

Atıf İçin: Mese, A. İ. (2025). Hidrostatik Basınç ve Sıcaklığın GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs Küresel Kuantum Noktasındaki Yabancı Atom Self-Polarizasyonu ve Bağlanma Enerjisi Üzerindeki Etkileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 509-519.

To Cite: Mese, A. I. (2025). Effects of Hydrostatic Pressure and Temperature on Impurity Self-Polarization and Binding Energy in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs Spherical Quantum Dot. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(2), 509-519.

Hidrostatik Basınç ve Sıcaklığın GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs Küresel Kuantum Noktasındaki Yabancı Atom Self-Polarizasyonu ve Bağlanma Enerjisi Üzerindeki Etkileri

Ali İhsan MESE

Öne Çıkanlar:

- Varyasyon yöntemi ile yabancı atom self-polarizasyonu ve bağlanma enerjisinin hesaplanması
- 2p uyarılmış durumun incelenmesi
- Hidrostatik basınç ve sıcaklığın yabancı atom self-polarizasyonu ve bağlanma enerjisine etkisi

ÖZET:

2p uyarılmış durumunda, hidrostatik basınç ve sıcaklığın GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs küresel kuantum noktasındaki yabancı atom self-polarizasyonu ve bağlanma enerjisi üzerindeki etkileri, etkin kütle yaklaşımı altında varyasyonel yöntem ile hesaplanmıştır. Bağlanma enerjisi ve yabancı atom self-polarizasyonu, sıcaklık, hidrostatik basınç, yabancı atomun konumu ve nokta yarıçapının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Sonuçlar, yabancı atom self-polarizasyonunun ve bağlanma enerjisinin hidrostatik basınçla ve sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bağlanma enerjisi hidrostatik basınçla artarken sıcaklık ile azalmakta, yabancı atom self-polarizasyonu ise hidrostatik basınçla azalırken sıcaklık ile artmaktadır. Bununla birlikte, sıcaklık ve hidrostatik basıncın etkisi altında yabancı atom self-polarizasyonunun hesaplanması, yabancı atomun sistemdeki konumu hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Anahtar Kelimeler:

- Hidrostatik basınç
- Sıcaklık
- Bağlanma enerjisi
- Yabancı atom self-polarizasyon
- Uyarılmış durum

Effects of Hydrostatic Pressure and Temperature on Impurity Self-Polarization and Binding Energy in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs Spherical Quantum Dot

Highlights:

- Calculation of impurity self-polarization and binding energy by variation method
- Investigation of 2p excited state
- Effect of hydrostatic pressure and temperature on impurity self-polarization and binding energy

ABSTRACT:

The effects of hydrostatic pressure and temperature on impurity self-polarization and binding energy in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot in 2p excited state were calculated by variational method under effective mass approach. Binding energy and impurity self-polarization were investigated as a function of temperature, hydrostatic pressure, impurity position and dot radius. The results show that impurity self-polarization and binding energy depend on hydrostatic pressure and temperature. In addition, binding energy increases with hydrostatic pressure and decreases with temperature, while impurity self-polarization decreases with hydrostatic pressure and increases with temperature. However, calculation of impurity self-polarization under the effect of temperature and hydrostatic pressure provides important information about the position of impurity in the system..

Keywords:

- Hydrostatic pressure
- Temperature
- Binding energy
- Impurity self-polarization
- Excited state

GİRİŞ

Düşük boyutlu sistemlerde yabancı atomun araştırılması, yarı iletken aygıtların fiziksel etkilerinin anlaşılmasında büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, kuantum kuyularındaki (Bastard, 1981; Rajashabala, ve Navaneethakrishnan, 2006; Akbas ve ark., 2016; Greene ve Bajaj, 1985; Fraizzoli ve ark., 1990; Sucu ve ark., 2021), kuantum tellerindeki (Brown ve Spector, 1986; Branis ve ark., 1993) ve kuantum noktalarındaki (Zhu ve Chen, (1994; Johnson, 1995; Zhu ve ark., 1990; Montenegro ve Merchancano, 1992; Brandi ve ark., 2002; Sucu ve ark., 2008; Özmen ve ark., 2009; Hassanabadi ve Rajabi, 2009; Erdogan ve ark., 2013; Bulut ve ark., 2014) yabancı atomun etkilerini araştırmak için hem deneysel hem de teorik çalışmalar kapsamlı bir şekilde yürütülmüştür. Birçok çalışma, bu yapılarıdaki temel durum bağlanma enerjisi ve yabancı atom self-polarizasyon üzerinde sıcaklığın, hidrostatik basıncın ve yabancı atom konumunun etkilerini araştırmaktadır (Rezaei ve ark., 2012; Okan ve ark., 2004; Ulas ve ark., 2005; Erdogan ve ark., 2006a; Erdogan ve ark., 2006b; Akankan ve ark., 2006; Erdogan ve ark., 2009; Restrepo ve ark., 2011). Sıcaklık ve hidrostatik basınç, yapının simetrisini değiştirmeden elektronun etkin kütesini, dielektrik sabitini ve sınırlama potansiyelini etkiler. Hidrostatik basınç aynı zamanda küresel kuantum noktasının (KKN) yarıçapını da değiştirir. (Başer ve ark. 2016), sıcaklığın ve hidrostatik basıncın kare kuantum kuyusundaki yabancı atom bağlanma enerjisini nasıl etkilediğini analiz ettiler. (Rezaei ve ark., 2012) dış manyetik ve elektrik alanlarının, hidrostatik basıncın ve sıcaklığın etkilerini hesaba katarak, iki boyutlu bir kuantum noktasındaki taban durum yabancı atom bağlanma enerjisini ayrıntılı bir şekilde incelediler. (Sivakami ve ark., 2013) tarafından yapılan çalışmada ise, KKN'deki uyarılmış durum için hidrostatik basınç ve sıcaklığın yabancı atom bağlanma enerjisi üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Son zamanlarda, Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs kuantum kuyusundaki birinci uyarılmış ($n = 2, l = 0, m = 0$) durum için bir yabancı atomun self- polarizasyonunu incelenmiştir (Sucu ve ark., 2021). Ayrıca, (Mese ve ark., 2017), dielektrik sabitinin KKN'deki $2p(n = 2, l = 1, m = 0)$ uyarılmış durum için yabancı atom bağlanma enerjisi ve yabancı atom self-polarizasyonu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Hidrostatik basınç ve sıcaklığın $2p$ uyarılmış durumunun yabancı atom self-polarizasyonu üzerindeki etkileri şimdiye kadar incelenmemiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı KKN da $2p$ uyarılmış durum yabancı atomun self-polarizasyonunu ve bağlanma enerjisini (E_{b2p}), sıcaklık, hidrostatik basınç ve yabancı atom konumunun bir fonksiyonu olarak varyasyonel yöntem kullanarak incelemektir.

MATERYAL VE METOT

Etkin kütle yaklaşımı altında, sıcaklık ve hidrostatik basıncın varlığında, yabancı atomun Hamiltoniyeni küresel koordinatlarda şu şekilde tanımlanır (Sivakami ve Gayathri, 2013),

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*(P,T)} \left[\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right] - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon(P,T) \sqrt{r^2 + r_i^2 - 2rr_i \cos \theta}} + \frac{\hbar^2}{2m^*(P,T)} \frac{l(l+1)}{r^2} + V(r, P, T) \quad (1)$$

Burada, e , r_i , $m^*(P, T)$, $\epsilon(P, T)$ ve $V(r, P, T)$ sırasıyla serbest elektron yükünü, yabancı atomun konumu, hidrostatik basınç ve sıcaklığa bağlı etkin kütle, kuantum noktasının içindeki ortamın dielektrik sabiti ve sınırlayıcı potansiyel temsil etmektedir. GaAs için, $m^*(P, T)$ ve $\epsilon(P, T)$ hidrostatik basınç ve sıcaklığın fonksiyonu olarak (Erdogan ve ark., 2013; Rezaei ve Kish, 2012; Kirak ve ark., 2013),

$$m^*(P, T) = \frac{m_o}{1 + 7.51 \left[\frac{2}{E_g^\Gamma(P, T)} + \frac{1}{E_g^\Gamma(P, T) + 0.341} \right]} \quad (2)$$

ve

$$\varepsilon(P, T) = \begin{cases} 12.74 \exp[-1.73 \times 10^{-3} P] \exp[9.4 \times 10^{-5} (T - 75.6 \text{ K})] & \text{for } T \leq 200 \text{ K} \\ 13.18 \exp[-1.73 \times 10^{-3} P] \exp[20.4 \times 10^{-5} (T - 300 \text{ K})] & \text{for } T \geq 200 \text{ K} \end{cases} \quad (3)$$

şeklinde. Burada m_o serbest elektron kütesidir. $E_g^\Gamma(P, T)$, GaAs yapısı için Γ noktasındaki basınca ve sıcaklığa bağlı enerji band aralığı değişimidir ve şu şekilde yazılabilir: (Erdogan ve ark., 2013; Sivakami ve Gayathri, 2013)

$$E_g^\Gamma(P, T) = 1.519 - \left[\frac{5.405 \times 10^{-4} T^2}{T + 204 \text{ K}} \right] + (1.26 \times 10^{-2}) P - (3.77 \times 10^{-4}) P^2, \quad (4)$$

Denklem 1'de, $V(r, P, T)$ ile tanımlanan tuzaklama potansiyeli aşağıdaki gibidir;

$$V^T(r, P, T) = \begin{cases} 0 & r \leq R(P) \\ V_0^T(x, P, T) = 0.658 \Delta E_g^{\Gamma T}(x, P, T) & r \geq R(P) \end{cases} \quad (5)$$

burada x alüminyum konsantrasyonu, $\Delta E_g^{\Gamma T}(x, P, T)$ ise GaAs ile Ga_{1-x}Al_xAs arasındaki enerji band aralığı farkıdır ve alüminyum konsantrasyonu, hidrostatik basınç ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Sivakami ve Gayathri, 2013).

$$\Delta E_g^{\Gamma T}(x, P, T) = 1.155 x + 0.37 x^2 + P(-1.3 \times 10^{-3} x) + T(-1.15 \times 10^{-4} x). \quad (6)$$

Hidrostatik basınca bağlı olan KKN genişliği $R(P)$ ile gösterilir ve şöyle tanımlanır (Erdogan ve ark., 2013),

$$R(P) = R_o [1 - (1.16 \times 10^{-3} \text{ kbar}^{-1} + 2(-3.7 \times 10^{-4} \text{ kbar}^{-1})) P], \quad (7)$$

burada R_o hidrostatik basınç olmadığı durumdaki KKN yarıçapını ifade etmektedir.

2p uyarılmış durumu dalga fonksiyonu yabancı atom yokluğunda (Bulut ve ark., 2014; Mese ve ark., 2017; Sadeghi, 2009)

$$\psi_{2p}^0(\vec{r}, V_o, R) = \begin{cases} N_{2pi}^0 \left(\frac{\sin(k_{2pi}r)}{(k_{2pi}r)^2} - \frac{\cos(k_{2pi}r)}{(k_{2pi}r)} \right) \cos \theta & , r \leq R \\ N_{2p0}^0 \left(\frac{1}{(k_{2p0}r)} + \frac{1}{(k_{2p0}r)^2} \right) \cos \theta & , r \geq R \end{cases} \quad (8)$$

gibi tanımlanır. Burada

$$k_{2pi} = \sqrt{2m^*(P, T)E_{2p}^0(P, T)/\hbar^2} \quad (9)$$

ve

$$k_{2p0} = \sqrt{2m^*(P, T)(V_o(P, T) - E_{2p}^0(P, T))/\hbar^2} \quad (10)$$

Dalga fonksiyonlarını ve türevlerini $r=R$ sınırında eşleştirerek aşağıdaki transandantal denklem elde edilir.

$$\left(\sqrt{E_{2p}^0(P, T) \cdot R} \cdot (E_{2p}^0(P, T) - V_0) \cdot \cos \left(\sqrt{E_{2p}^0(P, T) R} \right) + \left(E_{2p}^0(P, T) R \sqrt{(V_0 - E_{2p}^0(P, T))} + V_0 \right) \cdot \sin \left(\sqrt{E_{2p}^0(P, T) \cdot R} \right) \right) / \left((E_{2p}^0(P, T) \cdot R) \cdot \left(R \cdot \left(\sqrt{(V_0 - E_{2p}^0(P, T))} \right) + 1 \right) \right) = 0 \quad (11)$$

Transandantal denklem çözümlerinden 2p uyarılmış durum subband enerjini gösteren $E_{2p}^0(P, T)$ elde edilir.

2p uyarılmış durum deneme dalga fonksiyonu yabancı atom varlığında aşağıdaki gibi seçilebilir (Sadeghi ve Rezaie, 2010; Bella ve Navaneethakrishnan, 2004; Mikhail ve Ismail, 2010),

$$\psi_{2p}(\vec{r}, V_0, R, r_i) = \begin{cases} N_{2pi} \left(\frac{\sin(k_{2pi} r)}{r} \right) r \cos \theta \exp \left(-\lambda_p \sqrt{r^2 + r_i^2 - 2rr_i \cos \theta} \right), r \leq R \\ N_{2po} \left(\exp(-k_{2po})/r \right) r \cos \theta \exp \left(-\lambda_p \sqrt{r^2 + r_i^2 - 2rr_i \cos \theta} \right), r \geq R \end{cases} \quad (12)$$

burada λ_p varyasyon parametresidir. $E_{i2p}(V_0, R, r_i, P, T)$, 2p uyarılmış durum yabancı atom enerjisini gösterir ve aşağıdaki gibi bulunur (Mese ve ark., 2017)

$$E_{i2p}(V_0, R, r_i, P, T) = \min_{\lambda_p} \left[\frac{\langle \psi_{2p}(\vec{r}, r_i, R) | H | \psi_{2p}(\vec{r}, r_i, R) \rangle}{\langle \psi_{2p}(\vec{r}, r_i, R) | \psi_{2p}(\vec{r}, r_i, R) \rangle} \right] \quad (13)$$

2p uyarılmış durum bağlanma enerjisi ise şöyle tanımlanır (Bulut ve ark., 2014),

$$E_{b2p}(V_0, R, r_i) = E_{2p}^0(P, T) - E_{i2p}(V_0, R, r_i, P, T) \quad (14)$$

Yabancı atom dalga fonksiyonu belirlendikten sonra kuantum nokta potansiyelinin yabancı atom üzerindeki etkisi olarak tanımlanan $\vec{r}_i$ doğrultusundaki yabancı atom self-polarizasyon($SP(r_i, P, T)/e$), 2p uyarılmış durum için aşağıdaki gibi tanımlanır (Mese ve ark., 2017; Mese, 2021),

$$SP(r_i, P, T)/e = \frac{\langle H_{num} \rangle_{r_i \neq 0}}{\langle H_{den} \rangle_{r_i \neq 0}} - \frac{\langle H_{num} \rangle_{r_i=0}}{\langle H_{den} \rangle_{r_i=0}}, \quad (15)$$

burada

$$\langle H_{num} \rangle_{r_i \neq 0} = \left(\langle \psi_{1p}(r_i, P, T) | -e(r \cos \theta - r_i) | \psi_{1p}(r_i, P, T) \rangle \right)_{r_i \neq 0}, \quad (16)$$

$$\langle H_{den} \rangle_{r_i \neq 0} = \left(\langle \psi_{1p}(r_i, P, T) | \psi_{1p}(r_i, P, T) \rangle \right)_{r_i \neq 0}, \quad (17)$$

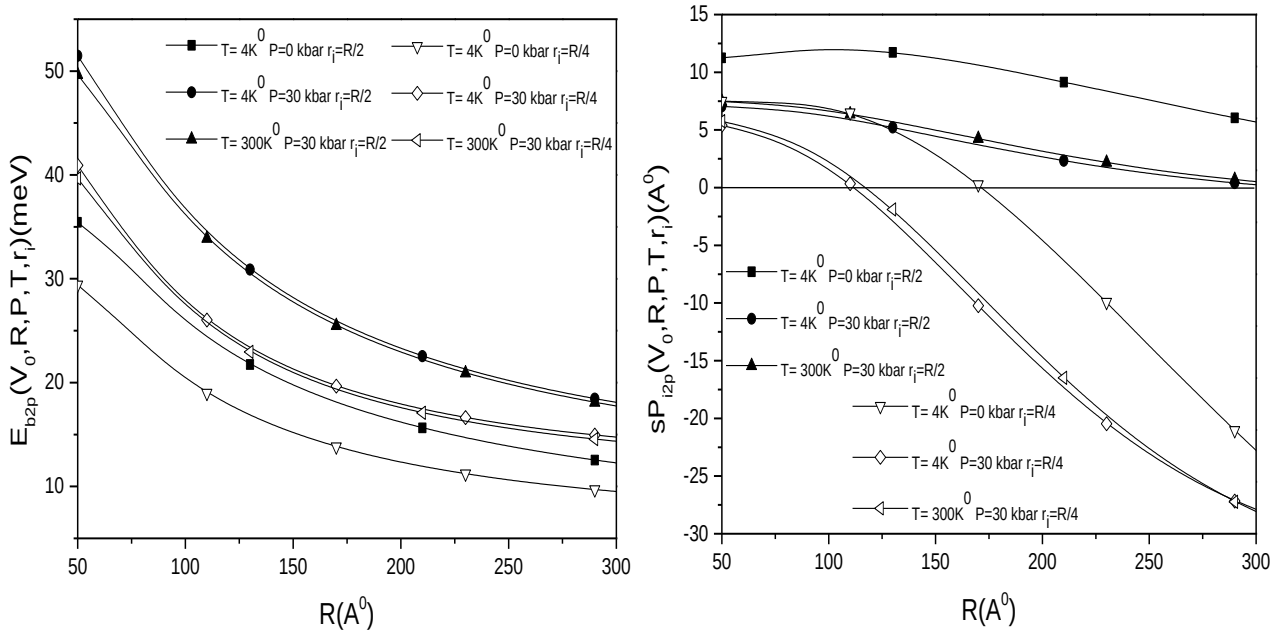
$$\langle H_{num} \rangle_{r_i=0} = \left(\langle \psi_{1p}(r_i, P, T) | -e(r \cos \theta - r_i) | \psi_{1p}(r_i, P, T) \rangle \right)_{r_i=0}, \quad (18)$$

$$\langle H_{den} \rangle_{r_i=0} = \left(\langle \psi_{1p}(r_i, P, T) | \psi_{1p}(r_i, P, T) \rangle \right)_{r_i=0}. \quad (19)$$

Küresel kuantum noktasında yabancı atom self-polarizasyonu üzerinde sıcaklık ve hidrostatik basıncın etkilerini bulmak için denklem 15 kullanılır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

KKN da, hidrostatik basınç, sıcaklık, nokta yarıçapı ve yabancı atom konumunun yabancı atom self-polarizasyonu ve E_{b2p} üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda alüminyum konsantrasyonu $x=0.3$ olarak sabit alınmıştır. Sonuçlar Şekil 1-4'te sunulmuştur.

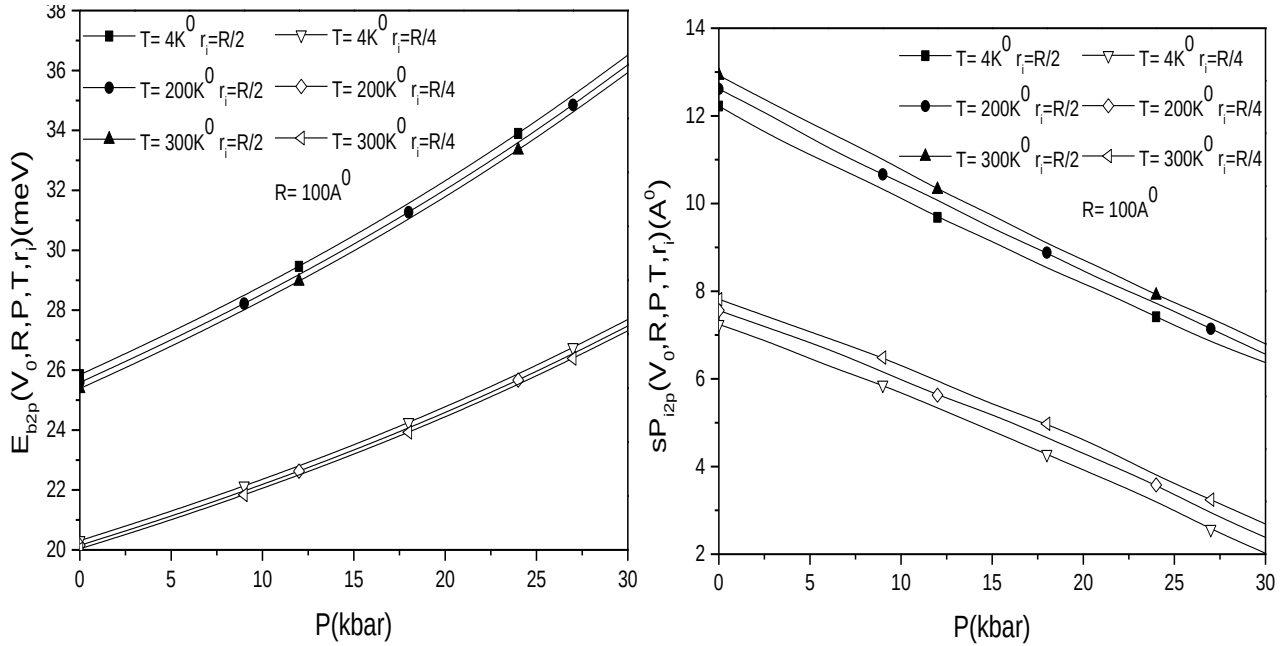


Şekil 1. Hidrostatik basınç, sıcaklık ve yabancı atom konumunun farklı değerleri ve nokta yarıçapının bir fonksiyonu olarak (a) E_{b2p} , (b) yabancı atom self-polarizasyonu

Şekil 1(a) ve 1(b)'de, 2p uyarılmış durum E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonu, farklı yabancı atom konumları ($r_i=R/4$, $r_i=R/2$), hidrostatik basınç ($P=0$ ve $P=30$ kbar) ve sıcaklık ($T=4K^0$ ve $T=300K^0$) değerleri için nokta yarıçapının bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Şekil 1(a), nokta yarıçapı arttığında E_{b2p} 'nin azaldığını göstermektedir (Sivakami ve Gayathri, 2013; Mese ve ark., 2017; Al ve ark., 2020). Bunun nedeni, nokta yarıçapı arttıkça, elektronun kuantum nokta içindeki lokalizasyonu artar, ancak elektron ve yabancı atom arasındaki bağıl mesafe de artar ve böylece bağlanma enerjisi, hesaba kattığımız tüm yabancı atom durumları için azalır. İlavenen kuantum nokta yarıçapı arttığında, elektron ve yabancı atom arasındaki elektrostatik etkileşimin azalması nedeniyle bağlanma enerjisi azalır. Ayrıca, E_{b2p} 'nin artan hidrostatik basınçla arttığı ve artan sıcaklıkla azaldığı gözlemlenmiştir. İlavenen, yabancı atom pozisyonu $r_i=R/4$ 'ten $r_i=R/2$ 'ye değiştiğinde E_{b2p} artmıştır. Uyarılmış durumda dalga fonksiyonunun bulunma olasılığı $R/2$ konumunda daha yüksek olduğundan, yabancı atom $r_i=R/2$ konumundayken E_{b2p} $r_i=R/4$ konumundaki E_{b2p} daha büyüktür (Sivakami ve Gayathri, 2013; Mese ve ark., 2017).

Şekil 1(b)'de, nokta yarıçapına bağlı olarak yabancı atom self-polarizasyonunun değişimi gösterilmiştir. Bu grafik, yabancı atom self-polarizasyonunun yabancı atom $r_i=R/2$ pozisyonunda pozitif, $r_i=R/4$ pozisyonunda ise negatif değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Düşük boyutlu yapılarda negatif yabancı atom self-polarizasyonu anormal bir durum olarak kabul edilir. Anormal self-polarizasyon, yabancı atom pozisyonuna ve KKN yarıçapına bağlıdır. Elde edilen sonuçlar (Mese,

2021) makalesi ile uyum içindedir. Uyarılmış durum anormal self-polarizasyonunun hesaplanması, yabancı atomun sistemdeki pozisyonu hakkında bilgi edinmek için çok önemlidir. İlaveten, yabancı atom self-polarizasyonu, hidrostatik basınç arttığında azalırken sıcaklıkla birlikte azda olsa artmaktadır. Bunun nedeni tüm kuantum nokta genişlikleri için etkin kütle, tuzaklama potansiyeli, dielektrik sabiti ve kuantum nokta yarıçapı gibi parametrenin hidrostatik basınç ve sıcaklıktan etkilendiği bilinmektedir. Kuyu genişliğinden bağımsız olarak hidrostatik basınçtaki herhangi bir artış bağlama enerjisini artırırken sıcaklık ise azaltmaktadır. Bağlanma enerjisindeki bu değişim yabancı atom self-polarizasyonunu da etkilemektedir (Erdogan ve ark., 2013; Başer ve ark., 2016).

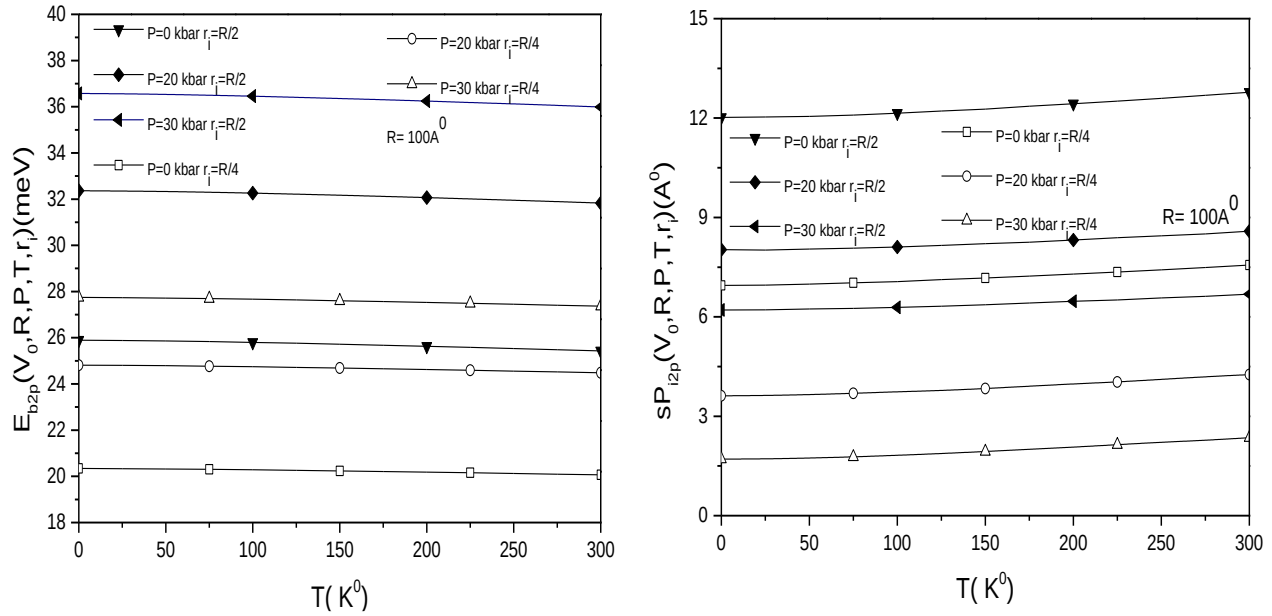


Şekil 2. (a) E_{b2p} ve (b) yabancı atom self-polarizasyonun, nokta yarıçapı $R=100 \text{ Å}$ için hidrostatik basınca bağlı değişimi. Sıcaklık ve yabancı atom konum değerleri Şekil 1 ile aynıdır

Şekil 2(a) ve 2(b)'de, 2p durum E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonu, farklı yabancı atom pozisyonları ($r_i=R/4$, $r_i=R/2$) ve sıcaklık ($T=4\text{K}$, $T=300\text{K}$) için 100 Å nokta yarıçapında hidrostatik basıncın bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Şekil 2(a) ve 2(b), Şekil 1(a) ve 1(b)'deki sonuçları desteklemek için sunulmuştur. Şekil 2(a)'da, hidrostatik basınç arttığında E_{b2p} 'nin arttığı gözlemlenmiştir (Sivakami ve Gayathri, 2013; Safwan ve ark., 2018; Safwan ve ark., 2020; Mese, 2021). Yabancı atomun $r_i=R/2$ konumundaki E_{b2p} , $r_i=R/4$ konumundan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında, hidrostatik basıncın E_{b2p} üzerinde sıcaklıktan daha etkili olduğu bulunmuştur.

Şekil 2(b), hidrostatik basınç arttığında yabancı atom self-polarizasyonunun doğrusal olarak azaldığını göstermektedir. Ayrıca, sıcaklık arttığında ve yabancı atom $r_i=R/4$ konumundan $r_i=R/2$ konumuna yer değiştirdiğinde yabancı atom self-polarizasyonunun arttığı görülmektedir (Mese, 2021).

Şekil 3(a) ve 3(b)'de, 2p durum E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonu, farklı yabancı atom konumları ($r_i=R/4$, $r_i=R/2$) ve hidrostatik basınç ($P=0$, $P=20\text{kbar}$ ve $P=30\text{kbar}$) için $R=100 \text{ Å}$ nokta yarıçapında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Şekil 3(a) ve 3(b), Şekil 1(a) ve 1(b)'deki sonuçları desteklediği görülmüştür. Şekil 3(a)'da, sıcaklık arttığında E_{b2p} 'nin azda olsa azaldığı gözlemlenmiştir (Safwan ve ark., 2020).



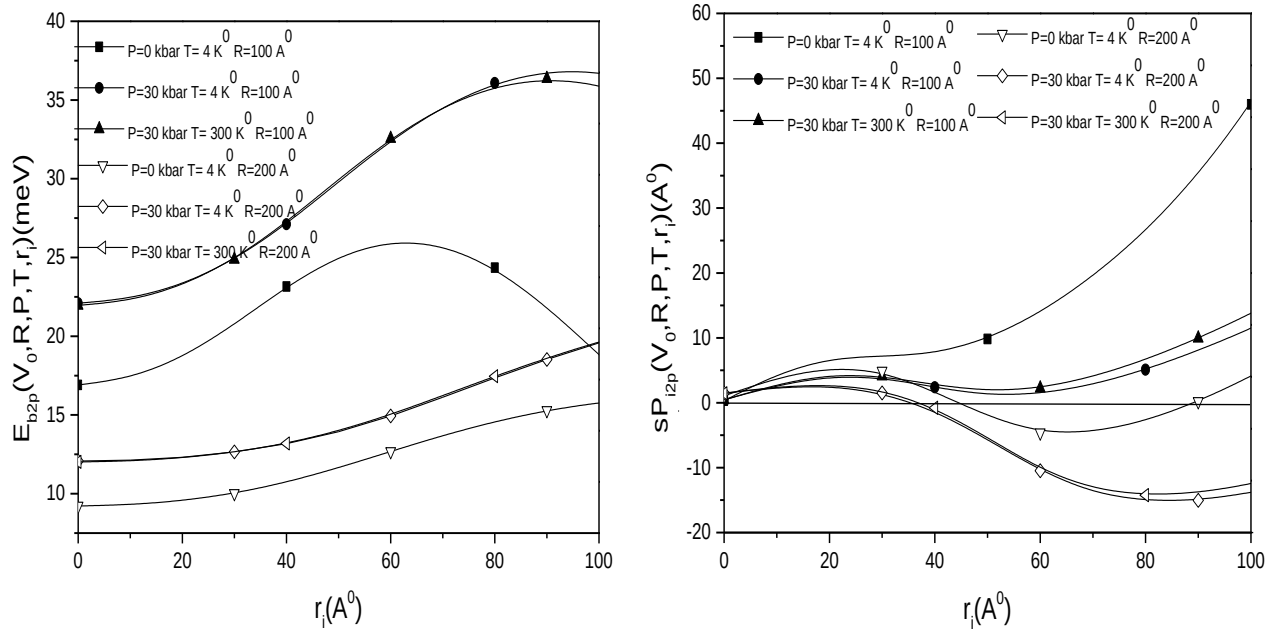
Şekil 3. (a) E_{b2p} ve (b) yabancı atom self-polarizasyonu, nokta yarıçapı $R=100\text{\AA}^0$ için sıcaklığa bağlı değişimi.

Hidrostatik basınç ve yabancı atom konum değerleri Şekil 1 ile aynıdır

Ayrıca, ($P=0\text{ kbar}$, $r_i=R/2$) değerlerindeki E_{b2p} 'nin ($P=30\text{ kbar}$, $r_i=R/4$) değerlerindeki E_{b2p} 'den küçük, ($P=0$ ve 20 kbar , $r_i=R/4$) değerlerindeki E_{b2p} 'den büyük olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3(b)'de, sıcaklık arttığında yabancı atom self-polarizasyonunun arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen yabancı atom self-polarizasyon değerleri şekil 2(b)'de gösterilen, yabancı atomun $r_i=R/4$ ve $r_i=R/2$ konumları için hidrostatik basınç arttıkça yabancı atom self-polarizasyonunun azalmasını desteklemektedir. Bunun yanında, ($P=0\text{ kbar}$, $r_i=R/4$) değerlerindeki yabancı atom self-polarizasyonunun, ($P=20\text{ kbar}$, $r_i=R/2$) değerlerindeki yabancı atom self-polarizasyonundan daha küçük ve ($P=30\text{ kbar}$, $r_i=R/2$) değerlerindeki yabancı atom self-polarizasyonundan ise daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, ($P=0\text{ kbar}$, $r_i=R/4$)'teki tuzaklama potansiyelinin ($P=20\text{ kbar}$, $r_i=R/2$)'den daha yüksek ve ($P=30\text{ kbar}$, $r_i=R/2$)'den daha düşük olduğu anlamına gelir. Ayrıca, şekil 2(b) ve 3(b) incelendiğinde hidrostatik basıncın, sıcaklıktan daha fazla yabancı atom self-polarizasyonunu değiştirdiği görülmektedir.

Şekil 4(a) ve 4(b)'de, 2p durum E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonu, farklı sıcaklıklar ($T=4\text{K}^0$ ve $T=300\text{K}^0$), hidrostatik basınç ($P=0$, $P=20\text{ kbar}$ ve $P=30\text{ kbar}$) ve nokta yarıçapı ($100\text{\AA}^0$ ve $200\text{\AA}^0$) değerleri için yabancı atom konumunun bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Şekil 4(a)'da, hidrostatik basınç $P=0$, sıcaklık $T=4\text{K}^0$ ve nokta yarıçapı $R=100\text{\AA}^0$ için, E_{b2p} 'nin yabancı atom konumunun ($r_i \approx 55\text{\AA}^0$) değerine kadar artıp bir maksimum değerine ulaştığı, sonra artan r_i ile azaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların (Mese ve ark., 2017; Mikhail ve Ismail, 2010) referanslarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Bunun yanında, nokta yarıçapı $R=100\text{\AA}^0$ için hidrostatik basınç ve sıcaklığın etkisiyle E_{b2p} 'nin arttığı ve daha büyük yabancı atom konumu değerlerinde maksimum değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Nokta yarıçapı $R=200\text{\AA}^0$ olduğunda, E_{b2p} 'nin $R=100\text{\AA}^0$ 'dan daha düşük olduğu görülmüştür. Nokta yarıçapı $R=200\text{\AA}^0$ durumunda, 2p uyarılmış durumun E_{b2p} 'nin yabancı atom konumunun artmasıyla arttığı görülmektedir. Ayrıca, ($P=0$, $T=4\text{K}^0$ ve $R=100\text{\AA}^0$) durumundaki E_{b2p} eğrisi ve ($P=30\text{ kbar}$, $T=300\text{K}^0$ ve $R=200\text{\AA}^0$) durumundaki E_{b2p} eğrisi yabancı atom konumunun yaklaşık $r_i \approx 95\text{\AA}^0$ değerinde kesişmektedir.



Şekil 4. (a) E_{b2p} ve (b) yabancı atom self-polarizasyonu, nokta yarıçapı $R=100\text{\AA}$ için yabancı atom konumuna bağlı değişimi. Hidrostatik basınç ve sıcaklık değerleri Şekil 1'dekiyle aynıdır

Şekil 4(b)'de, farklı sıcaklık, hidrostatik basınç ve nokta yarıçaplarında yabancı atom self-polarizasyonu yabancı atom konumunun bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Nokta yarıçapının artmasıyla, yabancı atom self-polarizasyonunun azaldığı görülmüştür. İlaven, hidrostatik basınç ve sıcaklığın artmasıyla yabancı atom self-polarizasyonunu azalttığı görülmüştür. Nokta yarıçapı $R=100\text{\AA}$ için, yabancı atom self-polarizasyonu her bir yabancı atom konumunda pozitif kalır(Mese, 2018). Bunun aksine, nokta yarıçapı $R=200\text{\AA}$ olduğunda, yabancı atom self-polarizasyonunun yabancı atom konumu yaklaşık $r_i \approx 45\text{\AA}$ 'dan sonra negatif olduğu görülmektedir. Ayrıca hidrostatik basınç ve sıcaklığın artmasıyla, yabancı atom self-polarizasyonunun daha küçük yabancı atom pozisyonunda negatif değere geçtiği gözlenmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada hidrostatik basınç ve sıcaklığın E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonu üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Hidrostatik basıncın artırılmasının yabancı atom self-polarizasyonunu azalttığı ve E_{b2p} 'yi artırdığı gösterilmiştir. Bunun yanında, sıcaklığın artırılması E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonunda çok az değişikliğe neden olmaktadır. Hidrostatik basıncın E_{b2p} ve yabancı atom self-polarizasyonu üzerindeki etkisinin sıcaklıktan daha belirgin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, E_{b2p} 'nin ve yabancı atom self-polarizasyonunun hidrostatik basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi yabancı atom konumuna ve nokta yarıçapına bağlıdır. İlk kez bu çalışma ile yabancı atomun farklı konumları için hidrostatik basınç ve sıcaklığa bağlı olarak küresel bir kuantum noktasındaki 2p uyarılmış durum yabancı atom self-polarizasyonu hesaplanmıştır.

Çıkar Çatışması

Makale tek yazarlı olup, yazar/yazarlar aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Akankan, O., Erdogan, I., & Akbas, H. (2006). Spatial electric field effect on the self-polarization in GaAs/AlAs square quantum-well wires. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 35(1), 217-221.
- Akbas H, Sucu S, Minez S, Dane C, Akankan O and Erdogan I, (2016). Ground state normalized binding energy of impurity in asymmetric quantum wells under hydrostatic pressure, *Superlattices and Microstructures*, 94, 131-137.
- Al EB, Kasapoglu E, Sakiroglu S, Sari H, Sökmen I, Duque CA, (2020). Binding energies and optical absorption of donor impurities in spherical quantum dot under applied magnetic field. *Physica E* 119: 114011.
- Bastard G, (1981). Hydrogenic impurity states in a quantum well: A simple model. *Physical Review B*, 24(8): 4714-4722.
- Başer, P., Altuntas, I., & Elagoz, S. (2016). The hydrostatic pressure and temperature effects on hydrogenic impurity binding energies in GaAs/In_xGa_{1-x}As/GaAs square quantum well. *Superlattices and Microstructures*, 92, 210-216.
- Bella RSD, Navaneethakrishnan K, (2004). Donor binding energies and spin-orbit coupling in a spherical quantum dot. *Solid State Communications*, 130 (11): 773-776.
- Brandi, H. S., Latgé, A., & Oliveira, L. E. (2002). Magnetic-field and laser effects on the electronic and donor states in semiconducting quantum dots. *Journal of applied physics*, 92(8), 4209-4212.
- Branis, S. V., Li, G., & Bajaj, K. K., (1993). Hydrogenic impurities in quantum wires in the presence of a magnetic field. *Physical Review B*, 47(3), 1316.
- Brown JW, Spector HN, (1986). Hydrogen impurities in quantum well wires. *Journal of Applied Physics*, 59 (4): 1179-1186.
- Bulut P, Erdogan I, Akbas H, (2014). Binding energy of 2p-bound state of a hydrogenic donor impurity in a GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot under hydrostatic pressure. *Physica E*, 63: 299 303.
- Erdogan I, Akankan O, Akbas H, (2006a). Electric and magnetic field effects on the self-polarization in GaAs/AlAs cylindrical quantum well-wires. *Physica E*, 33 (1): 83–87.
- Erdogan I, Akankan O, Akbas H, (2006b). Binding energy and self-polarization as function of energy density in GaAs/AlAs quantum well wires. *Physica E*, 35 (1): 27-32.
- Erdogan I, Akankan O, Akbas H, (2013). Simultaneous effects of temperature, hydrostatic pressure and electric field on the self-polarization and electric field polarization in a GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As spherical quantum dot with a donor impurity. *Superlattices and Microstructures*, 59: 13-20.
- Erdogan, I., Akankan, O., & Akbas, H. (2009). Effects of hydrostatic pressure on the self-polarization in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs quantum wells under the electric field. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 42(2), 136-140.
- Fraizzoli S, Bassani F, Buczko R, (1990). Shallow donor impurities in GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs quantum-well structures: Role of the dielectric-constant mismatch. *Physical Review B*, 41 (8): 5096-5103.
- Greene RL, Bajaj KK, (1985). Binding energy of the 2p₀-like level of a hydrogenic donor in GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs quantum-well structures. *Physical Review B*, 31 (6): 4006-4008.
- Hassanabadi, H., & Rajabi, A. A. (2009). Energy levels of a spherical quantum dot in a confining potential. *Physics Letters A*, 373(6), 679-681.
- Johnson NF, (1995). Quantum dots: few-body, low-dimensional systems. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 7 (1): 965-989.

- Kirak, M., Altinok, Y., & Yilmaz, S. A. İ. T. (2013). The effects of the hydrostatic pressure and temperature on binding energy and optical properties of a donor impurity in a spherical quantum dot under external electric field. *Journal of Luminescence*, 136, 415-421.
- Mese AI, Cicek E, Erdogan I, Akankan O, Akbas H, (2017). The effect of dielectric constant on binding energy and impurity self-polarization in a GaAs–Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot. *Indian Journal of Physics*, 91(3): 263-268.
- Mese, A. I. (2021). Küresel Kuantum Noktasında Hidrostatik Basınç ve Dielektrik Sabitinin 2p Uyarılmış Durum Bağlanma Enerjisi ve Yabancı Atom Self-Polarizasyonuna Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 212-220.
- Mese A. I. (2018). The Effect Of Pressure On Excited State Binding Energy, Expectation Value Of The Electron-Impurity And Impurity Self-Polarization In A Gaas-Ga_{1-x}Al_xAs Spherical Quantum Dot, *International Scientific Conference* 16-17 November 2018, Gabrovo, Bulgaria
- Mikhail IFI, Ismail IMM, (2010). Hydrogenic impurity in a quantum dot: Comparison between the variational and strong perturbation methods. *Superlattices and Microstructures*, 48: 388-400.
- Montenegro NP, Merchancano STP, (1992). Hydrogenic impurities in GaAs-(Ga,Al)As quantum dots. *Physical Review B*, 46(15): 9780-9783.
- Okan SE, Erdogan I, Akbas H, (2004). Anomalous polarization in an electric field and self-polarization in GaAs/AlAs quantum wells and quantum well wires. *Physica E*, 21 (1): 91-95.
- Özmen A, Yakar Y, Çakır B, Atav Ü, (2009). Computation of the oscillator strength and absorption coefficients for the intersubband transitions of the spherical quantum dot. *Optics Communications*, 282 (19): 3999-4004.
- Rajashabala, S., & Navaneethakrishnan, K. (2006). Effective masses for donor binding energies in quantum well systems. *Modern Physics Letters B*, 20(24), 1529-1541.
- Restrepo, R. L., Miranda, G. L., Duque, C. A., & Mora-Ramos, M. E. (2011). Simultaneous effects of hydrostatic pressure and applied electric field on the impurity-related self-polarization in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs multiple quantum wells. *Journal of luminescence*, 131(5), 1016-1021.
- Rezaei, G., & Kish, S. S. (2012). Effects of external electric and magnetic fields, hydrostatic pressure and temperature on the binding energy of a hydrogenic impurity confined in a two-dimensional quantum dot. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 45, 56-60.
- Rezaei, G., Mousavi, S., & Sadeghi, E. (2012). External electric field and hydrostatic pressure effects on the binding energy and self-polarization of an off-center hydrogenic impurity confined in a GaAs/AlGaAs square quantum well wire. *Physica B: Condensed Matter*, 407(13), 2637-2641.
- Rezaei, G., Taghizadeh, S. F., & Enshaeian, A. A. (2012). External electric field, hydrostatic pressure and temperature effects on the binding energy of an off-center hydrogenic impurity confined in a spherical Gaussian quantum dot. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 44(7-8), 1562-1566.
- Sadeghi E, (2009). Impurity binding energy of excited states in spherical quantum dot. *Physica E*, 41 (7): 1319-1322
- Sadeghi E, Rezaie GH, (2010). Effect of magnetic field on the impurity binding energy of the excited states in spherical quantum dot. *Pramana-Journal of Physics*, 75: 749-755.
- Safwan S.A., Nagwa El Meshad, Assma Saleh, Hekmat M. Hassanein, (2020). Stark shift of hydrogenic and non-hydrogenic donor impurity excited states in parabolic quantum dot: Under the effect of electric field and temperature, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 118, 113882.

- Safwan, S. A., Saleh, A., Hassanein, H. M., & El Meshed, N. (2018). Hydrostatic pressure and magnetic field effect on the excited states in inverse parabolic quantum dot. *Current Applied Physics*, 18(1), 34-39.
- Sivakami A, Gayathri V, (2013). Hydrostatic pressure and temperature dependence of dielectric mismatch effect on the impurity binding energy in a spherical quantum dot. *Superlattices and Microstructures*, 58: 218-227.
- Sucu S, Mese AI, Okan SE, (2008). The role of confinement and shape on the binding energy of an electron in a quantum dot. *Physica E*, 40 (8): 2698-2702.
- Sucu, S., Minez, S. & Erdogan, I, (2021). Self-polarization of a donor impurity for the first excited state in an Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs quantum well. *Indian J Phys* 95 1691–1695.
- Ulas, M., Erdogan, I., Cicek, E., & Dalgıç, S. S. (2005). Self polarization in GaAs–(Ga, Al) As quantum well wires: electric field and geometrical effects. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 25(4), 515-520.
- Zhu JL, Xiong JJ, Gu BL, (1990). Confined electron and hydrogenic donor states in a spherical quantum dot of GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs. *Physical Review B*, 41 (9): 6001-6007.
- Zhu, J. L., & Chen, X. (1994). Spectrum and binding of an off-center donor in a spherical quantum dot. *Physical Review B*, 50(7), 4497.