УДК 539.14

А. Т. ЖАҚСЫБЕКОВ, Б. А. ОРАЗБЕКОВ, С. К. САХИЕВ

(Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан)

^{9}BE ЯДРОСЫНЫҢ КЕЙБІР ЭЛЕКТРОСТАТИСТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Аннотация. Жұмыста ^{9}Be ядросының кейбір электростатистикалық қасиеттері: орташа квадраттық зарядтық радиусы мен квадрупольдік моменті үш бөлшекті үлгісінде (сурет) аналитикалық өрнектері қорытып шығарылды. Ол үшін сәйкесінше бір бөлшекті үлгідегі операторларының негізгі формулалары Якоби координаталары арқылы түрлендірілді. Үш бөлшекті үлгісінде алынған нәтижелер жуықтау амалдарынан гөрі аналитикалық түрінде дәл жеткізетіні көрсетілген.

Тірек сөздер: ^{9}Be ядросы, үш бөлшекті модель, Якоби координаталары, аналитикалық өрнек.

Ключевые слова: ядро ^{9}Be, трехчастичная модель, координаты Якоби, аналитическое выражение.

Keywords: ^{9}Be nucleus, the three-cluster model, Jacobi coordinates, the analytic expression.

Заманауи материалдарды әзірлеу және оларды қолдану бағытында ^{9}Be ядросы негізгі құрылымдық элементтердің бірі болып табылады. Себебі қазіргі уақытқа белгілі барлық материалдардың ішінде бериллий нейтрондарды өте жақсы баяулатушыларының бірі. Сонымен қоса бериллий нейтрондарды шағылтқыш қасиетіне ие, яғни олардың бағытын өзгерте алады, реактордың белсенді зонасына нейтрондарды қайтаруда маңызды рөл атқарады және оларды ағып кетуден сақтайды. Бериллийден жасалған шағылтқыштар мен баяулатқыштар реактордың белсенді зонасын шағын етуге мүмкіндік береді, жұмыс температурасын арттыруға және ядролық отынды тиімді пайдалануда қолданылады. Сондықтан бериллий ядросының қымбаттылығына қарамастан, оның қолданылуы экономикалық тұрғыдан ақталған болып есептеледі.

Осы уақытқа дейін тәжірибелерде анықталған әртүрлі ауытқуларды түсіндіру үшін көп талпыныс жасалған. Бұл тәжірибелерде әртүрлі үлгілер қолданылды: қабыршақты, кластерлік, сонымен қатар, күшті және әлсіз [1-3]. Мысалы, 1970 жылдары ^{9}Be құрылымына адиабаталық мультикластерлі үлгі аясында бірнеше зерттеулер жүргізілді, соның ішінде электромагниттік қасиеті де бар [4, 5]. Дегенімен есептеулерде нуклон-нуклондық әсерлесулер қиындықтар туғызады, осы себепті қосымша шамаларды енгізуге тура келеді. Адиабаталық сипатты мұндай үлгілер жеңіл және ауыр бөлшектерден құралған жүйелерде ғана қолданылады. Көптеген жеңіл ядроларға адиабаталық жақындау орындалмайды.

Орташа-квадраттық зарядтық радиус. Негізгі күйдегі ядроның орташа-квадраттық зарядтық радиусы мынадай формуламен өрнектеледі [6]:

$$\left\langle \mathbf{R}^2_{заряд} \right\rangle = \frac{1}{Z|e|} \int \mathbf{r}^2 \rho_{заряд}(\mathbf{r})\, d\mathbf{r}, \tag{1}$$

ал оның тығыздығы мынадай

$$\rho_{заряд}(\mathbf{r}) = \left\langle \Psi^{tot}_{JM_J} \left| \sum_{k=1}^{A} \hat{e}_k \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_k) \right| \Psi^{tot}_{JM_J} \right\rangle. \tag{2}$$

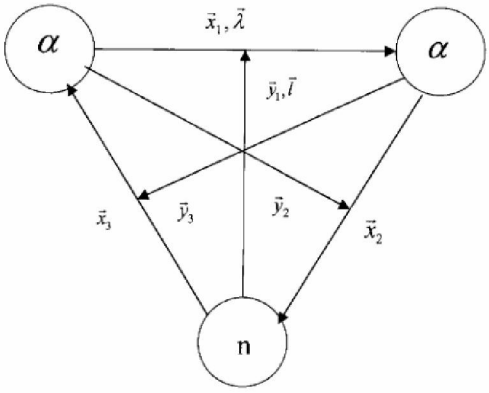
$\hat{e}_k$ – кез келген заряды бар бөлшекке әсер ететін оператор.

Якоби координаталарына көшетін болсақ

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{R}_{...}(i) + \mathbf{r}_k(i), \tag{3}$$

мұндағы $\mathbf{R}_{...}(i)$ – масса центрінен i-ші бөлшекке дейінгі қашықтық; $\mathbf{r}_k$ – масса центрінен әрбір нуклонға дейінгі қашықтық; $\mathbf{r}_k(i)$ – i-ші бөлшек центрінен нуклондарға дейінгі қашықтық.

$$i = 1 \ (k = 1...4), \qquad i = 2 \ (k = 5...8)$$



Якоби координаталарын ішкі жиынтықтары

$$\mathbf{R}_{м.ц.}(1) = -\frac{1}{2}\mathbf{x}_1 + \frac{1}{9}\mathbf{y}_1; \quad \mathbf{R}_{м.ц.}(2) = \frac{1}{2}\mathbf{x}_1 + \frac{1}{9}\mathbf{y}_1; \tag{4}$$

(1) өрнекті (2) теңдеуіне қоятын болсақ, онда мынадай өрнекті аламыз:

$$\left\langle \mathbf{R}_{ch}^2 \right\rangle = \frac{1}{Z|e|}\left\langle \Psi_{JM_j}^{tot} \left| \sum_{k=1}^{9} \hat{e}_k \mathbf{r}_k^2 \right| \Psi_{JM_j}^{tot} \right\rangle. \tag{5}$$

Ендеше жоғарыдағы теңдеуді үш бөлшекті үлгісінде жазайық:

$$\sum_{k=1}^{9} \hat{e}_k \mathbf{r}_k^2 = \sum_{k=1}^{4} \hat{e}_k (\mathbf{R}_{м.ц.}(1) + \mathbf{r}_k(1))^2 + \sum_{k=5}^{8} \hat{e}_k (\mathbf{R}_{м.ц.}(2) + \mathbf{r}_k(2))^2 + \hat{e}_k^2 \mathbf{r}_9^2.$$

Толқындық функцияның жалпы түрі мынадай

$$\Psi_{JM_j}^{tot} = \varphi_{J_\alpha = T_\alpha = 0}(\alpha_1)\varphi_{J_\alpha = T_\alpha = 0}(\alpha_2)\varphi_n(9)\Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1), \tag{6}$$

мұндағы

$$\Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) = \sum_{ij} C_{ij} x_1^{\lambda} \cdot y_1^{\ell} \cdot e^{-\alpha_i x_1 - \beta_j y_1} \cdot F_{LS}^{JM_j}(\hat{x}_1, \hat{y}_1)$$

$$F_{LS}^{JM_j}(\hat{x}_1, \hat{y}_1) = \sum_{M_L M_S} C_{LM_L SM_S}^{JM_J} C_{\lambda\mu\ell m}^{LM_L} Y_{\lambda\mu}(\hat{x}) \cdot Y_{\ell m}(\hat{x}) \cdot \chi_{\frac{1}{2}M_S}(n) \tag{7}$$

салыстырмалы қозғалыстың толқындық функциясы.

$$\left\langle \Psi_{JM_j}^{tot} \left| \sum_{k=1}^{4} \hat{e}_k (\mathbf{R}_{м.ц.}(1) + \mathbf{r}_k(1))^2 \right| \Psi_{JM_j}^{tot} \right\rangle = \left\langle \Psi_{JM_j}^{tot} \left| \sum_{k=1}^{4} \hat{e}_k (\mathbf{R}_{м.ц.}^2(1) + \mathbf{r}_k^2(1) + 2\mathbf{R}_{м.ц.}(1) \cdot \mathbf{r}_k(1)) \right| \Psi_{JM_j}^{tot} \right\rangle =$$

$$= \left\langle \varphi_{J_\alpha = T_\alpha = 0}(\alpha_1) \left| \sum_{k=1}^{4} \hat{e}_k \right| \varphi_{J_\alpha = T_\alpha = 0}(\alpha_1) \right\rangle \cdot \left\langle \Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \left| \mathbf{R}_{м.ц.}^2(1) \right| \Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \right\rangle + \tag{8}$$

$$+ \left\langle \varphi_{J_\alpha = T_\alpha = 0}(\alpha_1) \left| \sum_{k=1}^{4} \hat{e}_k \mathbf{r}_k^2(1) \right| \varphi_{J_\alpha = T_\alpha = 0}(\alpha_1) \right\rangle.$$

1) $\left\langle \Psi_{JM_j}^{tot} \left| \sum_{k=1}^{4} \hat{e}_k \mathbf{r}_k^2 \right| \Psi_{JM_j}^{tot} \right\rangle = Z_{\alpha_1} |e| [\langle \mathbf{R}_{м.ц.}^2(1) \rangle + \langle \mathbf{R}_{заряд}^2(1) \rangle],$

2) $\left\langle \Psi_{JM_j}^{tot} \left| \sum_{k=5}^{8} \hat{e}_k \mathbf{r}_k^2 \right| \Psi_{JM_j}^{tot} \right\rangle = Z_{\alpha_2} |e| [\langle \mathbf{R}_{м.ц.}^2(2) \rangle + \langle \mathbf{R}_{заряд}^2(2) \rangle],$

3) $\left\langle \Psi_{JM_j}^{tot} \left| \sum_{k=5}^{8} \hat{e}_k \mathbf{r}_9^2 \right| \Psi_{JM_j}^{tot} \right\rangle = 0.$

мұндағы бірінші және екінші α бөлшек үшін, ал үшінші бөлшек нейтронның заряды жоқ болғандықтан нөлге тең.

$$\left\langle \mathbf{R}^2_{заряд} \right\rangle = \frac{1}{Z}\left[Z_{\alpha_1}[\left\langle \mathbf{R}^2_{м.ц.}(1)\right\rangle + \left\langle \mathbf{R}^2_{заряд}(1)\right\rangle] + Z_{\alpha_2}[\left\langle \mathbf{R}^2_{м.ц.}(2)\right\rangle + \left\langle \mathbf{R}^2_{заряд}(2)\right\rangle]\right] \tag{9}$$

мұндағы $Z_{\alpha_1} = Z_{\alpha_2} = Z_\alpha$.

(4) өрнекті (9) қоятын болсақ, әрбір альфа бөлшек үшін

$$\left\langle \mathbf{R}^2_{м.ц.}(1)\right\rangle = \frac{1}{4}\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle + \frac{1}{81}\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle + \frac{1}{9}\left\langle \mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1\right\rangle \qquad \left\langle \mathbf{R}^2_{м.ц.}(2)\right\rangle = \frac{1}{4}\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle + \frac{1}{81}\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle + \frac{1}{9}\left\langle \mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1\right\rangle,$$

ал жалпы өрнек

$$\left\langle \mathbf{R}^2_{заряд} \right\rangle = \frac{2Z_\alpha}{Z}\left[\left\langle \mathbf{R}^2_{заряд}(\alpha)\right\rangle + \frac{1}{4}\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle + \frac{1}{81}\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle \right] \tag{10}$$

болады.

Енді әрбір $\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle$ және $\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle$ орташа квадраттық мәндері үшін

$$\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle : \left\langle \Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \middle| \mathbf{x}_1^2 \middle| \Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1)\right\rangle = \sum_{ij}\sum_{i'j'} C_{ij}C_{i'j'} \cdot I(x_1^{2(\lambda+2)}, \alpha_{ii'}) \cdot I(y_1^{2(\ell+1)}, \beta_{jj'})$$

$$\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle : \left\langle \Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \middle| \mathbf{y}_1^2 \middle| \Psi_{JM_j}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1)\right\rangle = \sum_{ij}\sum_{i'j'} C_{ij}C_{i'j'} \cdot I(x_1^{2(\lambda+1)}, \alpha_{ii'}) \cdot I(y_1^{2(\ell+2)}, \beta_{jj'})$$

$$\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle = \sum_{ij}\sum_{i'j'} C_{ij}C_{i'j'}(-1)^{\lambda+2}\frac{(2(\lambda+2)-1)!!\sqrt{\pi}}{2^{\lambda+3}\alpha_{ii'}^{\lambda+\frac{5}{2}}} \cdot (-1)^{\ell+1}\frac{(2(\ell+1)-1)!!\sqrt{\pi}}{2^{\ell+2}\beta_{jj'}^{\ell+\frac{3}{2}}};$$

$$\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle = \sum_{ij}\sum_{i'j'} C_{ij}C_{i'j'}(-1)^{\lambda+1}\frac{(2(\lambda+1)-1)!!\sqrt{\pi}}{2^{\lambda+2}\alpha_{ii'}^{\lambda+\frac{3}{2}}} \cdot (-1)^{\ell+2}\frac{(2(\ell+2)-1)!!\sqrt{\pi}}{2^{\ell+3}\beta_{jj'}^{\ell+\frac{5}{2}}},$$

мұндағы $I(x^{2n}, \alpha) = \int_0^\infty x^{2n} \cdot e^{-\alpha x^2} dx = (-1)^n \frac{(2n+1)!!\sqrt{\pi}}{2^{n+1}\alpha^{n+\frac{1}{2}}}$.

$\left\langle \mathbf{x}_1^2\right\rangle$ және $\left\langle \mathbf{y}_1^2\right\rangle$ орташа квадраттық мәндерін (10) формулаға қоятын болсақ, орташа квадраттық зарядтық радиустың өрнегін аламыз:

$$\left\langle \mathbf{R}^2_{заряд} \right\rangle = \frac{2Z_\alpha}{Z}\left[\left\langle \mathbf{R}^2_{заряд}(\alpha)\right\rangle + \frac{\pi}{32}\sum_{ij}\sum_{i'j'} C_{ij}C_{i'j'} \frac{(2\lambda+1)!!(2l+1)!!}{2^{\lambda+l}\alpha_{ii'}^{\lambda+3/2}\beta_{jj'}^{l+3/2}}\left(\frac{2\lambda+3}{4\alpha_{ii'}} + \frac{2l+3}{81\beta_{jj'}}\right)\right] \tag{11}$$

Квадрупольдік момент. Квадрупольдік момент мына формуламен өрнектеледі [6]:

$$Q = \sqrt{\frac{16\pi}{5}}\frac{1}{|e|}\left\langle \Psi^{tot}_{JM_J=J} \middle| \sum_{k=1}^{A} \hat{e}_k \mathcal{Y}_{20}(\mathbf{r}_k) \middle| \Psi^{tot}_{JM_J=J}\right\rangle \tag{12}$$

мұндағы

$$\mathcal{Y}_{20}(\mathbf{r}_k) = r_k^2 Y_{20}(\hat{r}_k)$$

қарапайым сфералық гармоника. Біздің қарастырып отырған үлгімізде төмендегідей ықшамдап жазамыз

$$\sum_{k=1}^{9}\hat{e}_k\mathcal{Y}_{20}(\mathbf{r}_k) = \sum_{k=1}^{4}\hat{e}_k\mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(\alpha_1) + \mathbf{r}_{k(1)}\right) + \sum_{k=5}^{8}\hat{e}_k\mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(\alpha_2) + \mathbf{r}_{k(2)}\right) + \hat{e}_9\mathcal{Y}_{20}(\mathbf{r}_9) \tag{13}$$

және Якоби координаталарын (3) пайдаланып мына өрнекті аламыз:

$$\mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(\alpha) + \mathbf{r}_k\right) = \sum_{f_1, m_{f_1}, f_2, m_{f_2}} C^{20}_{f_1 m_{f_1} f_2 m_{f_2}} \cdot \delta_{f_1+f_2,2}\sqrt{\frac{4\pi \cdot 5!}{(2f_1+1)!(2f_2+1)!}}\mathcal{Y}_{f_1 m_{f_1}}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}\right)\mathcal{Y}_{f_2 m_{f_2}}(\mathbf{r}_k). \tag{14}$$

Вигнер – Эккарт теоремасы бойынша:

$$f_2 = m_{f_2} = 0, \quad f_1 = 2, \quad m_{f_1} = 0$$

Квадрупольдік моменттің орташа мәнін анықтап, ашып жазамыз

$$\left\langle \Psi^{tot}_{JM_j=J} \left| \sum_{k=1}^{9} \hat{e}_k r_k^2 Y_{20}(\hat{r}_k) \right| \Psi^{tot}_{JM_j=J} \right\rangle = Z_{\alpha_1} |e| \left\langle \Psi_{JJ}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \middle| \mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(\alpha_1)\right) \middle| \Psi_{JJ}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \right\rangle +$$

$$Z_{\alpha_2} |e| \left\langle \Psi_{JJ}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \middle| \mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(\alpha_2)\right) \middle| \Psi_{JJ}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \right\rangle = |e| \sum_{i=1}^{2} z_i \left\langle \mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(\alpha_i)\right) \right\rangle \tag{15}$$

мұндағы $Z_\alpha = Z_1 = Z_2$

$$\mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(1)\right) + \mathcal{Y}_{20}\left(\mathbf{R}_{м.ц.}(2)\right) = \mathcal{Y}_{20}\left(a\mathbf{x}_1 + b\mathbf{y}_1\right) + \mathcal{Y}_{20}\left(-a\mathbf{x}_1 + b\mathbf{y}_1\right). \tag{16}$$

(4)-ті (16)- ға қоятын болсақ, және a=1/2 және b=1/2 деп алсақ:

$$\left\langle \Psi^{tot}_{JM_j=J} \left| \sum_{k=1}^{9} \hat{e}_k r_k^2 Y_{20}(\hat{r}_k) \right| \Psi^{tot}_{JM_j=J} \right\rangle = Z_\alpha [\left\langle \mathcal{Y}_{20}\left(a\mathbf{x}_1 + b\mathbf{y}_1\right) \right\rangle + \left\langle \mathcal{Y}_{20}\left(-a\mathbf{x}_1 + b\mathbf{y}_1\right) \right\rangle] \tag{17}$$

(14) қолданып (16)-ны ашып жазуға болады

$$\mathcal{Y}_{20}\left(\pm a\mathbf{x}_1 + b\mathbf{y}_1\right) = \sum_{\varepsilon_1, m_{\varepsilon_1}, \varepsilon_2, m_{\varepsilon_2}} C^{20}_{\varepsilon_1 m_{\varepsilon_1} \varepsilon_2 m_{\varepsilon_2}} \cdot \delta_{\varepsilon_1+\varepsilon_2,2} \sqrt{\frac{4\pi \cdot 5!}{(2\varepsilon_1+1)!(2\varepsilon_2+1)!}} (\pm a\mathbf{x}_1)^{\varepsilon_1} \cdot (b\mathbf{y}_1)^{\varepsilon_2} \cdot Y_{\varepsilon_1 m_{\varepsilon_1}}(\hat{x}) \cdot Y_{\varepsilon_2 m_{\varepsilon_2}}(\hat{y}) =$$

$$= \sum_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} \delta_{\varepsilon_1+\varepsilon_2,2} \cdot \sqrt{\frac{4\pi \cdot 5!}{(2\varepsilon_1+1)!(2\varepsilon_2+1)!}} (\pm a\mathbf{x}_1)^{\varepsilon_1} \cdot (b\mathbf{y}_1)^{\varepsilon_2} \cdot \sum_{m_{\varepsilon_1}, m_{\varepsilon_2}} C^{20}_{\varepsilon_1 m_{\varepsilon_1} \varepsilon_2 m_{\varepsilon_2}} \cdot Y_{\varepsilon_1 m_{\varepsilon_1}}(\hat{x}) \cdot Y_{\varepsilon_2 m_{\varepsilon_2}}(\hat{y}) =$$

$$= \sum_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} \delta_{\varepsilon_1+\varepsilon_2,2} \cdot \sqrt{\frac{4\pi \cdot 5!}{(2\varepsilon_1+1)!(2\varepsilon_2+1)!}} (\pm a\mathbf{x}_1)^{\varepsilon_1} \cdot (b\mathbf{y}_1)^{\varepsilon_2} \cdot [Y_{\varepsilon_1}(\hat{x}) \otimes Y_{\varepsilon_2}(\hat{y})]^2,$$

мұндағы

$$\sum_{m_{\varepsilon_1}, m_{\varepsilon_2}} C^{20}_{\varepsilon_1 m_{\varepsilon_1} \varepsilon_2 m_{\varepsilon_2}} \cdot Y_{f_1 m_{f_1}}(\hat{x}) \cdot Y_{f_2 m_{f2}}(\hat{y}) = [Y_{\varepsilon_1}(\hat{x}) \otimes Y_{\varepsilon_2}(\hat{y})]^2.$$

$$\left\langle \Psi_{JJ}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \middle| \mathcal{Y}_{20}\left(\pm a\mathbf{x}_1 + b\mathbf{y}_1\right) \middle| \Psi_{JJ}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1) \right\rangle =$$

$$\sqrt{4\pi \cdot 5!} \sum_j C_j C_{j'} \sum_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} \delta_{\varepsilon_1+\varepsilon_2,2} \cdot \left(\pm\frac{1}{2}\right)^{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{1}{9}\right)^{\varepsilon_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2\varepsilon_1+1)!(2\varepsilon_2+1)!}} \cdot \int x_1^{\lambda+\lambda'+\varepsilon_1+2} \cdot e^{-(\alpha_{\lambda j}+\alpha_{\lambda' j'})x_1^2} dx_1 \cdot$$

$$\int y_1^{\ell+\ell'+\varepsilon_2+2} \cdot e^{-(\beta_{\ell j}+\beta_{\ell' j'})y_1^2} dy_1 \cdot \left\langle (\lambda'\ell')L'S' : J \middle| [Y_{\varepsilon_1}(\hat{x}) \otimes Y_{\varepsilon_2}(\hat{y})]^2 \middle| (\lambda\ell)LS : J \right\rangle.$$

Жалпы, жоғарыдағы есептеулерді ескере отырып квадрупольдік моменті былай өрнектеледі

$$Q = 16\sqrt{6}\pi Z_\alpha \frac{C^{JJ}_{JJ20}}{\sqrt{2J+1}} \sum_{ij} \sum_{i'j'} C_{ij} C_{i'j'} \sum_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} \delta_{\varepsilon_1+\varepsilon_2,2} \left(\frac{1}{2}\right)^{\varepsilon_1} \left(\frac{1}{9}\right)^{\varepsilon_2} \frac{1+(-1)^{\varepsilon_1}}{\sqrt{(2\varepsilon_1+1)!(2\varepsilon_2+1)!}} \times$$

$$\times \mathrm{I}\left(x_1^{\lambda'+\lambda+\varepsilon_1+2}, \alpha_{ii'}\right) \mathrm{I}\left(y_1^{l'+l+\varepsilon_2+2}, \beta_{jj'}\right) \left\langle (\lambda' l') L'S' : J \middle\| \left[Y_{\varepsilon_1}(\hat{x}_1) \otimes Y_{\varepsilon_2}(\hat{y}_1)\right]_{20} \middle\| (\lambda l) LS : J \right\rangle. \tag{19}$$

Жоғарыда айтылғандарды ескере отыра, ^{9}Be ядросының құрылымы күрделі – ең дұрысы кластерлік құрылымға сәйкес келеді. Жеңіл ядролардың біраз қасиеттерін қамтитын көпбөлшекті қабықшалы үлгі оның ерекшеліктерін, яғни квадрупольдік моментін, формфакторларын, нуклондар мен кластерлер үшін спектроскопиялық факторларын толықтай жеткізе алмайды. Негізгі күйдегі толқындық функция көпбөлшекті қабықшалы үлгісінде 13 компоненттен құралып, күрделі сипатқа ие болады. Ал 2α+n үш бөлшекті үлгісінде негізгі 3 компоненттерінен құралады.

ӘДЕБИЕТ

1 Barker F.C., Tracy P.B. Nuclear levels near thresholds. Nucl. Phys. **1962**. V.38. N 1. P. 33-49.

2 Descouvement P. ^{9}Be and 8Be nuclei in a microscopic three-cluster model. Phys. Rev. **1989**. V. C39. P. 1557-1562.

3 Okabe S., Abe Y. Particle decay width and charge formfactors of ^{9}Be by the molecular model. ½+ resonance state of ^{9}Be. Nucl. Phys. **1973**. V. A208. N 1. P. 157-159.

4 Revai J., Matveenko A. N. Three body description of ^{9}Be (II). Adiabatic one-level approximation with correct angular momentum. Nucl. Phys. **1980**. V. A339. N 3. P. 448-464.

5 Fonseca A. C., Revai J., Matveenko A. N. Three-body description of ^{9}Be (I). Born-Oppenheimer approximation. Nucl. Phys. **1980**. V.A326. N 1. P.182-192.

6 Сахиев. С. К., Каипов Т. Д. Октупольный момент ядра ^{9}Be в трехчастичной модели. Вестник КазГУ, сер. физ., №2, **1995** С. 132-138.

REFERENCES

1 Barker F.C., Tracy P. B. Nuclear levels near thresholds. Nucl. Phys. **1962**. V. 38. N 1. P. 33-49.

2 Descouvement P. ^{9}Be and ^{8}Be nuclei in a microscopic three-cluster model. Phys. Rev. **1989**. V. C39. P. 1557-1562.

3 Okabe S., Abe Y. Particle decay width and charge formfactors of ^{9}Be by the molecular model. ½+ resonance state of ^{9}Be. Nucl. Phys. **1973**. V. A208. N 1. P. 157-159.

4 Revai J., Matveenko A. N. Three body description of ^{9}Be (II). Adiabatic one-level approximation with correct angular momentum. Nucl. Phys. **1980**. V. A339. N 3. P. 448-464.

5 Fonseca A. C., Revai J., Matveenko A. N. Three-body description of ^{9}Be (I). Born-Oppenheimer approximation. Nucl. Phys. **1980**. V.A326. N 1. P.182-192.

6 Sakhiev. S. K., Kaipov T. D. Oktupol'nyj moment yadra ^{9}Be v trehchastichnoj modeli. Vestnik KazGU, ser. fiz., №2, **1995** S. 132-138.

Резюме

А. Т. Жаксыбеков, Б. А. Уразбеков, С. К. Сахиев

(Евразийский национальный университет им. Л. Н Гумилева, Астана, Казахстан)

НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕКТРОСТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДРА ^{9}BE

В статье приведены аналитические выражения статистических характеристик ядра ^{9}Be в трехчастичной модели: среднеквадратичный зарядовый радиус и квадрупольный момент. Все операторы, выраженные в одночастичных координатах, записаны через относительные координаты Якоби.

Ключевые слова: ядро ^{9}Be, трехчастичная модель, координаты Якоби, аналитическое выражение.

Summary

A. T. Zhaksybekov, B. A. Urazbekov, S. K.Sakhiev

(Eurasian national university named L. N. Gumilev, Astana, Kazakhstan)

SOME ELECTRICALSTATIC CHARACTERISTICS OF ^{9}Be NUCLEUS

There was calculated the statistical characteristics of the nucleus ^{9}Be: rms charge radius and quadrupole momentum in the three clusters model. All operators were showed in particle coordinates, expressed in terms of relative Jacobi coordinates.

Keywords: ^{9}Be nucleus, the three-cluster model, Jacobi coordinates, the analytic expression.