

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# پروژه درس الکترونیک کوانتوم

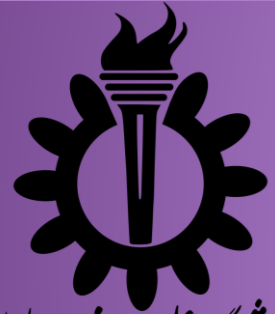
## موضوع :

بررسی ویژگی ها و ساختار پلارونهای مغناطیسی در چاه های  
کوانتومی

Properties of the magnetopolaron in a triangular quantum well



استاد :  
دکتر شهرام محمد نژاد



# اهداف اصلی

بررسی پارامتر های پلارون در چاه کوانتومی

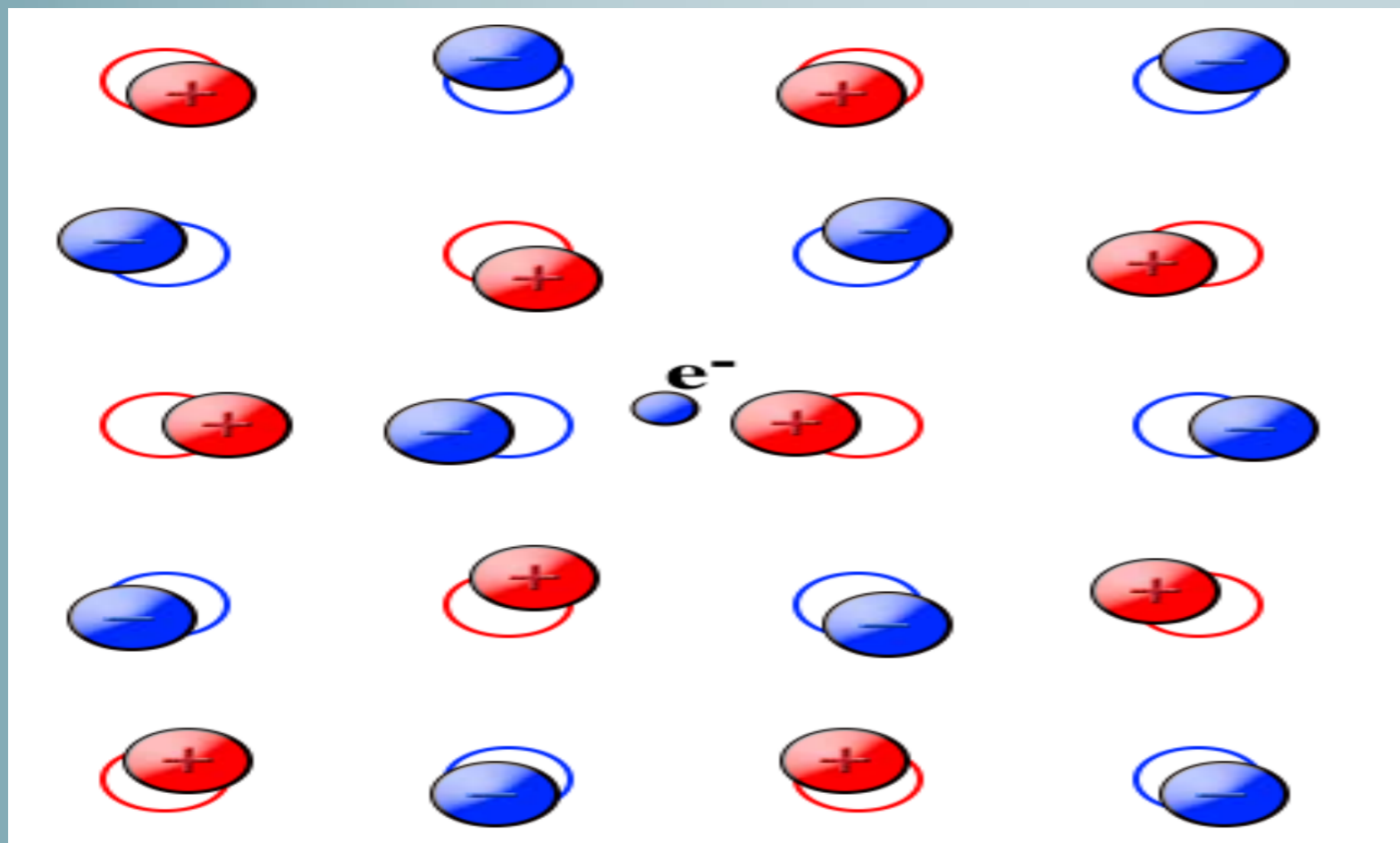
انرژی حالت پایه (  $E_0$  )

انرژی پیوندی حالت پایه (  $E_b$  )

فرکانس تشدید میدان مغناطیسی

چگالی فضایی الکترون ها (  $n_s$  )

# مفهوم پلارون



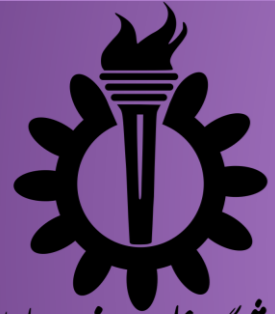
اتم ها حرکات آکوستیکی

تولید فونون

کوپلینگ فونون ها با الکترون

تغییر جرم موثر الکترون

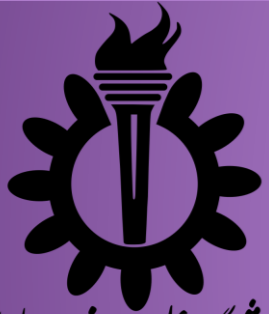
شبه ذره به نام پلارون



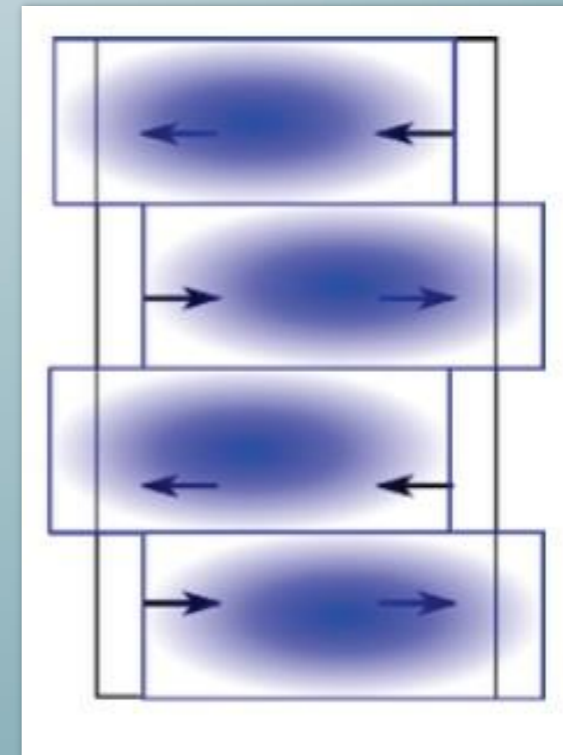
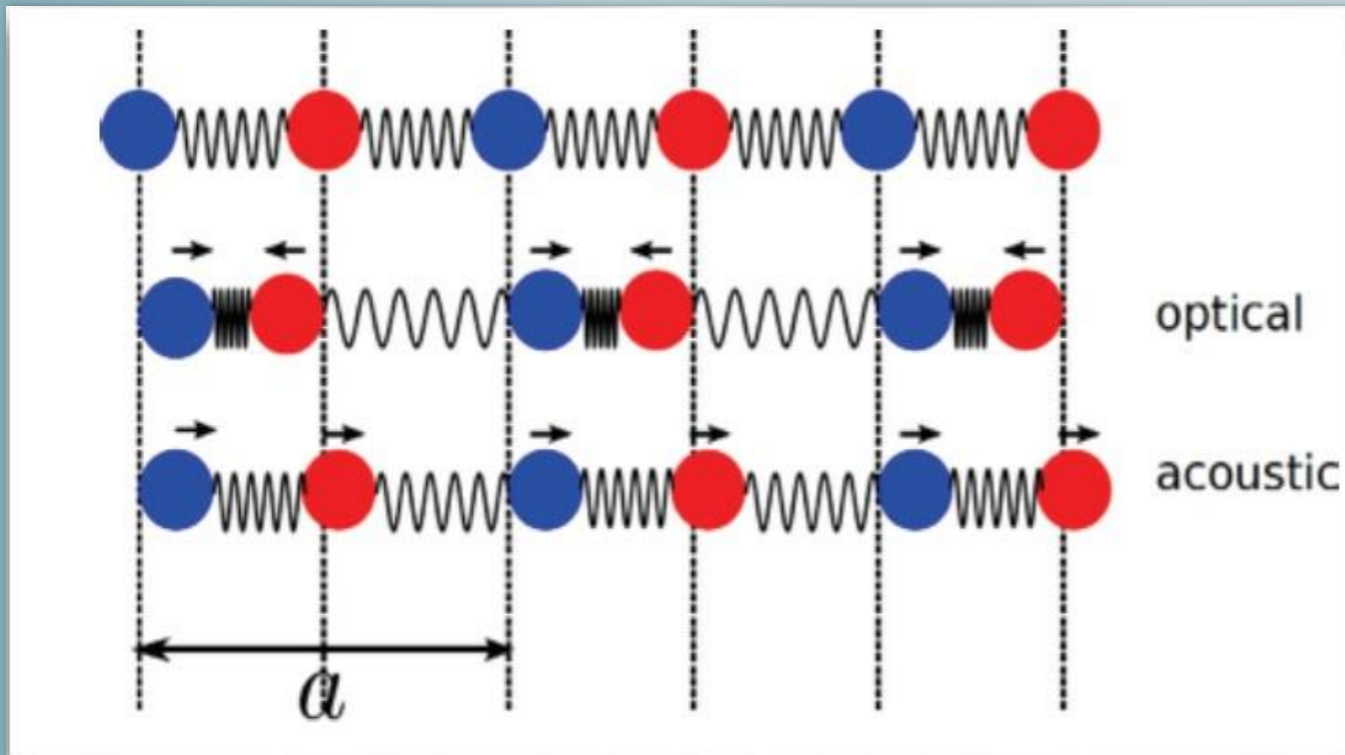
# انواع پلارون

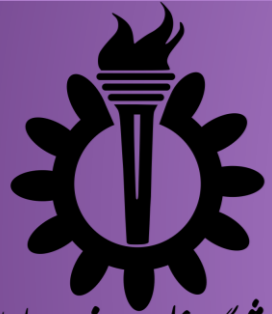
۱- پلارون های بزرگ با کوپلینگ ضعیف

۲- پلارون های کوچک با کوپلینگ قوی



# تجاوز پلارون از ثابت شبکه





# پتانسیل تعامل الکترون و فونون (پتانسیل پلارون)

phonon frequency

$$V_q = \frac{\hbar\omega_{LO}}{q} \left( \frac{\alpha}{\epsilon_0 V_{\text{cell}}} \right)^{1/2} \left( \frac{\hbar}{2m_b\omega_{LO}} \right)^{1/2}$$

phonon wavevector

electron band mass





$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar \epsilon_0} \left( \frac{m_b}{2\hbar \omega_{LO}} \right)^{1/2} \left( \frac{1}{\epsilon_\infty} - \frac{1}{\epsilon} \right)$$



electronic  
dielectric  
constant



static  
dielectric  
constant

$$m^* \simeq m_b / (1 - \alpha/6)$$

$$0 < \alpha < 6$$

وابسته به ضریب شدت کوپلینگ  
در کوپلینگ ضعیف (تقریب جرم پلارون)

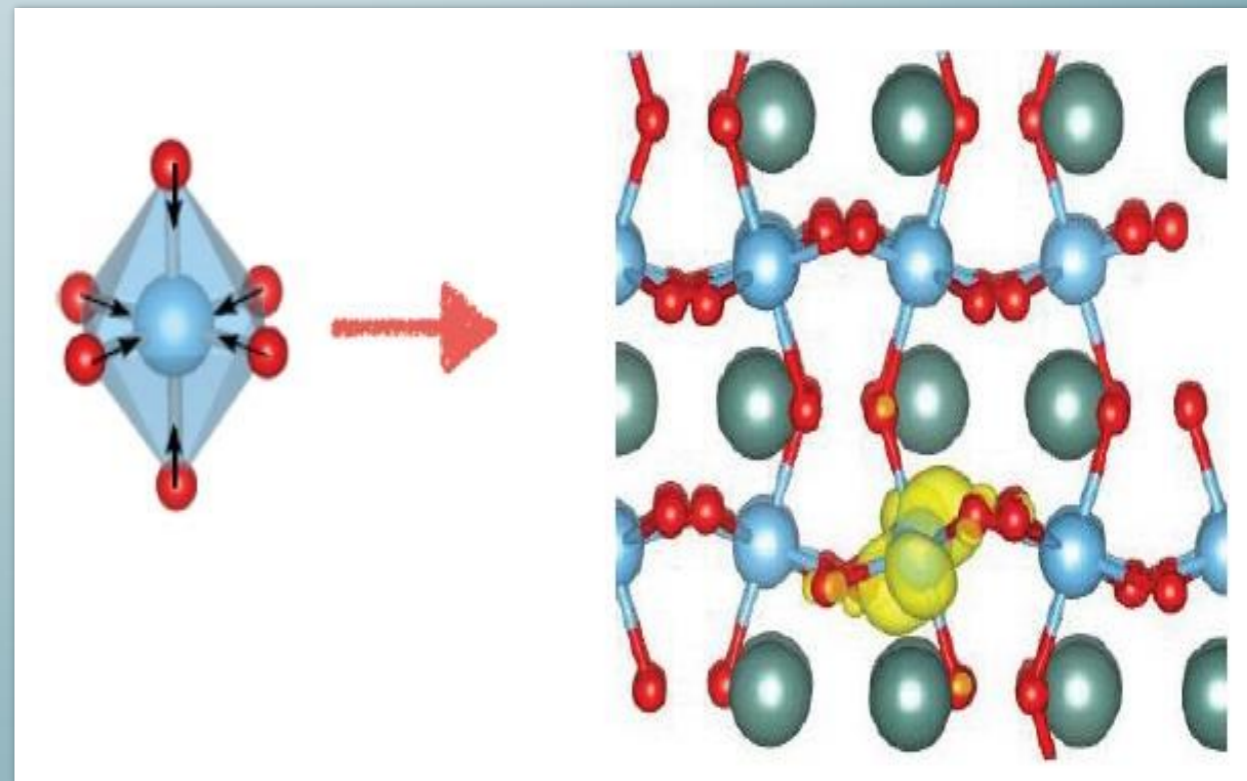
نکته:

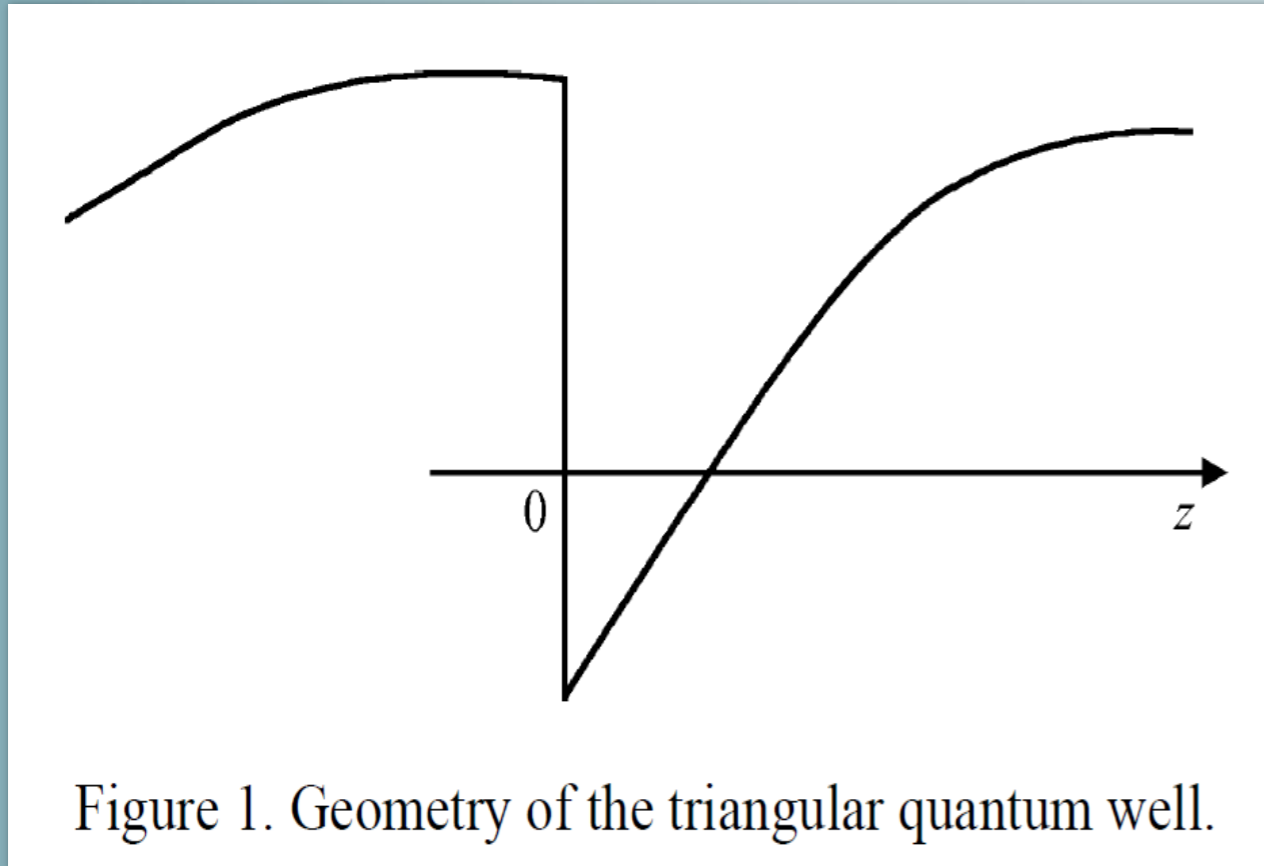
در شدت کوپلینگ های بزرگ (پلارون های کوچک) اثرات  
غیر خطی کوپلاژ و پلارون مهم هستند



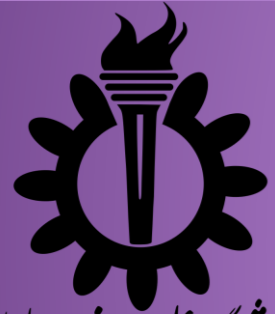
## نمونه مثال ثابت کوپلینگ

Material	$\alpha$	Material	$\alpha$
CdTe	0.31	KI	2.5
CdS	0.52	RbCl	3.81
ZnSe	0.43	RbI	3.16
AgBr	1.6	CsI	3.67
AgCl	1.8	TlBr	2.55
CdF <sub>2</sub>	3.2	GaAs	0.068
InSb	0.02	GaP	0.201
KCl	3.5	InAs	0.052
KBr	3.05	SrTiO <sub>3</sub>	4.5





یک چاه کوانتومی متشکل از دو ماده قطبی  
رشد در راستای محور Z  
الکترون در یک چاه کوانتومی با فونون های نوری  
طولی در حال تعامل می باشد



# همیلتونی تعامل الکترون - فونون سیستم

$$H = \frac{1}{2m} \left[ \left( P_x - \frac{\beta^2}{4} y \right)^2 + \left( P_y + \frac{\beta^2}{4} y \right)^2 \right] + \frac{P_z^2}{2m} \\ + V(z) + \sum_k \hbar \omega_{LO} a_k^+ a_k \\ + \sum_k \left( V_k a_k e^{ik \cdot r} + hc \right).$$

قسمت اول و دوم : انرژی جنبشی الکترون

قسمت سوم : تقریب پتانسیل مثلثی به جای پتانسیل خمشی باند

هدایت

## پتانسیل مثلثی تقریب زده شده

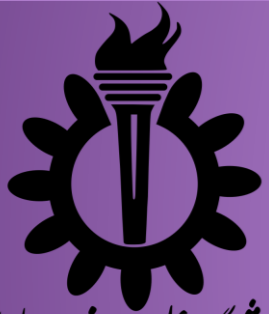
$$V(z) = \begin{cases} eF_s z, & z \geq 0, \\ \infty, & z < 0. \end{cases}$$

$$F_s = \frac{4\pi e n_s}{\epsilon_{01}}$$

$F_s$  = نیروی ناشی از میدان الکتریکی

$N_s$  = چگالی فضایی الکترون ها

$\epsilon_{01}$  = ثابت دی الکتریک استاتیک



## عملگر هامیلتونی

$$H = \frac{1}{2m} \left[ \left( P_x - \frac{\beta^2}{4} y \right)^2 + \left( P_y + \frac{\beta^2}{4} y \right)^2 \right] + \frac{P_z^2}{2m} \\ + V(z) + \sum_k \hbar \omega_{LO} a_k^\dagger a_k \\ + \sum_k \left( V_k a_k e^{ik \cdot r} + hc \right).$$

قسمت چهارم و پنجم = میدان فونون و تعامل الکترون و فونون

$a_k$  = عملگر خلق و فنا با مومنتم  $k$  و فرکانس  $\omega_c$

$r$  = موقعیت عملگر یک الکترون

$V_k$  = ضریب فوریه بر هم کنش



# ضریب فوریه بر هم کنش

$$V_k = i \left( \frac{\hbar \omega_{LO}}{k} \right) \left( \frac{\hbar}{2m\omega_{LO}} \right)^{1/4} \left( \frac{4\pi\alpha}{V} \right)^{1/2}$$

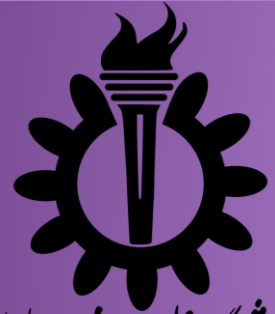
$V$  = حجم کریستال

$\alpha$  = ثابت کوپلینگ الکترون و فونون

$f_k$  = یک تابع متغیر (مینیمم کردن انرژی یا انرژی حالت پایه)

$$U = \exp \left[ \sum_k (a_k^+ f_k - a_k f_k^*) \right]$$





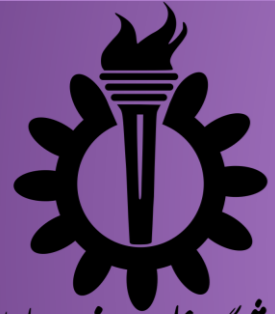
$$|\psi\rangle = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{1/2} \sigma e^{-\sigma\rho/2} \left(\frac{\beta'^3}{2}\right)^{1/2} z e^{-\beta'z/2} |0\rangle_{\text{ph}}$$

$$\langle\psi| U^{-1} H U |\psi\rangle$$

برای حالت پایه سیستم این تابع موج انتخاب می کنیم

$\sigma$  و  $\beta$  پارامترهای متغیر برای مینیمم کردن انرژی کل سیستم

انرژی کل سیستم = مقدار چشمداشتی



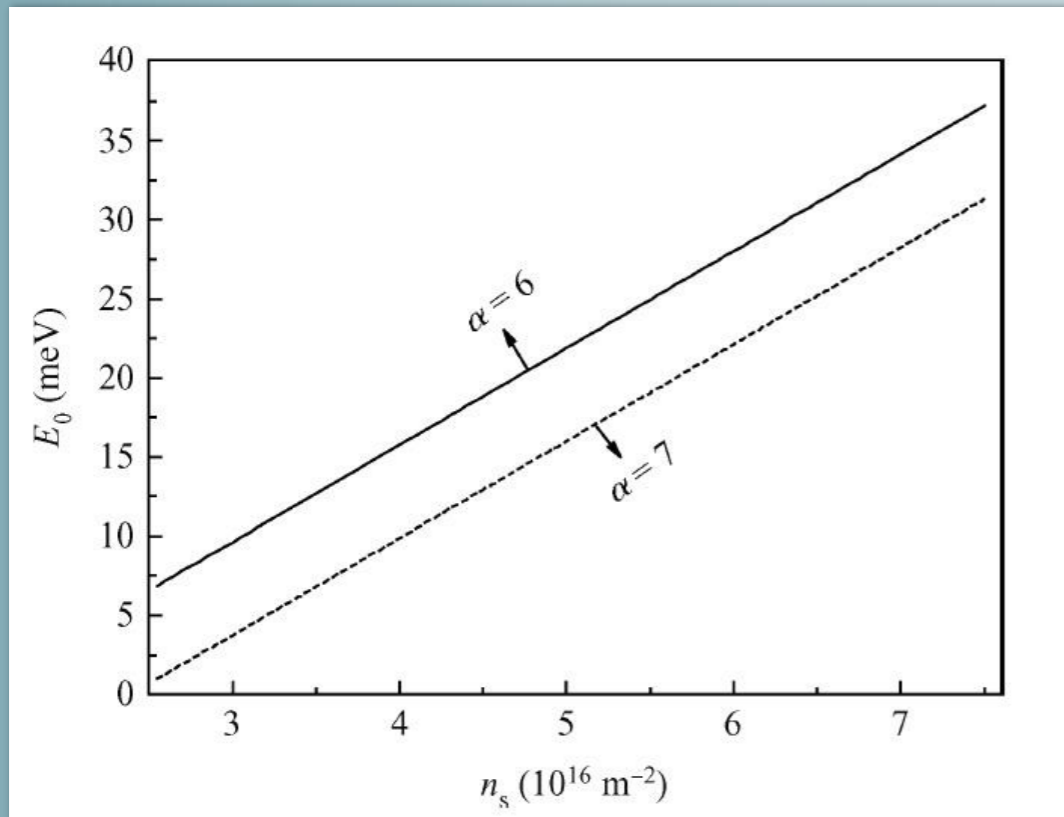
$$E_0 = \frac{\hbar^2 \sigma^2}{8m} + \frac{3m\omega_c^2}{4\sigma^2} + \frac{12e^2 \pi n_s}{\beta' \epsilon_{01}} - \frac{3\pi}{16} \alpha \hbar \omega_{LO} \sigma \left( \frac{\hbar}{2m\omega_{LO}} \right)^{1/2}$$

$$\omega_c = \frac{eB}{mc}$$

$$E_b = E_e + E_p - E_0 = \frac{3\pi\sigma}{8} \alpha \hbar \omega_{LO} \left( \frac{\hbar}{2m\omega_{LO}} \right)^{1/2} - \frac{3m\omega_c^2}{4\sigma^2} - \frac{12e^2 \pi n_s}{\beta' \epsilon_{01}}$$

$$\beta^2 = \frac{2eB}{c}$$

# رابطه بین چگالی فضایی الکترون ها و انرژی حالت پایه



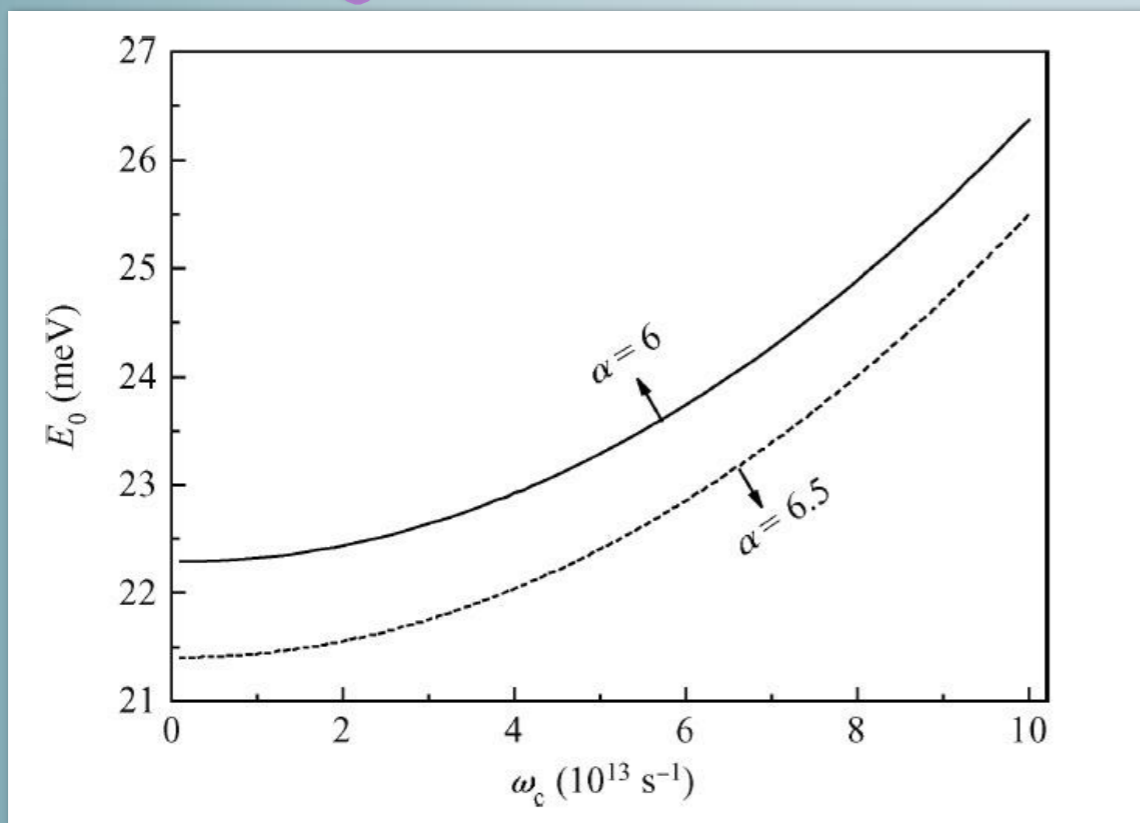
- تابع صعودی

- با کاهش شدت میدان الکتریکی انرژی الکترون افزایش

- با افزایش چگالی الکترون ها انرژی حالت پایه افزایش

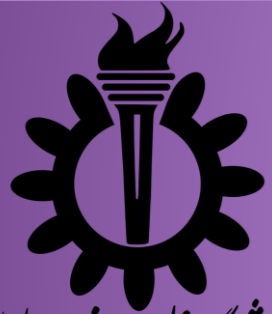


## رابطه بین فرکانس سیکلوترون و انرژی حالت پایه

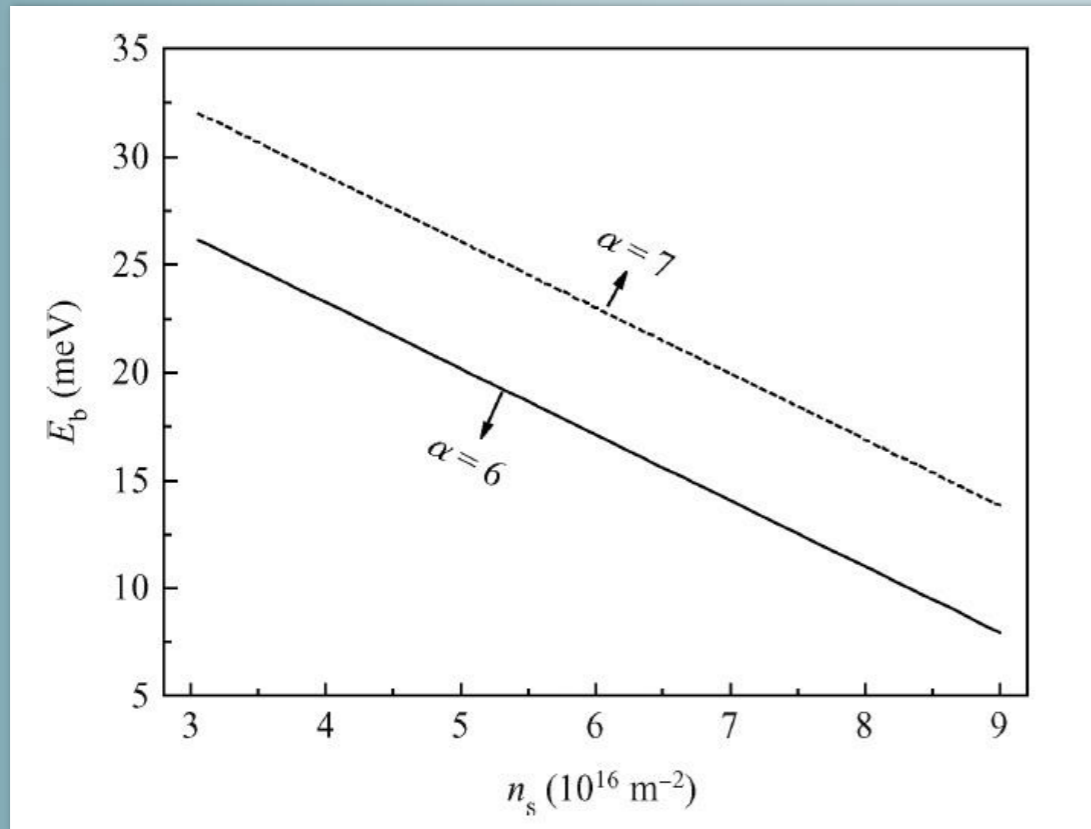


- با افزایش فرکانس انرژی حالت پایه افزایش

- با افزایش میدان مغناطیسی انرژی حالت پایه افزایش



# رابطه بین چگالی الکترون ها و انرژی پیوندی حالت پایه

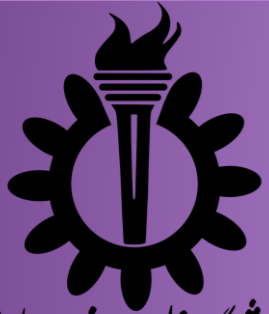


## تابع نزولی

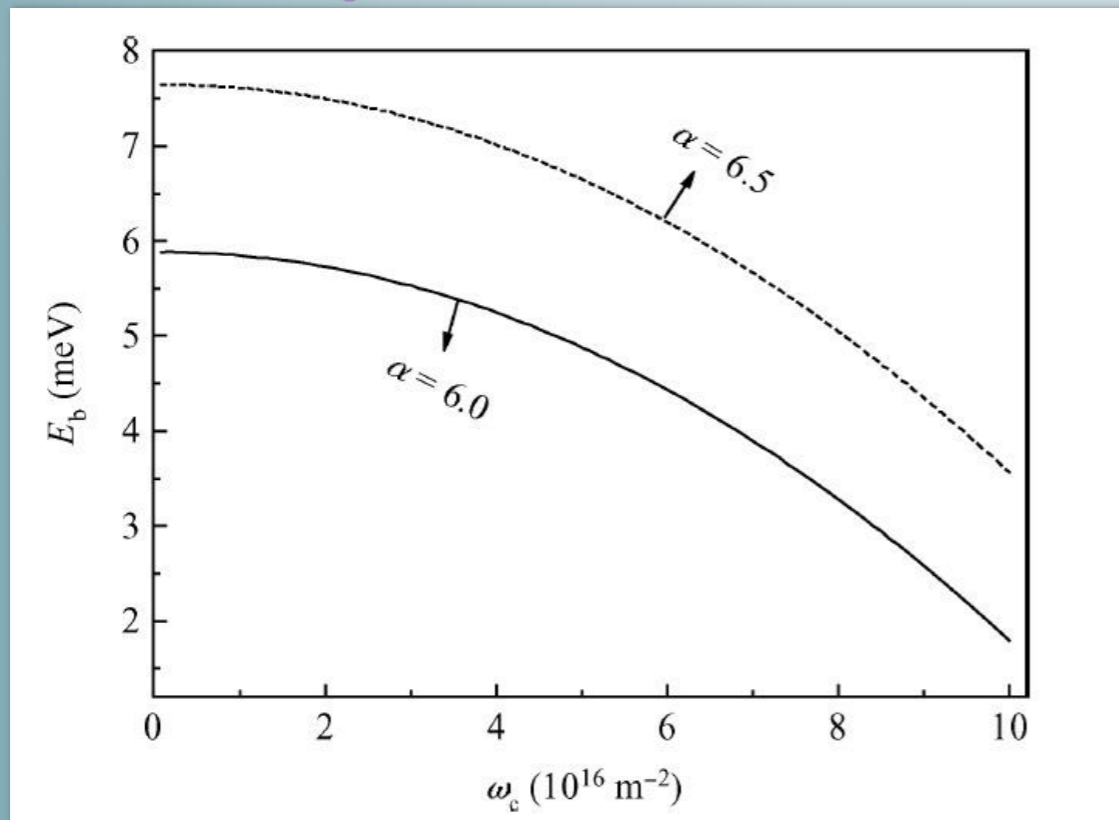
دلیل : با افزایش چگالی الکترون ها خمش باند هدایت بیشتر می شود و الکترون ها از خط اتصال دور می شوند

بنابراین تعامل الکترون و فونون تقویت می شود

با افزایش چگالی الکترون انرژی پیوندی حالت پایه کاهش



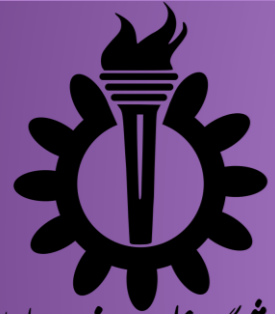
# رابطه بین فرکانس میدان مغناطیسی و انرژی پیوندی حالت پایه



تابع نزولی

با افزایش شدت میدان مغناطیسی انرژی الکترون و

انرژی کوپلینگ الکترون و فونون کاهش می یابد



## نتیجه گیری

در شرایط یکسان (فرکانس و چگالی یکسان) :

- با افزایش شدت کوپلینگ الکترون فونون انرژی پیوندی حالت پایه

افزایش میابد ولی انرژی حالت پایه کاهش می یابد

- چون کوپلینگ الکترون فونون از میزان تنش و کرنش الکترون و فونون

قوی تر بوده و باعث می شود انرژی الکترون افزایش یابد و با فونون

های بیشتری تعامل داشته باشد

- بنابراین با افزایش شدت کوپلینگ انرژی پیوندی حالت پایه کاهش

در واقع:

-  $E_0$  و  $E_b$  فقط به  $n_s$  وابسته نیست

- به  $\omega_c$  نیز وابسته می باشد

$E_0$  = رابطه افزایشی

$E_d$  = رابطه معکوس

- [1] Heyman J N, Kersting R, Unterrainer K. Time-domain measurement of intersubband oscillations in a quantum well. Appl Phys Lett, 1998, 72: 644
- [2] Wu W, Bonakdar A, Mohseni H. Plasmonic enhanced quantum well infrared photodetector with high detectivity. Appl Phys Lett ۱۶۱۱۰۷ :۹۶ ,۲۰۱۰
- [3] Kalchmair S, Detz H, Cole G D, et al. Photonic crystal slab quantum well infrared photodetector. Appl Phys Lett, 2011, 98:۰۱۱۱۰۵
- [4] Zhang L, Xie H J. Electric field on the second-order nonlinear optical properties of parabolic and semiparabolic quantum well. Phys Rev B, 2003, 68: 235315
- [5] Marmorkos I K, Sarma S D. Interacting intersubband excitations in parabolic semiconductor quantum wells. Phys Rev B, 1993, ۱۵۴۴ :۴۸
- [6] Dempsey J, Halperin B I. Magnetoplasma excitations in parabolic quantum wells: hydrodynamic model. Phys Rev B, 1991, 45: 1719
- [7] Bechstedt F, Grille H, Haupt R. Phonons in parabolic quantum well. Phys Rev B, 1993, 48: 14667



[8] Kastalsky A, Peeters F, Chan W K, et al. Nonlinear transport phenomena in a triangular quantum well. Appl Phys Lett, 1991, 59:1708

[9] Mathine D L, Maracas G N, Gerber D S, et al. Characterization of an AlGaAs/GaAs asymmetric triangular quantum well grown by digital alloy approximation. J Appl Phys, 1994, 75: 4551

[10] Liu J, Xiao J L. Bound polaron in a polar semiconductor heterojunction in static electric field. Int J Mod Phys B, 2006, 20(17):2259

[11] Zhang H R, Xiao J L. Effective mass of strong-coupling bound polaron in a triangular quantum well induced by Rashba effect. Commun Theor Phys, 2008, 50(4): 995

[12] Zhang H R, Xiao J L. The effective mass of strong-coupling polaron in a triangular quantum well induced by the Rashba effect. Phys B, 2008, 403(10/11): 1933

[13] Li Z X, Xiao J L. Effect of spin on the ground-state energy of strong coupled magnetopolaron in triangular quantum well. J Atomic and Molecule Sciences, 2012, 3: 360

[14] Schwartz C. Effective mass effects in triangular quantum wells achieved from compositional grading. IEEE J Quantum Electron, 1988, 24: 1712

**THANK YOU**