

РЕЗЮМЕ. В статье теоретически рассмотрено сверхпроводимость сверхрешеток $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4/\text{Sm}_2\text{CuO}_4$. Теоретический подход основан на расширенной модели Холстейна и биполярной модели сверхпроводимости. В частности, изучено зависимость критической температуры сверхпроводимости сверхрешетки $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4/\text{Sm}_2\text{CuO}_4$ от толщины пленки (d_f) купрата $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ или числа полуслоев $N_{\text{stc},p}$ купрата $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ в сверхрешетке. Показано, что на основе концепции Бозе-Эйнштейновской конденсации газа двухузловых биполяронов в $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ объясняется зависимость критической температуры сверхпроводимости сверхрешетки $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4/\text{Sm}_2\text{CuO}_4$ от толщины пленки (d_f) купрата $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ или числа полуслоев $N_{\text{stc},p}$ купрата $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ в сверхрешетке.

SUMMARY. In this paper, the superlattice superconductivity of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4/\text{Sm}_2\text{CuO}_4$ has been theoretically considered. Our theoretical approach is based on the extended Holstein model and the bipolaron model of superconductivity. In particular, the dependence of the $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4/\text{Sm}_2\text{CuO}_4$ superlattice superconducting critical temperature T_c on the thickness (d_f) of the $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ film in the superlattice or the number of $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ half-layers $N_{\text{stc},p}$ in the superlattice was studied. Based on the principle of Bose-Einstein condensation of two-node bipolaron gas in $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$, it was shown that it is possible to explain the dependence of critical temperature T_c on the $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ film thickness (d_f) in the superlattice or the number of $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ half-layers $N_{\text{stc},p}$ in the superlattice.

TENZORDÍN FIZIKADA QOLLANÍLÍWÍ

S.A.Tanirbergenov – fizika-matematika ilimleriniñ kandidati, docent

D.A.Reymova – magistrant

Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámleketlik pedagogikalıq instituti

Tayanch soʻzlar: skalyar, invariant, vektor, jism, inerciya markazi, chiziqli tezlik, integral.

Ключевые слова: скаляр, инвариант, вектор, фигура, центр инерции, линейная скорость, интеграл.

Key words: scalar, invariant, vector, figure, center of inertia, linear velocity, integral.

Sonday fizikalıq processler bar, olardaǵı tekserilip atırǵan obyektin xarakteristikaları tenzor túsiniǵe alıp keledi. Belgili bolǵanıday obyektin xarakteristikası invariantlıq qásiyetke iye bolıwı kerek, yaǵnıy koordinatalar sistemasın tańlawǵa baylanıslı bolmawı lazım [1]. Fizikadaǵı skalyar shamalar qatarına kiriwshi massa, zaryad hám t.b. lar invariantlıǵı óz-ózinnen belgili. Tezlik, tezleniw sıyaqlı shamalar vektor ólshemler bolıp, koordinata sistemasına salıstırmalı úshlik san arqalı beriledi hám bul sanlar koordinatalardı burıwda

$$\vec{e}_k' = \alpha_k^m \vec{e}_m \text{ hám } \vec{e}_k = \beta_k^m \vec{e}_m'$$

nızamlar boyınsha ózgeredi. Bul shamalardıń invariantlıǵı sol menen ańlatıladı vektor koordinataları ózgergeni menen vektor kórsetkishke iye bolǵan kesindi ózgermes boladı.

Fizikada skalyar hám vektor shamalardan tısqari qıyınıraqlı bolǵan obyektler de ushıraydı. Mısal sıpatında aylanba háraket qılıp atırǵan D denenin kinetikalıq energiyasın esaplawdı kóreyik.

O noqatqa (inerciya orayını) bekkemlengen D dene usı noqat dógereginde aylanatuǵın bolsın. Bul noqatı koordinata bası dep alamız. Denege tiyisli qanday da bir M noqat alınadı. Usı noqatın radius-vektorın $\vec{r}$ dep belgileyміз. Denenin M noqatı $\vec{\omega}$ múyeshlik tezlik penen aylanıp atıǵan bolsın. Mexanikadan bizge belgili, usı noqatın $\vec{v}$ sıziqlıq tezligi menen múyeshlik tezligi arasındaǵı baylanıstı bildiretuǵın

$$\vec{v} = [\vec{\omega}, \vec{r}]$$

formula bar. Eger denenin massası m bolsa, onda M noqatın kishi dógeregindegi kinetikalıq energiyası

$$dT = \frac{1}{2} \vec{v}^2 dm$$

formula arqalı anıqlanadı. Sonda D denenin tolıq kinetikalıq energiyası

$$T = \frac{1}{2} \int_D [\vec{\omega}, \vec{r}]^2 dm \quad (1)$$

(1) túrindegi kólemlik integraldın mánisine teń boladı [2]. Bul jerdegi D dene bolǵanlıqtan formuladaǵı integral úshlik integral boladı.

Integral astındaǵı $[\vec{\omega}, \vec{r}]^2$ ańlatpanın mánisi tómendegi formula menen anıqlanıwı vektorlar algebrasınan belgili.

$$[\vec{\omega}, \vec{r}]^2 = \vec{\omega}^2 \vec{r}^2 - (\vec{\omega}, \vec{r})^2. \quad (2)$$

Meyli, koordinata basına qoyılǵan qozǵalmas bazis $B = \{\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3\}$ bolsın. $\vec{r}$ hám $\vec{\omega}$ vektorlardın usı bazistegi jayılmawın mına túrde jazamız:

$$\vec{\omega} = \omega^i \vec{e}_i, \quad \vec{r} = x^i \vec{e}_i.$$

Sonda $\vec{\omega}^2, \vec{r}^2, (\vec{\omega}, \vec{r})$ ańlatpalardıń mánisleri tómendegi túrde jazıladı:

$$\vec{\omega}^2 = \vec{\omega} \vec{\omega} = \omega^i \vec{e}_i \omega^j \vec{e}_j = \omega^i \omega^j (\vec{e}_i \vec{e}_j) = \omega^i \omega^j \delta_{ij},$$

$$\vec{r}^2 = \vec{r} \vec{r} = (x^k \vec{e}_k)(x^m \vec{e}_m) = x^k x^m (\vec{e}_k \vec{e}_m) = x^k x^m \delta_{km},$$

$$(\vec{\omega}, \vec{r}) = (\omega^s \vec{e}_s, x^l \vec{e}_l) = \omega^s x^l (\vec{e}_s, \vec{e}_l) = \omega^s x^l \delta_{sl}.$$

Usı teńliklerden paydalanıp, (2) teńlikni mına túrde ózgerтип jazamız.

$$\begin{aligned} [\vec{\omega}, \vec{r}]^2 &= (\omega^i \omega^j \delta_{ij})(x^k x^q \delta_{kq}) - (\omega^i x^k \delta_{ik})(\omega^j x^q \delta_{jq}) = \\ &= \omega^i \omega^j x^k x^q (\delta_{ij} \delta_{kq}) - \omega^i \omega^j x^k x^q (\delta_{ik} \delta_{jq}) = \\ &= (\delta_{ij} \delta_{kq} - \delta_{ik} \delta_{jq}) \omega^i \omega^j x^k x^q. \end{aligned}$$

Usı tabılǵan ańlatpanı (1) formulaǵa aparıp qoysaq,

$$T = \frac{1}{2} \int_D (\delta_{ij} \delta_{kq} - \delta_{ik} \delta_{jq}) \omega^i \omega^j x^k x^q dm \quad (3)$$

teńlikke iye bolınadı.

Bul jerde denenin M noqatı ózgermeli bolǵanlıqtan onıń $\vec{r}$ radius-vektorı ózgeriwshi, al $\vec{\omega}$ vektorlardın koordinataları turaqlı boladı. Sonda, (3) integral belgisiniń astında turǵan turaqlı sanlardı sırtqa shıǵarıp jazıwǵa boladı.

$$T = \frac{1}{2} (\delta_{ij} \delta_{kq} - \delta_{ik} \delta_{jq}) \omega^i \omega^j \int_D x^k x^q dm \quad (4)$$

Usı (4) ańlatpa $\vec{r}$ vektordın x^m koordinatalarına baylanıslı emes. Sebebi, integral usı koordinatalar boyınsha alınadı. Sonın ushın denenin tolıq T kinetikalıq energiyası $\vec{\omega}$ vektordın ω^i koordinatalarına baylanıslı boladı. Kinetikalıq energiya usı vektordın koordinatalarına qarata kvadratlıq forma boladı. Usı kvadratlıq formanıń koefficientlerin I_{ij} dep belgilesek, onda (4) formula tómendegi túrde jazıladı.

$$T = \frac{1}{2} I_{ij} \omega^i \omega^j.$$

Bul jerde,

$$I_{ij} = (\delta_{ij}\delta_{kq} - \delta_{ik}\delta_{jq}) \int_D x^k x^q dm. \quad (5)$$

(5) ańlatpadaǵı δ_{ij} lar tenzordı dúzgenlikten I_{ij} ańlatpanıń ózi de tenzor boladı. Usı tenzor D deneniń inerciya tenzori dep ataladı.

1⁰. Deneniń inerciya tenzori simmetriyalı tenzor boladı.

Dálillew. Inerciya tenzorında qatnasıp atırǵan δ_{ij} ushın

$$\delta_{ij} = (\vec{e}_i, \vec{e}_j) = (\vec{e}_j, \vec{e}_i) = \delta_{ji}$$

shárt orınlı. Usınnan paydalanıp $I_{ij} = I_{ji}$ ekenligin kórsetemiz.

$$\begin{aligned} I_{ji} &= (\delta_{ji}\delta_{kq} - \delta_{jk}\delta_{iq}) \int_D x^k x^q dm = \\ &= (\delta_{ij}\delta_{qk} - \delta_{jk}\delta_{iq}) \int_D x^k x^q dm \end{aligned} \quad (6)$$

Bul teńlikte qatnasıp atırǵan k hám q lar qosındılav indeksleri bolǵanlıqtan olardıń orınların bir-biri menen alıstırǵanımız benen qosındınıń mánisi ózgermeydi. Usını esapqa alıp, (6) teńlikti tómendegi túrde ózgerтип jazamız.

$$\begin{aligned} I_{ji} &= (\delta_{ij}\delta_{kq} - \delta_{jq}\delta_{ik}) \int_D x^q x^k dm = \\ &= (\delta_{ij}\delta_{kq} - \delta_{ik}\delta_{jq}) \int_D x^k x^q dm = I_{ij} \end{aligned}$$

Demek, eki valentli inerciya tenzordıń qálegen komponentlarındaǵı kovariant indeksleriniń orınların alıstırǵanımız benen olar ózgermeydi eken.

Inerciya tenzorınıń komponentaların ańıqlayıq:

$$I_{11} = (\delta_{11}\delta_{kq} - \delta_{1k}\delta_{1q}) \int_D x^k x^q dm.$$

Bul ańlatpa k hám q indeksler boyınsha qosındılav turıptı, yaǵnıy eki ret qosındı qatnasıp atır. Bul jerde Kroneker belgisiniń qasiyetinen paydalanatuǵın bolsaq, I_{11} ańlatpada indekslerdiń $k \neq q$ bolǵan barlıq mánislerinde qosındınıń elementleri nolge teń bolıp, tek $k=q$ bolǵan jaǵday qaladı. Sonda, $\delta_{kk}=1$ ekenligin itibargá alsaq, I_{11} komponenttiń mánisi mına túrde ańıqlanadı:

$$\begin{aligned} I_{11} &= (\delta_{11}\delta_{kk} - \delta_{1k}\delta_{1k}) \int_D x^k x^k dm = (\delta_{11}\delta_{11} - \delta_{11}\delta_{11}) \int_D x^1 x^1 dm + \\ &+ (\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}\delta_{12}) \int_D x^2 x^2 dm + (\delta_{11}\delta_{33} - \delta_{13}\delta_{13}) \int_D x^3 x^3 dm = \\ &= \int_D x^2 x^2 dm + \int_D x^3 x^3 dm = \int_D [(x^2)^2 + (x^3)^2] dm. \end{aligned}$$

Inerciya tenzorınıń basqa komponentlarında tap usı sıyaqlı tabıladı:

Ádebiyatlar

1. Sokolnikov I.S. Tenzornıy analiz. -M.: «Nauka» 1971, 375-b.

2. Mallin R.X. Maydon nazariyasi. -Toshkent: «O'qituvchi», 1965.

РЕЗЮМЕ. Мақоллада тензорларнинг физикада қўлланилиши ҳақида масала кўриб чиқилган. Бу yerda jismning inersiya tenzorining xossasi va uning komponentlari haqida ma'lumot berilgan.

РЕЗЮМЕ. В статье подробно рассматривается применение тензоров в физике. Здесь приведена информация о свойствах тензора инерции тела и его компонентах.

SUMMARY. The article discusses in detail the application of tensors in physics. Here is information about the properties of the body's inertia tensor and its components.

$$\begin{aligned} I_{22} &= (\delta_{22}\delta_{kq} - \delta_{2k}\delta_{2q}) \int_D x^k x^q dm = \\ &= (\delta_{22}\delta_{1q} - \delta_{21}\delta_{2q}) \int_D x^1 x^q dm + \\ &+ (\delta_{22}\delta_{2q} - \delta_{22}\delta_{2q}) \int_D x^2 x^q dm + \\ &+ (\delta_{22}\delta_{3q} - \delta_{23}\delta_{2q}) \int_D x^3 x^q dm = \delta_{22}\delta_{1q} \int_D x^1 x^q dm + \\ &+ \delta_{22}\delta_{3q} \int_D x^3 x^q dm = \int_D x^1 x^1 dm + \int_D x^3 x^3 dm = \\ &= \int_D [(x^1)^2 + (x^3)^2] dm. \\ I_{33} &= (\delta_{33}\delta_{kq} - \delta_{3k}\delta_{3q}) \int_D x^k x^q dm = \\ &= (\delta_{33}\delta_{1q} - \delta_{31}\delta_{3q}) \int_D x^1 x^q dm + \\ &+ (\delta_{33}\delta_{2q} - \delta_{32}\delta_{3q}) \int_D x^2 x^q dm + \\ &+ (\delta_{33}\delta_{3q} - \delta_{33}\delta_{3q}) \int_D x^3 x^q dm + \delta_{33}\delta_{1q} \int_D x^1 x^q dm + \\ &+ \delta_{33}\delta_{2q} \int_D x^2 x^q dm = \int_D x^1 x^1 dm + \int_D x^2 x^2 dm = \\ &= \int_D [(x^1)^2 + (x^2)^2] dm. \\ I_{12} &= (\delta_{12}\delta_{kq} - \delta_{1k}\delta_{2q}) \int_D x^k x^q dm = -\delta_{1k}\delta_{2q} \int_D x^k x^q dm = \\ &= -\delta_{11}\delta_{2q} \int_D x^1 x^q dm = -\delta_{11}\delta_{22} \int_D x^1 x^2 dm = -\int_D x^1 x^2 dm. \\ I_{13} &= (\delta_{13}\delta_{kq} - \delta_{1k}\delta_{3q}) \int_D x^k x^q dm = -\delta_{1k}\delta_{3q} \int_D x^k x^q dm = \\ &= -\delta_{11}\delta_{3q} \int_D x^1 x^q dm = -\delta_{11}\delta_{33} \int_D x^1 x^3 dm = -\int_D x^1 x^3 dm. \\ I_{23} &= (\delta_{23}\delta_{kq} - \delta_{2k}\delta_{3q}) \int_D x^k x^q dm = -\delta_{2k}\delta_{3q} \int_D x^k x^q dm = \\ &= -\delta_{22}\delta_{3q} \int_D x^2 x^q dm = -\delta_{22}\delta_{33} \int_D x^2 x^3 dm = -\int_D x^2 x^3 dm. \end{aligned}$$

Bul jerdegi I_{ij} tenzor simmetriyalı bolǵanlıqtan onıń qalǵan komponentaları mına kóriniske keledi:

$$\begin{aligned} I_{21} &= I_{12} = -\int_D x^1 x^2 dm, & I_{31} &= I_{13} = -\int_D x^1 x^3 dm, \\ I_{32} &= I_{23} = -\int_D x^2 x^3 dm. \end{aligned}$$

Inerciya tenzori ushın ańıqlanǵan I_{11} , I_{22} , I_{33} shamalar (D) deneniń saykes Ox, Oy, Oz kósherlerine qarata inerciya momentleri boladı. Sonıń menen birge I_{12} , I_{23} , I_{31} shamalar inerciyanıń polyar momenti dep aytıladı.