسبت ویدمان - فرانتس در یک دمای مشخص برای تمام فلزات تقریباً ثابت است. ← نسبت رسانایی گرمایی ویژه الکترونی (κ) به رسانایی ویژه حرارتی (k)

← $\frac{\kappa}{k}$ در T ثابت برای تمامی فلزات ثابت است.

← $\frac{1}{T}\left(\frac{\kappa}{\sigma}\right)$ برای تمامی فلزات ثابت است.

$$\rightarrow \frac{1}{T}\frac{\kappa}{\sigma} = \frac{1}{T}\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 n \frac{k_B^2}{m} T\tau \div \frac{ne^2\tau}{m}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{T}\frac{\kappa}{\sigma} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \left(\frac{k_B}{e}\right)^2$$

به یک مقدار ثابت رسیدیم پس فیزیک کلاسیک می‌تواند آن را توجیه کند. (حتی اگر از آن حذف شد)

A مربوط به بخش $\tau = \frac{\lambda}{v}$:

✓ قانون اهم با فیزیک کلاسیک توجیه پذیر است.

✗ وابستگی عدایی ویژه الکترونی به T ← فیزیک کلاسیک قادر به توجیه نیست.

✓ رابطه بین رسانندگی گرمایی و حرارتی (نسبت ویدمان - فرانتس) ← توجیه پذیر با فرض

✗ گرمای ویژه ← فیزیک کلاسیک ناتوان است در توجیه.

— پایان ترم

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

انرژی جنبشی ← $\frac{p^2}{2m}$ ، انرژی پتانسیل ← V

$$H = \frac{p^2}{2m} + V \longrightarrow \frac{m^2v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2}mv^2$$

p : تکانه $= mv$

انرژی کل سیستم
(هامیلتونی کلاسیک)

h = ثابت پلانک $= 6.6 \times 10^{-34}$ ژول ثانیه

اگر بخواهیم به هامیلتونی کوانتومی تبدیل کنیم:

$$p^2 \longrightarrow -\hbar^2 \nabla^2$$

$\hbar$ = اچ بار $= \frac{h}{2\pi}$

$$\longrightarrow \begin{cases} H = \frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V \\ H\psi = E\psi \end{cases}$$

بیدقت باش: $\nabla F = \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial F}{\partial z}$

$$\longrightarrow \left(\frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V\right)\psi = E\psi \longrightarrow$$ حصول Eهای مجاز و سپس اعداد کوانتومی

در فضای آزاد: $V = 0 \rightarrow$ $\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi = E\psi$

برای معادله جوابی به صورت زیر در نظر می‌گیریم:
جواب را به صورت موج تخت فرض می‌کنیم

$$\psi = \psi_0 e^{ikx}$$

$$\nabla^2\psi : \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} = -k_x^2 \psi_0 e^{ikx} \qquad \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} = -k_y^2 \psi_0 e^{ikx}$$

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = -k_z^2 \psi_0 e^{ikx}$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

$$\nabla^2\psi = -k^2\psi_0 e^{ikr} = -k^2\psi$$

$$k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$$

$$\frac{-\hbar^2}{2m}(-k^2\psi) = E\psi \longrightarrow E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

انباشته می‌شود

درصورتی که جعبه را یک بعدی فرض کنیم: (یعنی خطی به طول L)

$\psi = \psi_0 e^{ikr}$ داشتیم

$\psi = \psi_0 e^{ikx}$: درنتیجه داریم $\longrightarrow \psi = \psi_0 e^{ikx} = \psi_0(\cos kx + i\sin kx)$

① شرایط مرزی

② $x=0 \longrightarrow \psi = 0$

② $x=L \longrightarrow \psi = 0$

اینکه e در داخل جعبه محدود است، بدین معنی است که در مورد مقدار k یا (مومنتوم) محدودیت‌هایی وجود دارد. اگر ذره مقید باشد، ψ باید در خارج از جعبه صفر شود وگرنه ذره‌ای توانسته در خارج از جعبه قرار گیرد.

① شرط مرزی $\longrightarrow$ ② $x=0 \Rightarrow$ قرار است $\cos kx$ باید از معادله حذف شود

یعنی $\longrightarrow \psi = \psi_0 \sin kx$

② شرط مرزی $\xrightarrow{x=L} kL = n\pi \longrightarrow k = \frac{n\pi}{L}$

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\pi}{L}n\right)^2 \Leftarrow n \text{ اعداد صحیح مثبت}$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject

Date

$$\psi = \psi_0 \sin \frac{n\pi}{L} x$$

بعد از فرمالیزه کردن

در سه بعد خواهیم داشت:

$$\psi = \psi_0 e^{ik_x x} e^{ik_y y} e^{ik_z z}$$

$$\rightarrow \psi = \left(\frac{8}{V}\right)^{\frac{1}{2}} \sin \frac{n_x \pi x}{L} \sin \frac{n_y \pi y}{L} \sin \frac{n_z \pi z}{L}$$

حجم جعبه

$$k_x = \frac{n_x \pi}{L}, \quad k_y = \frac{n_y \pi}{L}, \quad k_z = \frac{n_z \pi}{L} \qquad (k \leftarrow \text{بردار موج})$$

$$k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$$

اعداد کوانتومی $\begin{cases} n_x \\ n_y \\ n_z \end{cases}$

وقتی m_s (عدد اسپین) به این سه عدد n_x، n_y، n_z اضافه شود، ۴ عدد کوانتومی به دست می‌آید که متناظر با n، L، m_L، m_s مربوط به یک الکترون در یک اتم، در واقع برای هر n_x، n_y، n_z دو تا خواهیم داشت.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸/۹/۳۰

ادامه تئوری الکترون آزاد کوانتومی:

انرژی فرمی (Fermi Energy):

n_F ← بالاترین تراز انرژی پرشده

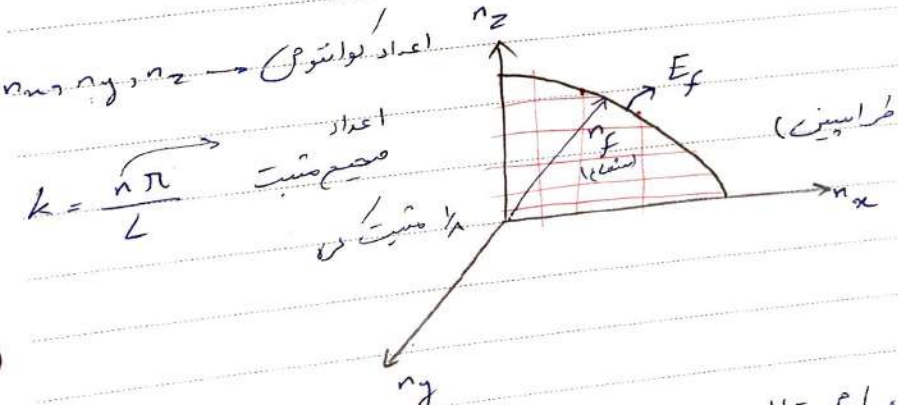
۲p
۲s
۱s

دستگاه N الکترون

E_f (انرژی فرمی) ← بنابر تعریف عبارتی است از انرژی بالاترین تراز پر در دمای صفر مطلق یا به عبارتی دیگر، انرژی بالاترین اوربیتال پر در حالت پایه (دستگاه N الکترون)

حالت سیستم در ۰ مطلق
Grand state

انرژی جنبشی گاز الکترون با افزایش n زیاد می‌شود. بعضی از ترازهای انرژی که در ۰ مطلق خالی بودند اشغال می‌شوند و برخی از ترازها که در ۰ مطلق اشغال شده بودند خالی می‌شوند. احتمال اینکه اوربیتالی (ترازی) با انرژی E در گاز الکترون ایده‌آل اشغال شود، با توزیع فرمی - دیراک مشخص می‌شود.



n_x, n_y, n_z → اعداد کوانتومی

$k = \frac{n\pi}{L}$ → اعداد صحیح مثبت

۱/۸ مثبت کره

هر نقطه درون کره نماینده دو الکترون است (به خاطر اسپین)

$m_s = \pm 1/2$

اوربیتال‌های اشغال شده را می‌توان به صورت نقاطی داخل کره‌ای در فضای n نشان داد. انرژی در سطح کره برابر انرژی فرمی است.

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject /
Date
تعداد کل الکترون‌ها

$$2n_f = N \rightarrow 2 \times \frac{1}{8} \times \frac{4}{3}\pi n_f^3 = N$$

$$\rightarrow N = \frac{1}{3}\pi n_f^3 \;,\; k_f = \frac{n_f \pi}{L} \Rightarrow N = \frac{\pi}{3}\left(\frac{k_f L}{\pi}\right)^3$$

$$\rightarrow k_f^3 = \frac{3\pi^2 N}{L^3} = \frac{3\pi^2 N}{V} \;,\; V_{\text{حجم}} = L^3$$

$$k_f = \left(\frac{3\pi^2 N}{V}\right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow E_f = \frac{\hbar^2}{2m} k_f^2 = \frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{3\pi^2 N}{V}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$E_f \leftarrow$ متناسب است با غلظت الکترون $\frac{N}{V}$

ص ۱۵۸ ← $\frac{N}{V}$ فلزات مختلف مانند $7 \times 10^{22}\ cm^{-3} = 7\ i\ \frac{N}{V}$ دارد مثلاً

$E_f = 4{,}72\ eV$ ، $4{,}7201^{22}\ cm^{-3}$

$$T_f \longrightarrow T_f = \frac{E_f}{k_B}$$

دمای فرمی

بررسی نواری : Band theory

فیزیک کلاسیک ← هسته و ابر الکترون

↳ مدل الکترون آزاد

الکترون آزاد : بتوانند از قید جاذبه الکترواستاتیکی هسته رها شوند و آزادانه حرکت کنند و از آن جایی که بار الکتریکی منفی دارند با حرکت خود باعث انتقال بار الکتریکی می‌شوند ← مواد حامد دارای این ویژگی، رسانا هستند. اگر هیچ الکترونی نتواند خود را از قید هسته آزاد کند آن ماده عایق خواهد بود.

در مورد رفتار نیمه رسانا توجیهی ندارد ∴ الماس و گرافیت هردو از جنس کربن هستند که الماس رسانا و گرافیت نارسانا است که این امر را توجیه نمی‌کند + موضوع ابررسانایی و رسانایی گرمایی ← از تئوری نواری استفاده می‌شود.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

دو مدل حدی ← ۱- مدل الکترون آزاد ← هیچ‌یک از این دو حالت دقیق نیست
۲- مدل اتم آزاد

وقتی اتم‌ها به هم نزدیک می‌شوند، نمی‌توان آن‌ها را آزاد پنداشت و حتی در یک اتم، الکترون‌ها آنقدر از هسته دور نیستند که بتوان آن‌ها را آزاد فرض کرد.

$$H = \frac{P^2}{2m}$$

در یک شبکه، چه‌مان از یون‌ها یا اتم‌ها یا مولکول‌ها را داریم که به الکترون‌ها نیرو وارد می‌کنند ← همیلتونی (انرژی کل سیستم) برای الکترون به صورت زیر صحیح است

$$H = \frac{P^2}{2m} + V(r)$$ ← تابع پتانسیل با توجه به شبکه

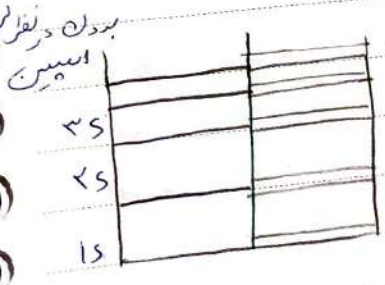
اگر الکترون آزاد باشد: $V = 0$

مثلاً: اتم هیدروژن $V(r) = \left(\frac{-e^2}{r}\right)$ ، $H\psi = E\psi$

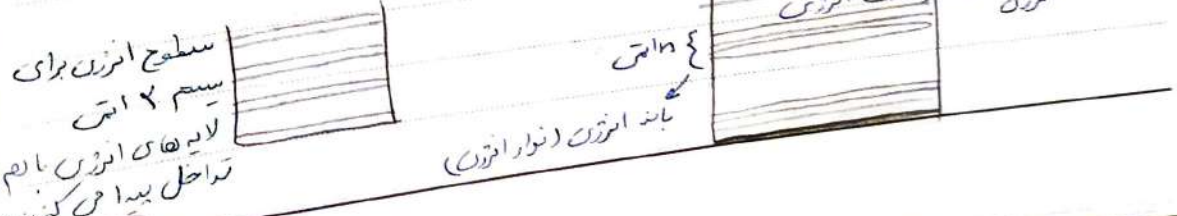
پس از حل معادله شرودینگر، سطوح انرژی به صورت روبه‌رو حاصل می‌شوند:

Energy levels یا تراز، لایه‌های انرژی یا اوربیتال

بدون در نظر گرفتن اسپین



اگر n اتم داشته باشیم و به هم نزدیک شوند، توابع موج آن‌ها overlap پیدا می‌کنند و سطوح انرژی برای سیستم n اتمی به این صورت است:



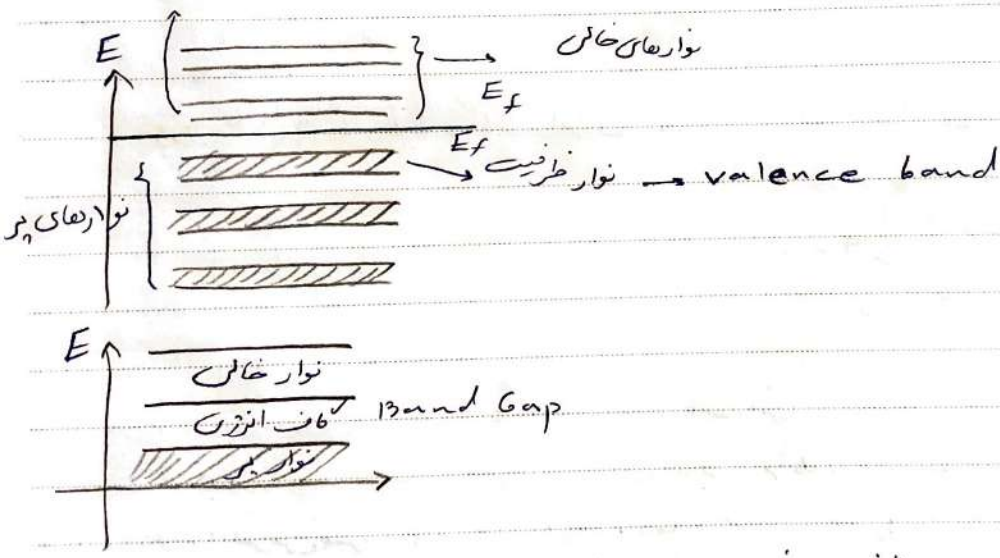
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

تشکیل باندها در نتیجه این است که تعداد زیادی از اتم‌ها تشکیل یک جیمال داده اند.
در نظریه نواری که مبتنی بر اصول مکانیک کوانتوم است ساختار الکترون جسم جامد دارای چند نوار است و هر نوار از چند تراز انرژی تشکیل شده است. الکترون‌ها در این ترازهای انرژی قرار می‌گیرند و می‌توانند با صرف انرژی به میزان اختلاف انرژی دو تراز به تراز بالاتر بروند. در این صورت رسانش الکتریکی صورت می‌گیرد. بین هر دو نوار انرژی منطقه‌ای خالی از e وجود دارد که به آن منطقه ممنوعه یا گاف انرژی می‌گویند.

بالاترین نوار پر را نوار ظرفیت و پایین‌ترین نوار خالی را نوار رسانش نامند.

نوار رسانش conduction band



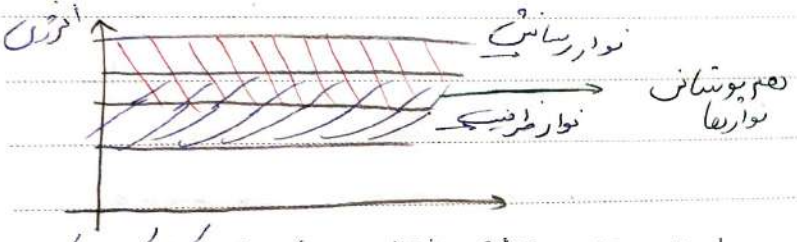
★ اجسام رسانا دارای نوار ظرفیت نیمه پر هستند.
★ اجسام نارسانا دارای نوار ظرفیت پر و نوار رسانش خالی هستند.
★ اجسام نیمه رسانا همانند اجسام نارسانا دارای نوار ظرفیت پر و نوار رسانش خالی هستند ولی با این تفاوت که گاف انرژی در این مواد کم‌تر است و با صرف انرژی می‌توان الکترون‌ها را از نوار ظرفیت به رسانش منتقل کرد.

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

ساختار نواری اجسام رسانا:

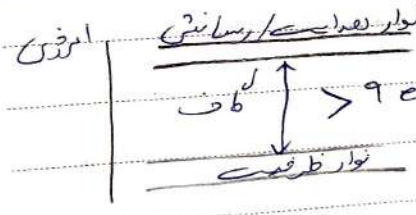
اجسام رسانا موادی هستند که در آن‌ها نوار ممنوعه به دلیل هم‌پوشانی نوارهای ظرفیت یا رسانش از بین می‌روند:



e های آزادی توانند در این ناحیه به راحتی و تحت تأثیر اختلاف پتانسیل الکتریکی که بر دو سر رسانا اعمال می‌شود، تراز انرژی خود را تغییر دهند و در رسانایی الکتریکی شرکت کنند.

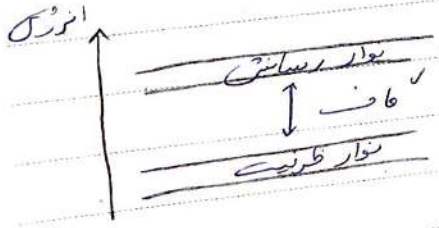
ساختار نواری اجسام نارسانا:

گاف انرژی بسیار بزرگ است [معمولاً $E_g > 9\ eV$]



ساختار نواری اجسام نیمه‌رسانا:

کوچک بودن گاف انرژی در این مواد باعث می‌شود که تعدادی از e های نوار ظرفیت حتی در دمای اتاق برانگیخته شوند و به نوار رسانش بروند و در رسانایی الکتریکی شرکت کنند. با افزایش دما e های بیشتری امکان دارد از نوار ظرفیت به رسانش راه یابند و رسانایی الکتریکی بیشتر می‌شود.



PAPCO
http://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

۹۸ ، ۱۰ ، ۷

نیمه رساناها

هدایت الکتریکی = مجموع هدایت الکترون + یون

Electrical conduction { Electronic conduction هدایت الکترون
ionic conduction هدایت یونی

برای هر اتم مجزا ← ترازهای انرژی گسسته داریم که توسط الکترون‌ها اشغال می‌شوند

تشکیل shell ← ۱ و ۲ و ۳ و ...

ترازs ↓

subshell ← s و p و d و f و ... ← هر کدام چند تراز دارند

s ← ۱
p ← ۳
d ← ۵
f ← ۷

حالت جامد solid :

جامد شامل N اتم است

حالت جامد ← باندها (نوارها) انرژی را خواهیم داشت

هر تراز ۲ الکترون دارد

الکترون ۶N ← تراز ۳N ← p باند

N تراز s ≡ s باند

↓
state / level / سطح

۳d	○○○○○
۴s	○
۳p	○○○
۳s	○
۲p	○○○
۲s	○
۱s	○

افزایش انرژی

باند

{ 6N

0 یا 6N ← تراز

انرژی مربوط به بالاترین تراز پر شده در 0 کلوین ← انرژی فرمی E_f

ساختار نواری جامدات مختلف در 0 کلوین :

(۱)

نوار خالی	band
گاف انرژی	
تراز خالی	E_f state
تراز پر	state

نوار نیمه پر

(هم اندازه)

تراز

(۲)

نوار خالی

E_f

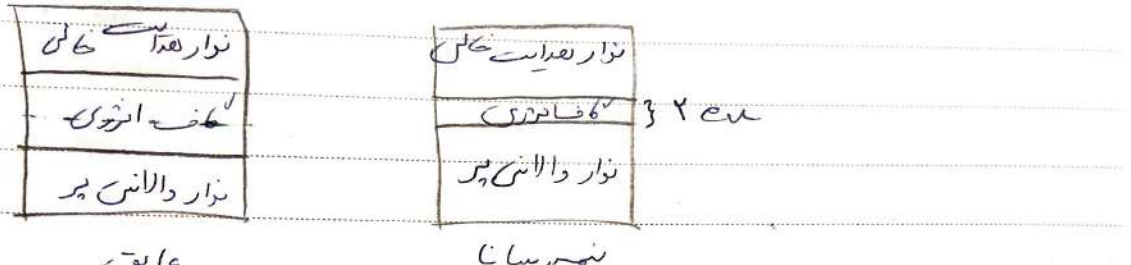
نوار پر

PqPCO

فلزات

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date



نیمرسانا: گاف انرژی $< 2eV$

عایق: گاف انرژی $> 2eV$

شکل ① مخصوص برخی فلزات است خصوصاً آن‌هایی که یک الکترون والانس (ظرفیت) S دارند مانند مس.

$4s^1$:مس

همانطور می‌دانیم یک الکترون $4s$ دارد بنابراین نیمی از مکان‌های موجود در باند s خالی می‌ماند.

باند s ← $2N$ الکترون

مس $4s^1$ ← N الکترون

با به این مفهوم را در نظر داشته باشید که فقط e‌هایی با E بزرگتر از E_F تحت تأثیر میدان الکتریکی قرار می‌گیرند؛ یعنی در حضور میدان الکتریکی شتاب می‌گیرند. در واقع این e‌ها در فرآیند هدایت شرکت می‌کنند و به آن‌ها e رسانش / آزاد می‌گویند. برای اینکه یک e، e آزاد باشد باید برانگیخته شود، به یکی از ترازهای انرژی موجود و خالی در بالای E_F

انرژی /

شکل ② هم‌پوشانی (overlab) بین یک باند خالی و یک باند پر وجود دارد مثلاً Mg دارای این ساختار مواد است. همانطور Mg مجزا دارای دو الکترون در $3s^2$ است وقتی جامد تشکیل می‌شود باندهای $3s$ و $3p$ با هم overlab یا هم‌پوشانی پیدا می‌کنند. در $K = 0$، E_F انرژی است که در زیر آن برای N اتم، N تراز پر وجود دارد و در هر حالت $2e$ وجود دارد.

https://t.me/miirza_beneviis

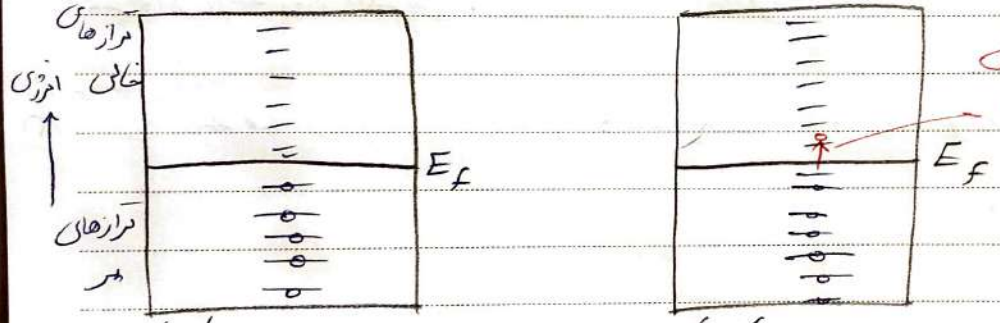
Subject:
Date

هدایت از دیدگاه نواری:

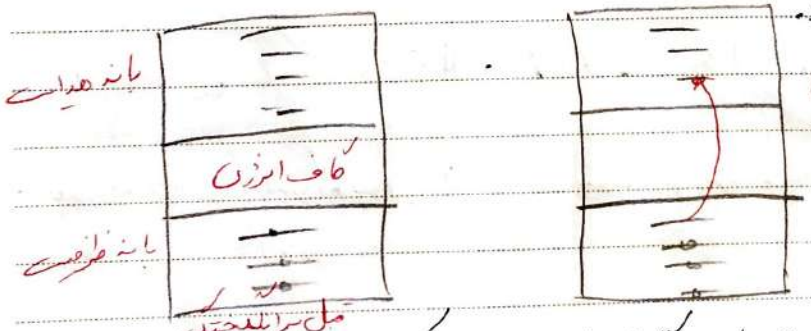
حفره‌ی الکترون (Electron hole) ← یک واحد الکترون باردار به نام حفره. هر الکترون که برانگیخته شود، یک جای خالی e در باند والانس می‌گذارد که به آن حفره گوییم.

$E_{حفره} < E_f$ در هدایت شرکت می‌کنند

هدایت الکتریکی تابع مستقیم از تعداد e های آزاد و حفره‌ها



در فلزات ترازهای انرژی خالی در نزدیکی E_f هستند پس انرژی بسیار کمی نیاز است تا e ها به ترازهای خالی بروند.



برای آزاد شدن e ها باید از گاف انرژی عبور کنند یعنی به مقدار E_g انرژی باید فراهم شود. معمولاً E برانگیختگی از منابع غیرالکتریکی مانند حرارت/نور تأمین می‌شود.

P4PCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

هدایت ↑ ← ↑ دمای نیمه رسانا / عایق

دو نوع نیمه رسانا
① ذاتی ← Intrinsic
غیرذاتی ← Extrinsic

عناصر
① نیمه رسانای ذاتی ← رفتار الکتریکی براساس ساختار الکترونی ذاتی ماده خالص است

غیرذاتی ← رفتار الکتریکی ناشی از اتم‌های ناخالصی است.

عناصر نیمه رسانا
① ذاتی ← عناصر نیمه رسانای ذاتی: سیلیکون Si و ژرمانیم Ge
Ge: ۰٫۷ eV ↓
Si: ۱٫۱ eV ↓ ✓ ف: انرژی

② ترکیبات نیمه رسانای ذاتی: جدول ۱۸ ← الیزر

- ترکیبات بین عناصر گروه III A و V A از جدول تناوبی مانند GaAs ↓ ارسنید گالیم ۱٫۴ eV ↓ InSb ۰٫۱۷ eV

- ترکیبات بین عناصر گروه II B ، VI A ← CdS ، ZnTe

* هرچه اختلاف الکترونگاتیوی ↑ ← پیوند یونی‌تر و ف انرژی بزرگ‌تر و تمایل بیشتر به عایق شدن

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

هدایت ذاتی

حفره ← $1.6 \times 10^{-19} C$ بار الکترون ← تحت تأثیر میدان الکتریکی، حامل حفره‌ها در شبکه بلور حرکت می‌کنند که ناشی از حرکت e‌های دیگر است

$$\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_h$$

σ ← رسانایی

n ← تعداد الکترون آزاد در واحد حجم

μ_e ← تحرک الکترون

$|e| = 1.6 \times 10^{-19} C$

p ← تعداد حفره در واحد حجم

μ_h ← تحرک حفره

در نیمرسانای ذاتی: $n = p$ ← $= n_i$ ← غلظت حاملان ذاتی

$$\sigma = n|e|(\mu_e + \mu_h) = p|e|(\mu_e + \mu_h)$$

نیمرساناهای تجاری ← غیرذاتی

نیمرساناهای غیرذاتی نوع n

فرض: نیمرسانای ذاتی مانند Si ← 4 الکترون والانس

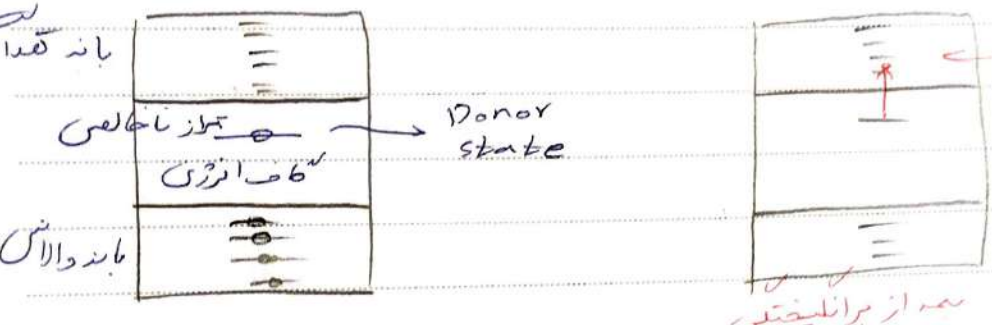
فرض کنید یک اتم ناخالصی با والانس 5 به عنوان یک ناخالصی جایگزین به Si اضافه شود

این e اضافی پیوند کووالانسی ضعیفی دارد با سیستم و به راحتی حذف و به e آزاد تبدیل می‌شود.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

از دیدگاه مدل نواری برای هر e با پیوند ضعیف، یک تراز انرژی منفرد در گاف انرژی در زیر نوار هدایت وجود دارد.



هر یونیزاسیون، یک e منفرد را به باند هدایت می دهد؛ به همین دلیل به این نوع ناخالصی، Donor (دهنده) می گوییم. از آنجایی که هر دونر از یک تراز ناخالصی یونیزه شده، حفره‌ای در باند والانس ایجاد نمی کند؛ پس e ها در باند هدایت تعدادشون از حفره ها در باند والانس بیشتره.

$n >> P$ ← تعداد حفره‌ی در باند والانس
تعداد e ها در باند هدایت

$\sigma = n|e|\mu_e$

نیمه‌رسانای نوع n
negatively-charged particles
n-type

در نیمه‌رساناهای نوع n، هدایت تابعی از غلظت و تحرک e هاست.

نیمه‌رسانای نوع p: ناخالصی ۳ ظرفیتی به Si اضافه می کنیم مثل Al، Ga، In
ذرات positive باعث جریان می شود
حفره ها ← کمبود e خود را به صورت حفره نشان می دهد
← پیوند ضعیف با اتم ناخالصی

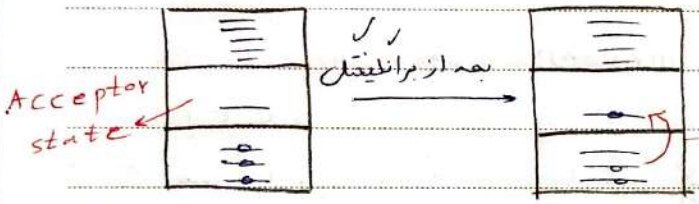
PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

۹۸/۱۰/۱۱

بعد اتم ناخالصی از این نوع، یک تراز انرژی درگاف انرژی ایجاد می‌کند که خیلی نزدیک به باند والانس و در بالای آن است.

در اثر برانگیختگی یک e به همراه کمی انرژی حرارتی بالا می‌رود. با افزودن ناخالصی، درگاف انرژی و... تغییر می‌کند



به ناخالصی‌های این طوری Acceptor می‌گویند زیرا می‌توانند e پذیرش کنند

$p \gg n$ ← حفره ← الکترون

غلظت حفره خیلی بیشتر از e آزاد

$\sigma = |e| p \mu_h$

نیمه رساناهای غیرذاتی (p یا N تایپ) از موادی حاصل می‌شوند که در ابتدا بسیار خالص هستند و درکل محتوای ناخالصی آن‌ها حدود ۱۰ قسمت در میلیون است. سپس به صورت هدفمند، غلظت‌های مشخصی از اتم‌ها (ناخالصی‌ها) به نیمه رسانا افزوده می‌شوند. به این فرآیند، آلیاژسازی در مواد نیمه رسانا دوپینگ یا دوپ کردن گفته می‌شود که کاربرد زیاد Acceptor

Doping: در نیمه رساناها یعنی افزودن هدفمند ناخالصی‌ها به نیمه رسانای ذاتی به منظور بهبود خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری. به ماده دوپ شده، نیمه رسانای غیرذاتی می‌گوییم. حاملان بار e یا حفره‌ها (بسته به نوع ناخالصی)

مواد دی الکتریک:

$C = \frac{Q}{V} \rightarrow C = \varepsilon_0 \frac{A}{L}$ ، $C = \varepsilon \frac{A}{L}$

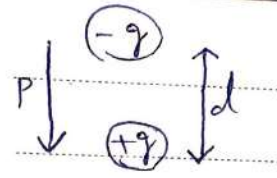
نفوذپذیری خلاء

$\rightarrow \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ ← ثابت دی الکتریک ← $\varepsilon_r > 1$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

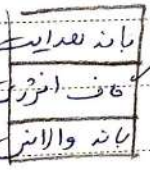
Subject:
Date



پولاریزاسیون: بردار قطبش $P = qd$

در حضور میدان E (که کمیتی برداری است) یک نیرو یا کشتاور دو قطبی ایجاد می‌شود (شکل ۳۰-۱۸)، جهت‌گیری دو قطبی را با توجه به میدان تغییر می‌دهد. به فرآیند جهت‌گیری دو قطبی‌ها پولاریزاسیون گفته می‌شود.

استحکام دی الکتریک: وقتی میدان‌های الکتریکی بسیار بالا به ماده دی الکتریک اعمال شود مقدار زیادی e می‌توانند به باند هدایت برانگیخته شود. استحکام دی الکتریک بزرگی میدان E لازم است تا این پدیده رخ دهد. واحدش $\frac{V}{m}$ است. توانایی ماده برای اینکه رفتار عایق داشته باشد.



★ مواد فرو الکتریک: دسته‌ای از مواد دی الکتریک که در غیاب میدان الکتریکی، یک پولاریزاسیون خود به خودی در آن‌ها وجود دارد که یک مشخصه ذاتی است به خاطر پیوندهای درونشان.

مثل باریم تیتانات ($BaTiO_3$): پولاریزاسیون خود به خودی در نتیجه‌ی جابجایی یون‌ها است. در ساختارش تقارن وجود ندارد پس بردار قطبش داریم که عدم تقارن سبب وجود دو قطبی است پس یک دو قطبی داخلی در هر unitcell داریم. این unitcell ها کنار هم قرار می‌گیرند و خیلی دو قطبی داریم. در بالای دمای بحرانی ($120^\circ C$) خاصیت فرو الکتریکی دارد و به قطبیت خود به خود از بین می‌رود.

مواد پیزو الکتریک: در اثر اعمال تنش مکانیکی (جابجایی ابعاد) به دلیل نیروی خارجی، پولاریزاسیون رخ می‌دهد. برعکس این قضیه هم برقرار است. مواد پیزو الکتریک مبدل بین انرژی مکانیکی و الکتریکی است.

مواد ابررسانا: وقتی موادی که خیلی خالصند به صفر کلوین نزدیک می‌شوند، مقاومتشان هم کم (شود) در ابررسانا‌ها در یک دمای پایین (T_c) مقاومتشان افت می‌کند و به صفر می‌رسد (شکل ۲۶-۲۰)

https://t.me/miirza_beneviis