

ФИЗИКАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ БАЙЛАНЫС ЭНЕРГИЯСЫН САНДЫҚ ӘДІСТЕР КӨМЕГІМЕН ЗЕРТТЕУ

*Б.А. Мукушев, Ж.Қ.Абельдина,
Э.Ж.Алимкулова, Г.К.Райсова,
С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті*

Аннотация

Мақалада физикалық денелер жүйесіндегі байланыс энергияларының заңдылықтарын MathCAD қолданбалы программалар пакеті көмегімен зерттеу нәтижелері баяндалған. Физикалық жүйе ретінде гравитациялық тартылыс өрісінде және электростатикалық өрісте орналасқан денелер мен зарядталған бөлшектер және ядролық күштер өрісіндегі нуклондар қарастырылған. Мақалада компьютерлік зерттеулердің теориялық нәтижелері мен космонавтикадағы жетістіктер салыстырыла отырып баяндалған.

Жер үшін бірінші және екінші космостық жылдамдықтардың сандық мәндерін ЖЖС мен Жер планетасы арасындағы байланыс энергиясы құбылысымен байланыстыра отырып зерделеген. Жер және Ай жүйесіндегі байланыс энергиясы, үш дене үшін шектелген есеп «потенциалдық шұңқыр» ұғымы және оның графиктері көмегімен зерттелген. Күн жүйесі және планеталардың байланыс энергиясы және оның графигі сандық әдіс көмегімен алынған.

Түйін сөздер: байланыс энергиясы, потенциалды энергия, потенциалдық шұңқыр, ионизация энергиясы, масса ақауы, MathCAD қолданбалы программалар пакеті.

Кіріспе

Физикалық денелер жүйесіндегі байланыс энергиясы құбылысының айырықша ерекшелігі оның теріс шама болғандығында. Дененің, немесе бөлшектің энергиясының терістігі - ол дененің басқа денемен (бөлшекпен) немесе денелермен (бөлшектермен) байланысқан күйде екенін білдіреді. Денені басқа

денелердің тартуынан «босату» үшін, ол дененің энергиясын нөлге дейін өсіру қажет. Мұндай жағдайда төмендегі физикалық нысандар бола алады: Жер мен дене арасындағы өзара әрекеттесу, атомдардағы кулондық күш, нақты газдардағы ван-дер-ваальс күштері, кристалдардағы атомдар мен молекулалардың өзара әрекеттесуі,

сұйықтықтағы беттік керілу құбылысы және т.б.

Табиғи жүйелердің тұрақтылығын зерттеуде кеңінен қолданылатын минималды потенциалдық энергия принципі байланыс энергиясы ұғымымен тікелей байланысты. Бұл принцип бойынша жүйе басқа ықтимал жағдайлармен салыстырғанда минимал потенциалдық энергияға ие болса, онда жүйе орнықты тепе-

теңдікте болады. Бұл жағдайда дене немесе бөлшек тереңдігі олардың байланыс энергиясындай *потенциалдық шұңқырдың* түбінде орналасқаны айтылады. Демек, дене өзін тартып тұрған басқа денеден шексіз қашықтықта орналасса, онда оның максималды потенциалдық энергиясы нөлге тең. Бұл жағдайда дене (немесе бөлшек) потенциалдық «шұңқырдан» шығып кетті дейді [1-5].

Зерттеу материалдары және әдістемесі

Енді әр түрлі физикалық жүйелерде кездесетін байланыс энергиясы құбылысына қатысты нақты мысалдарға талдау жасаймыз және осы құбылысты MathCAD қолданбалы программалар пакеті көмегімен зерттейміз.

MathCad – инженерлік және ғылыми есептеулерді жүргізуге арналған математикалық пакет. Пакеттің ең негізгі ерекшелігі тілінің табиғи тілге ұқсас жатқандығында. Текстік редактордың математикалық мүмкіндіктерін біріктірген бұл пакет физикалық модельдеу үшін көп мүмкіндік береді. MathCad класының жүйесінің физикалық зерттеулерді жүргізудегі рөлі ерекше. Күрделі есептеулерді шешуді жеңілдете отырып, ол

зерттеу кезіндегі қиындықты біршама жеңілдетеді.

Пакеттің графикалық мүмкіндіктері ғылыми есептеулерді мәтінмен қатар графиктік кескіндермен, суреттермен, кестелермен безендіруге мүмкіндік береді. Оның практикалық қолданысы интеллектуалды жұмыстардың тиімділігін арттырады. Қолданушы өзінің ғылыми еңбегіне өзгерістер енгізе отырып оның нәтижесін сол бетте бірден бақылай алады. Документтің экрандағы көрінісі қағаз бетіндегі көрінісіне өте ұқсас. MathCad алғаш рет 1986 жылы пайда болды. Пакет әр нұсқасы сайын көптеген мүмкіндіктерімен толықтырылып, жетілдіріліп отыр. Қазіргі кезде MathCad Windows жүйесінде жұмыс істейтін нұсқасы бар.

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелері

1. Механикадағы байланыс энергиясы. Мысал 1. Жер және Жер центрінен r қашықтықта орналасқан массасы $m = 1$ кг дене арасындағы байланыс энергиясын табу керек. Жердің массасы $M = 6 \times 10^{24}$ кг, ал радиусы $R_{ж} = 6,4 \times 10^6$ м. ($r \geq R_{ж}$).

Талдау. «Жер-дене» оңашаланған жүйенің байланыс энергиясы дененің Жер тартылыс өрісіндегі потенциалдық энергиясы болады. Бұл энергия Жер центрінен r қашықтықта орналасқан денені өте үлкен қашықтыққа көшіруге қажетті жұмысқа тең. Денеге үнемі Жер центріне қарай бағытталған $F = G \frac{mM}{r^2}$ күші әсер етеді. Сонда осы жұмыс шамасы мынаған тең болады:

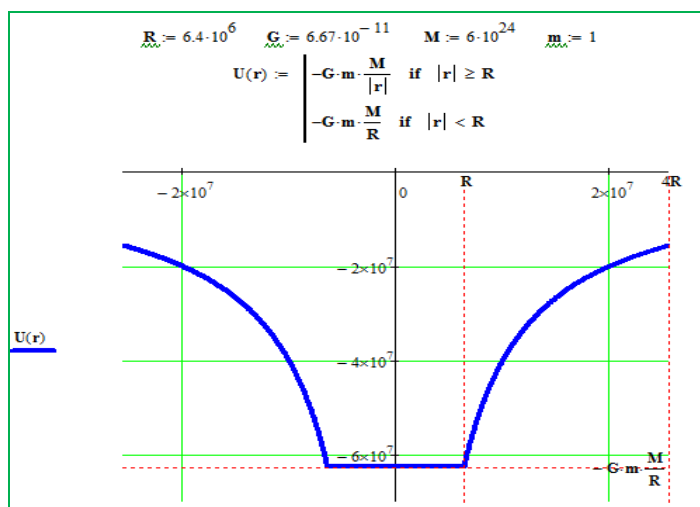
$$A_{\infty} = - \int_r^{\infty} F dr = - \int_r^{\infty} G \frac{mM}{r^2} dr = - \frac{GmM}{r} = U(r) \quad (1.1)$$

\vec{F} және \vec{dr} бағыттары бойынша өзара қарсы болғандықтан интеграл алдына минус таңбасы қойылады. Демек, Жер бетіне орналасқан дененің байланыс энергиясы:

$$U(R_{Ж}) = - \frac{GmM}{R_{Ж}} \quad (1.2)$$

Бұл теңдеу «Жер-дене» оңашаланған жүйенің байланыс энергиясы болып табылады. Өрнек алдындағы минус таңбасы дененің Жер тартылыс өрісінің потенциалдық шұңқырында жатқанын көрсетеді (Сурет 1). Дене Жердің тартылыс өрісін жеңіп алысқа кету үшін сыртқы күштер потенциалдық шұңқырдың тереңдігіндей жұмыс жасау керек: $A = \frac{GmM}{R_{Ж}}$

Mathcad пакетін қолдана отырып «Жер-дене» жүйесі үшін потенциалдық шұңқырдың графигін саламыз [6,7].



Сурет 1. «Жер-дене» оңашаланған жүйенің байланыс энергиясының графигі

Мысал 2. Массасы 1 кг денені Жер бетінен Ай бетіне жеткізу үшін сыртқы күш қандай жұмыс жасау керек.

Талдау. Алдымен Жер және Айды қосатын түзудің бойынан екі аспан денесінің денені тарту күшінің тең болатын нүктесін табамыз. Жер массасы Ай массасынан 81 есе үлкен, демек іздеп отырған нүкте Айдың центріне Жер центріне қарағанда 9 есе жақын орналасқан. Демек бұл нүкте (С нүктесі) Жер центрінен $384000 \cdot 0,9 = 345600 \text{ км} \approx 54 R_{Ж}$, ал ай центрінен $38400 \text{ км} \approx$

$22R_A$. «Жер-дене» және «Ай - дене» жүйелердің байланыс энергиялары C нүктесінде нольге жақын, өйткені:

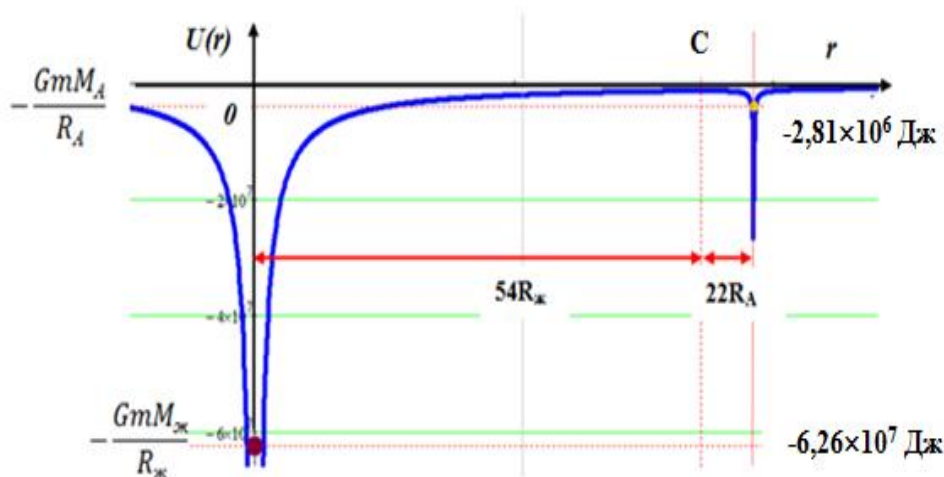
$$\frac{GmM_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}} \gg \frac{GmM_{\text{ж}}}{54R_{\text{ж}}} \quad \text{и} \quad \frac{GmM_A}{R_A} \gg \frac{GmM_A}{22R_A} \quad (1.3)$$

$M_{\text{ж}} = 5,98 \times 10^{24}$ кг, $R_{\text{ж}} = 6,37 \times 10^6$ м, $M_A = 7,33 \times 10^{22}$ кг, $R_A = 1,74 \times 10^6$ м;
 $m = 1$ кг, $l = 3,84 \times 10^8$ м

l – Жер және Ай центрлерінің ара қашықтығы. Жер мен Айдың қортқы тартылыс өрісінде орналасқан дененің потенциалдық энергиясының теңдеуі мынандай түрде болады:

$$U(r) = -Gm \left(\frac{M_{\text{ж}}}{r} + \frac{M_A}{|r-l|} \right) \quad (1.4)$$

Mathcad пакетін қолдана отырып Жер және Ай аспан денелері үшін «потенциалдық шұңқырларды» саламыз. (Сурет 2).



Сурет 2. «Жер - Ай және дене» оңашаланған жүйенің байланыс энергиясының графигі

2 суреттегі Жер мен Айдың қортқы тартылыс өрісінде орналасқан дененің потенциалдық энергиясының графигін талдай отырып мынандай тұжырым жасаймыз:

1 тұжырым: Денені Жер бетінен Ай бетіне жеткізу үшін бірінші кезеңде оған Жер бетінде екінші космостық жылдамдық (немесе $Gm \frac{M_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}}$ шамасына тең кинетикалық энергия) берсек жеткілікті. Сонда дене Жер және Ай аралығындағы C нүктесіне өте аз жылдамдықпен жетеді де Ай бетіне құлап түседі. 1959 жылы 14 қыркүйекте 00.02.24 уақытта Жер бетінен ұшырылған «Луна - 2» станциясы адамзат тарихында бірінші рет Ай бетіне жетті. Дәлірек айтқанда, станция Ай бетіне 3,3 км/с (Ай үшін дененің екінші

космостық жылдамдығы) жылдамдықпен соғылып, ұсақ бөлшектерге ыдырап кетті. Станция соғылған орында үлкен кратер пайда болды.

2 тұжырым: Ай бетіне «жұмсақ» қону үшін Айдың денені өзіне тартуы нәтижесінде пайда болған жылдамдықты өте аз шамаға дейін азайту керек. Яғни дене Ай бетіне тұрақты және шамалы жылдамдықпен қонатын жағдай жасау қажет. Мұндай жағдайды арнаулы двигательдер («тормоздық» двигатель) жасайды. Арнаулы двигательдің жасайтын жұмысы осы денені Ай бетінен С нүктесіне дейін жеткізуге қажетті жұмысқа тең. Демек денені Ай бетіне «жұмсақ» қондыру үшін арнаулы двигатель (немесе сырқы күш) $Gm \frac{M_A}{R_A}$ шамасындай жұмыс жасауы қажет.

Массасы 1 кг денені Ай бетіне «жұмсақ» қондыру үшін оны Жердің потенциалдық шұңқырынан шығарып аламыз да, жайлап Айдың потенциалдық шұңқырына түсіреміз. Осы денені Жердің потенциалдық шұңқырынан шығару үшін сыртқы күш $Gm \frac{M_{Ж}}{R_{Ж}} \approx 6,26 \times 10^7$ Дж шамаға тең жұмыс, ал жайлап Ай бетіне түсіру үшін $Gm \frac{M_A}{R_A} \approx 2,81 \times 10^6$ Дж жұмыс жасауы қажет.

Сонда сыртқы күш мынандай жалпы жұмыс жасайды:

$$A = Gm \left(\frac{M_{Ж}}{R_{Ж}} + \frac{M_A}{R_A} \right) \approx 6,54 \times 10^7 \text{ Дж.} \quad (1.5)$$

1966 жылы 3 ақпанда космонавтика тарихында бірінші рет Ай бетіне «Луна 9» автоматты станциясы «жұмсақ» қонды және станция Жерге өзі қонған аймақтың фотосуреттерін жіберді. «Луна 9» біздің табиғи серігіміздің мәңгілік «қонағы» болып қалды.

3 тұжырым: Айдың потенциалдық шұңқырының «тереңдігі» Жердің потенциалдық шұңқырының «тереңдігінен» 22 еседей аз. Демек Жер-Ай - Жер трассасы бойынша қозғалаған ғарыш кемесіне жұмсайтын энергия осы кемеге Жер бетінен Ай бетіне жетуге ғана қажетті энергиядан ($Gm \frac{M_{Ж}}{R_{Ж}}$) екі еседен сәл ғана асады.

1969 жылы бірінші рет 16-24 шілде аралығында «Аполлон 11» астронавтарды Ай бетіне жеткізді және Ай бетінен Жерге оларды алып келді.

4 тұжырым: Осы уақытқа дейін Жер-Шолпан-Жер трассасы бойынша ғарыш кемелерін ұшыру мәселесі шешілген жоқ. Осы трасса бойымен кеме қозғалу үшін ракета двигателі төмендегідей жұмыс жасауға тиіс:

$$A = 2 Gm \left(\frac{M_{Ж}}{R_{Ж}} + \frac{M_{Ш}}{R_{Ш}} \right); \quad (1.6)$$

$$\frac{M_{Ж}}{R_{Ж}} \approx \frac{M_{Ш}}{R_{Ш}} \text{ екенін ескерсек } A \approx 3 \times 10^8 \text{ Дж.}$$

Бұл шама Жер бетінен Шолпан бетіне ракетаны «атып» жібергенге жұмсалатын энергиядан 4 есе көп. Осы себептен космонавтарды Шолпан планетасына жеткізу мәселесі шешілген жоқ.

Мысал 3. Планеталар парады болған кездегі Күн, Жер, Марс; Юпитер, Сатурн және олардың тартылыс өрісінде орналасқан $m_0 = 1$ кг арасындағы байланыс энергиясын зерттеу керек. Қажетті физикалық шамалар: $G = 6,67 \times 10^{-11}$

$11 \text{ нжм}^2/\text{кг}^2$, Күн массасы $M=2 \times 10^{24}$ кг, Жер массасы $m_1 = 6 \times 10^{24}$ кг, Күн және Жердің өзара ара қашықтығы $l_1 = 1,5 \times 10^{11}$ м, $m_2 \gg m_1$ – Марс планетасының массасы, $l_2 = 1,5 \times l_1$ – Марстың Күннен ара қашықтығы; $m_3 = 318 \times m_1$, $l_3 = 5,2 \times$

l_1 – Юпитера массасы және оның Күннен қашықтығы; $m_4 = 95 \times m_1$, $l_4 = 9,3 \times l_1$ – Сатурн массасы және оның Күннен қашықтығы.

Талдау: Өрістердің суперпозиция принципі бойынша кеңістіктің әрбір нүктесіндегі аталған аспан денелерінің тартылыс өрісінің потенциалдарының қосындысы төмендегідей болады [7]:

$$j = j_c + j_3 + j_m + j_{ю} + j_c \quad (1.7)$$

m_0 дене орналасқан нүктедегі потенциалдық энергияның теңдеуі

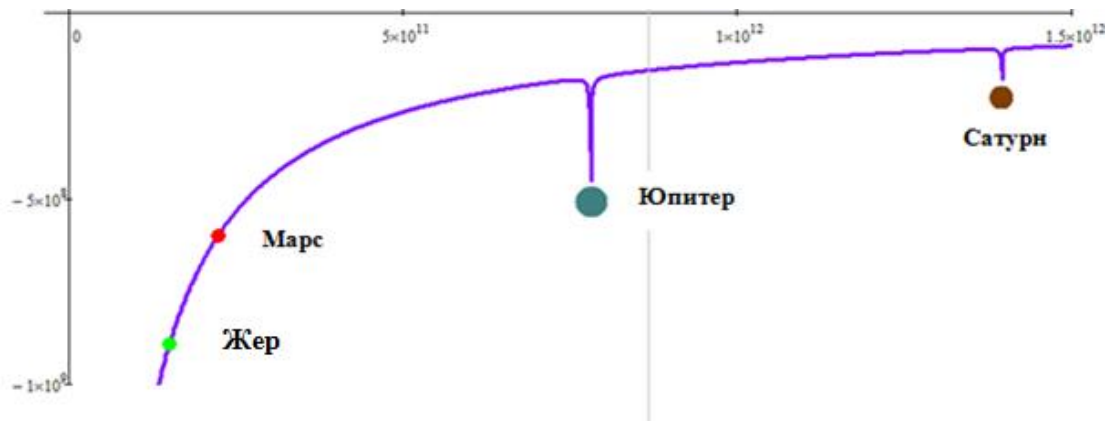
$$U(r) = m_0 (j_c + j_3 + j_m + j_{ю} + j_c) \quad (1.8)$$

Планеталар парады болған жағдай үшін Күн жүйесінде орналасқан m_0 дене үшін потенциалдық энергияның өрнегі мынандай болады:

$$U(r) = - m_0 \left(G \frac{M_k}{|r|} + G \frac{m_1}{|r-l_1|} + G \frac{m_2}{|r-l_2|} + G \frac{m_3}{|r-l_3|} + G \frac{m_4}{|r-l_4|} \right) \quad (1.9)$$

3 суретте Mathcad пакеті көмегімен жасалған жоғарыдағы теңдеудің графигі көрсетілген.

Графикте абсцисса бойымен ара қашықтық метрмен, ал ордината бойымен m_0 дененің потенциалдық энергиясы - джоульмен берілген.



Сурет 3. Күн жүйесінде орналасқан m_0 дене үшін потенциалдық энергияның графигі

3 суреттен Күн жүйесінің кеңістігіндегі гравитациялық өріс Күннің арқасында ғана жасалатынын байқауға болады. Оның себебі Күн массасы Күн жүйесіндегі барлық планеталардың массасын қосындысынан 750 есе артық. Демек $r \geq R_k$ (R_k – Күн радиусы) жағдай үшін Күн жүйесінде орналасқан m_0 дене үшін потенциалдық энергияның графигін гиперпола деп айтуға болады. Гипербола графигінің Юпитер және Сатурн планеталары

тұсында көзге әрең байқалатын вертикаль шұңқырлар орналасқан. Ал массалары Күнмен салыстырғанда өте аз Жер және Марс планеталары тұсында ондай шұңқырлар көрінбейді.

2. Электростатика бөліміндегі байланыс энергиясы

Мысал 4. а) Сутек атомының иондалу энергиясын эВ бірлігінде есептеу керек. б) Томсон моделіне сәйкес келетін сутек атомының иондалу энергиясын табу керек. Атом радиусы $0,5 \cdot 10^{-10}$ м.

Ескерту. Біртекті зарядталған шариктің $0 \leq r \leq R$ интервалындағы потенциалының төмендегі теңдеуін пайдалану керек: $j(r) = \frac{\rho}{6\epsilon_0}(3R^2 - r^2)$.

Мұндағы $\rho = \frac{q}{\frac{4\pi R^3}{3}}$ – шарик зарядының тығыздығы.

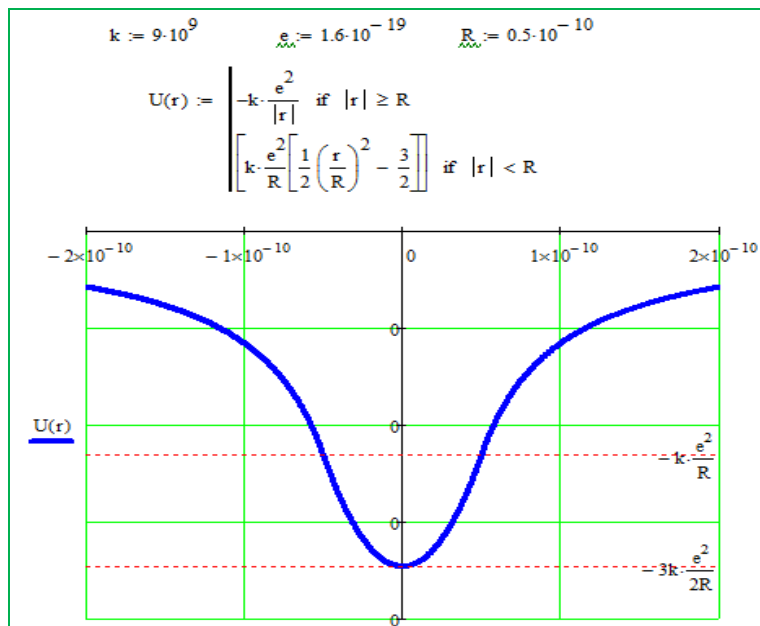
Талдау: а) Сутек атомының электроны мен ядросы арасындағы тартылыс күші $F = k \frac{e^2}{r^2}$ сонымен қатар осы бөлшектердің өзара әсерлесуінің потенциалдық энергиясы $U = -\frac{ke^2}{r}$ шамасына тең. Электронның толық энергиясы $E = \frac{m\theta^2}{2} - \frac{ke^2}{r}$, m – электрон массасы. Екінші жағынан $\frac{m\theta^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2}$ демек $E = E_{\text{байл.}} = -\frac{ke^2}{2r}$. Бұл өрнек «электрон -ядро» жүйесінің байланыс энергиясы.

$r = 0,5 \cdot 10^{-10}$ м болғандықтан $E_{\text{св.}} = -9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 / 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-10} \approx -2,3 \cdot 10^{-18}$ (Дж) $\approx -13,6$ (эВ) Бұл шаманы сутек атомының иондалу немесе байланыс энергиясы дейді. Сутек ионын алу үшін электронға 13,6 эВ шамасында энергия беру қажет.

б) Томсон моделі бойынша сутек атомы біртекті оң зарядталған тұтас шарик тәрізді. Шариктің ортасында электрон орналасқан. Мұндағы $\rho = \frac{q}{\frac{4\pi R^3}{3}}$ – Томсон бойынша сутек атомының зарядының тығыздығы. Шариктің потенциалы үшін мынандай теңдеуді аламыз: $j(r) = \frac{\rho}{8\pi R^2 \epsilon_0}(3R^2 - r^2) = \frac{ke}{2R^2}(3R^2 - r^2)$, мұндағы $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k$ Электронның потенциалдық энергиясы

$$U(r) = -j(r) e = -\frac{ke^2}{2R^2}(3R^2 - r^2) \quad \text{мұндағы } 0 \leq r \leq R. \quad (2.1)$$

Mathcad пакетін қолдана отырып сутек атомының томсон бойынша моделінің потенциалдық шұңқырын саламыз (Сурет 4).



Сурет 4. Сутек атомының томсон бойынша моделінің потенциалдық шұңқыры

$U(R) = -\frac{ke^2}{R}$ - сутек атомының электроны атомның бетіне орналасқан кездегі потенциалдық энергиясы.

$U(0) = -\frac{3ke^2}{2R}$ - сутек атомының электроны атомның ортасында орналасқан кездегі потенциалдық энергиясы. Электронды шексіз үлкен қашықтыққа әкету үшін жасалатын жұмыс:

$$A = |E_{\text{св}}| = |U(0)| = \frac{3ke^2}{2R} \approx 69,12 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.} \approx 43,2 \text{ эВ.} \quad (2.2)$$

Томсон моделі бойынша қарастырылатын сутек атомын иондау үшін нақты иондау энергиясынан бірнеше есе үлкен энергия қажет екен. Бұл жағдай сутек атомының томсон моделіне бағынбайтынын тағы бір рет дәлелдейді.

3. Ядролық физика бөліміндегі байланыс энергиясы

Е ядросының байланыс энергиясы мен $E_{\text{мен}}$ байланыстың меншікті энергиясы белгілі деп санаймыз. Тек ядроның байланыс энергиясы оң және тек ядроның ішкі энергиясынан ерекшеленеді. Ал E_p немесе E_n ядросындағы нуклонның байланыс қуатын анықтау үшін (протон және нейтрон үшін тиісінше) өте маңызды. Сонымен, нуклонның ядродағы байланыс энергиясы-бұл нуклонды ядродан ажырату үшін

жұмсауға қажетті ең аз энергия. Біз бұл шама $E_{\text{уд}}$ ядросының меншікті байланыс энергиясынан айтарлықтай өзгеше болуы мүмкін екенін көреміз.

Нуклондар әлеуетті шұңқыр түбінде жатыр деп айтуға болады, және сыртқы әсері сол жерден "шығарып алу" керек. Және бізге ең қарапайым шұңқырдың бейнесінен ешқайда түспеуіміз керек. Өте пайдалы аналогия. Бірақ кез келген аналогия өз шектері бар және осы

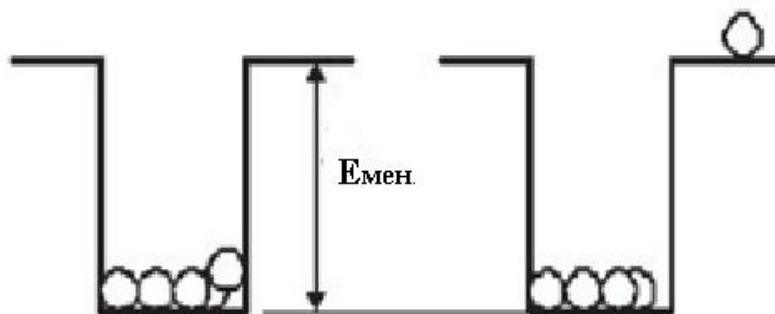
шектерде мүлдем қате тұжырымдарға әкелуі мүмкін. Біздің пайымдауымызша, тастарды шұңқырдан қолмен шығару кезінде шұңқырдың өзі өзгермейді және келесі тастарды шығару үшін сол жұмысты орындау қажет.

Сондықтан шұңқырдағы тас үшін байланыс энергиясы әлеуетті mgh энергиясының шамасы бойынша тең (және, әрине, егер біреу осы жүйе үшін осындай терминологияны енгізу басына келсе, $E_{\text{мен}}$ тең).

Ядроның байланыс энергиясы E мен байланыстың меншікті энергиясы $E_{\text{мен}}$ белгілі деп санаймыз. Ядроның байланыс энергиясы оң және тек ядроның ішкі энергиясынан ерекшеленеді. Біз ядродағы E_p немесе E_n нуклонның байланыс энергиясын анықтаймыз. Сонымен, нуклонның

ядродағы байланыс энергиясы - бұл нуклондарды ядродан ажырату үшін жұмсауға қажетті ең аз энергия. Біз бұл шама $E_{\text{мен}}$ ядросының меншікті байланыс энергиясынан айтарлықтай өзгеше болуы мүмкін екенін көреміз.

Нуклондар потенциалдық шұңқыр түбінде жатыр деп айтуға болады және сыртқы күш әсерімен нуклонды «шұңқырдан» шығарып алу керек (Сурет 5). Біз бұл жерде аналогия әдісін қолданып тұрмыз. Бірақ кез келген аналогияның өз шектері бар және осы шектерден шығу қате тұжырымдарға әкелуі мүмкін. Біздің пайымдауымызша, тастарды шұңқырдан қолмен шығару кезінде шұңқырдың өзі өзгермейді және келесі тастарды шығару үшін сол жұмысты орындау қажет.

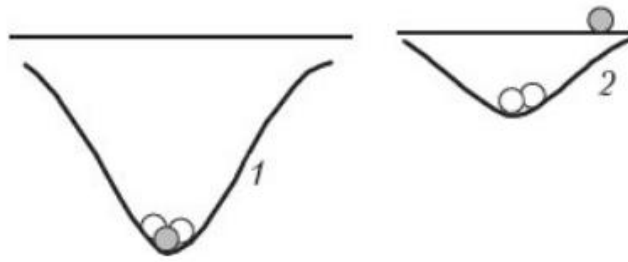


Сурет 5. Механикалық жүйенің байланыс энергиясын сипаттайтын модель

Сондықтан шұңқырдағы тас үшін байланыс энергиясы mgh потенциалдық энергиясының шамасы бойынша тең.

Бірақ ядрода нуклондар арасындағы байланыс энергиясы

олай емес. Бұл жерде біз мынандай аналогия қолданамыз: резеңке пленкада жатқан және оны төмен қарай созып тұрған шариктерді қарастырамыз (Сурет 6).



Сурет 6. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясын сипаттайтын модель

Бұл жағдайда потенциалдық шұңқырды шариктердің өздері жасайды. Тереңде жатқан шариктің потенциалдық энергиясы mgh шамасына тең. Бірақ шариктің «байланыс энергиясы» mgh шамасына тең емес. Жүйені 1 күйден 2 күйге көшіру үшін жұмсауға қажетті ең аз энергияны байланыс энергиясы дейді. Біздің мысалда бұл шама mgh -дан айтарлықтай аз екені көрініп тұр (шарикті шұңқырдан алу кезінде жұмыстың бір бөлігі пленканың серпімділігінің күштерімен жасалады).

Енді ядрода нуклондарға ораламыз. Бұл жағдайда потенциалдық шұңқыр нуклондардың өзара әсерлесуі арқылы сипатталады. Сондықтан нуклонды ядролардан алып

$$E = mc^2 \quad (3.1)$$

Атом массаларын өлшеудің қазіргі заманғы әдістерінің көмегімен ядроның ($M_{\text{я}}$) тыныштық массасы оның ыдырайтын протондары мен нейтрондарының тыныштық массасының қосындысынан әрдайым аз екені анықталды:

$$M_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n \quad (3.2)$$

Z , N - протондар мен нейтрондар саны, m_p , m_n - протон мен нейтронның тыныштық массасы.

$$Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}} = Dm \quad (3.3)$$

шама масса ақауы деп аталады. Эйнштейн формуласына сәйкес ядроның байланыс энергиясы:

$$\frac{1}{2}E_{\text{байл.}} = Dmc^2 \quad (3.4)$$

тастағанда қалған нуклондар мүлдем басқа ядроны құрайды, оларда байланыстың мүлдем басқа үлестік энергиясы бар. Нуклонның байланыс энергиясы бастапқы ядроның байланыс энергиясы мен пайда болған ядроның байланыс энергиясы айырмашылығына тең.

Ядроның байланыс энергиясын есептеу үшін нуклондар арасындағы тартылыс күші (ядролық күштер) олардың арасындағы қашықтыққа байланысты екенін білу қажет (атомдағы электронның байланыс энергиясын теориялық есептеуді еске түсірейік). Алайда, бұл тәуелділік әлі белгісіз. Масса мен энергия арасындағы Эйнштейннің теңдеуін қолдана отырып ғана байланыс энергиясын анықтауға болады:

Бөлшектерден ядроның пайда болуы кезінде ядролық күштердің аз қашықтықтағы тартылуы есебінен соңғылары бір-біріне үлкен жылдамдықпен ұмтылады. Бұл кезде энергиясы $\frac{1}{2}E_{\text{бай}}$ және массасы Dm болатын гамма-кванттар немесе жаңа бөлшектер пайда болады. Әрине, ядроның байланыс энергиясы $E_{\text{бай}} < 0$. Атом ядросы тұрақты күйде болғандықтан, ол ядроның байланыс энергиясына тең болатын потенциалдық жәшіктің түбінде жатыр [8-12].

Алынған нәтижелерді талқылау және қорытынды

Біздің зерттеуіміз табиғатта кездесетін әр түрлі физикалық жүйелердегі өзара тартылыс жағдайында болатын объектілілерді сипаттайтын байланыс энергиясы құбылысына арналған. Байланыс энергиясы - жүйені оның құрамдас бөліктеріне бөлу үшін қажетті ең аз энергия және жүйеге кіретін бөлшектер арасындағы өзара байланысымен анықталады. Тұрақты жүйелер үшін байланыс энергиясы жүйенің беріктігін сипаттайды: байланыс энергиясы неғұрлым көп болса, жүйе соғұрлым орнықты.

Байланыс энергиясы атомдар мен иондардағы электронның оның ядросымен және атом бөліктерінің электрондарымен өзара әрекеттесуімен анықталады. Атомның сыртқы қабықшасындағы электрондардың байланыс энергиясы оның иондалу энергиясымен сәйкес келеді.

Зерттеуіміздің негізгі нысандары механикалық, электростатикалық және ядролық құбылыстар және объектілер

болды. Осы жүйелердегі байланыс энергиясы заңдары мен заңдылықтары MathCad қолданбалы программалар пакеті көмегімен сандық әдістер негізінде зерттелді.

Механикалық, электростатикалық және ядролық құбылыстарды сандық әдіспен зерттей отырып мынандай нәтижелер алдық:

1. Аспан денелері арасындағы байланыс энергиясы зерттелді және ғарыш құралдарын тиімді траекториямен ұшыру мәселелері қарастырылды.

2. Электростатикалық жүйелердің орнықтылығы, атомдардың иондалу энергиясы қарастырылды және сутек атомының томсон моделіне бағынбайтыны сандық әдіс көмегімен дәлелденді.

3. Ядродағы байланыс энергиясы қарастырылды және ядроның орнықтылығын дәлелдейтін механикалық модельдер жасалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Стручков В.В., Яворский Б.М. Вопросы современной физики.- М.: Просвещение, - 1973. - 322 с.
- 2 Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике 1 том. – Издательство «Мир» - М.:1977. – 432 с.
- 3 Сивухин Д.В. Общий курс физики (Механика) – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005. - 560 с
- 4 Мукушев Б.А., Нурбакова Г.С., Исимов Н.Т. Гравитационное поле небесных тел // Вестник КазНТУ им. Сатпаева. 2016 - №5.
- 5 Карманов Ф.И. Компьютерное моделирование межпланетных перелетов в Солнечной системе // Соросский образовательный журнал. 2000. - №9. Кирьянов Д. Mathcad 14 в подлиннике. Санкт-Петербург. – 2007.- 682 с.
- 6 Очков В. MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов. – Санкт-Петербург. – 2007.- 370 с.
- 7 Дубошин Г. Н. Небесная механика. Основные задачи и методы / Глав. ред. физ.-мат. лит. — М.: Наука, 1968.- 420 с.
- 8 Vlasukova L., Komarov F., Milchanin O., Makhavikou M., Mudryi A., Zhivulko V., Žuk J., Kopyciński P. , Murzalinov D. Origin of visible photoluminescence from Si-rich and N-rich silicon nitride films. // Thin Solid Films. – Vol. 626. – 2017. – P. 70–75. (Impact-factor-1,9)
- 9 Mukushev B.A., Zheldybaeva B.S., Musatayeva I.S., Mukushev B.A., Kariiev K.U., Turdina A.B. Formation of the scientific worldview in schoolchildren based on the inclusion of synergetic ideas in the content of education // *Integratsiya obrazovaniya = Integration of education*. 2018. T.22, No. 4. Pp. 632-646.) DOI: 10.15507 / 1991-9468.093.022.201804.632-647.
- 10 Murzalinov D., Akilbekov A., Dauletbekova A., Vlasukova L., Makhavikov M., Zdorovets M. Structural transformations of S-rich SiNx film on Si via swift heavy ions irradiation. // *Materials Research Express* .- 2018.-Vol. 5. – Iss.3.- № 035035 (Impact- factor - 1,06)
- 11 Murzalinov D., Vlasukova L., Parkhomenko I., Komarov F., Akilbekov A., Mudryi A., Ryabikin Y., Romanov I., Giniyatova Sh., Dauletbekova A. Luminescence of silicon nitride films implanted with nitrogen ions // *Materials Research Express* .- 2018.-Vol. 5(9). - № 096414 (Impact- factor - 1,2)
12. B.A.Mukushev, M. Beresnev ,O. V. Bondar. Comparison of Tribological Characteristics of Nanostructured TiN, MoN, and TiN/MoN Arc-PVD Coatings // *Journal of Friction and Wear*, 2014, Vol. 35, No. 5, pp. 374–382. © Allerton Press, Inc., 2014. (Impact- factor - 0,75)

References

1. Struchkov V. V., Yavorsky B. M. Questions of modern physics.- M.: Enlightenment, - 1973. - 322 p.
2. Feynman R. Feynman lectures on physics 1 vol. - Publishing House "Mir" - Moscow: 1977. – 432 p.

3. Sivukhin D. V. General course of physics (Mechanics)-M.: FIZMATLIT; MIPT Publishing house, 2005. - 560 p.
4. Mukushev B. A., G. S. Nurbakova, Isamov N. T. The gravitational field of celestial bodies // Bulletin of KazNTU. Satpayev. 2016-No. 5.
5. Karmanov F. I. Computer modeling of interplanetary flights in the Solar system. Soros educational journal. 2000. - No. 9. Kiryanov D. Mathcad 14 in the original. Saint-Petersburg. - 2007.- 682 p.
6. Oshkov B. MathCAD 14 for students, engineers and designers. – Saint-Petersburg. - 2007.- 370 p.
7. Duboshin G. N. Celestial mechanics. Main tasks and methods / Chapters. ed. Fiz.-Mat. lit. - Moscow: Nauka, 1968.- 420 p.
8. Vlasukova L., Komarov F., Milchanin O., Makhavikou M., Mudryi A., ZhivulkoV., Žuk J., Kopyciński P. , Murzalinov D. Origin of visible photoluminescence from Si-rich and N-rich silicon nitride films. // Thin Solid Films. – Vol. 626. – 2017. – P. 70–75. (Impact-factor-1,9)
9. Mukushev B.A., Zheldybaeva B.S., Musatayeva I.S., Mukushev B.A., Kariev K.U., Turdina A.B. Formation of the scientific worldview in schoolchildren based on the inclusion of synergetic ideas in the content of education // Integratsiya obrazovaniya = Integration of education. 2018. T.22, No. 4. Pp. 632-646.) DOI: 10.15507 / 1991-9468.093.022.201804.632-647.
10. Murzalinov D., Akilbekov A., Dauletbekova A., Vlasukova L., Makhavikov M.,Zdorovets M. Structural transformations of S-rich SiNx film on Si via swift heavy ions irradiation. // Materials Research Express .- 2018.-Vol. 5. – Iss.3.- № 035035 (Impact- factor - 1,06)
11. Murzalinov D., Vlasukova L., Parkhomenko I., Komarov F., Akilbekov A., Mudryi A., Ryabikin Y., Romanov I., Giniyatova Sh., Dauletbekova A. Luminescence of silicon nitride films implanted with nitrogen ions // Materials Research Express .- 2018.-Vol. 5(9). - № 096414 (Impact- factor - 1,2)
12. B.A.Mukushev, M. Beresnev ,O. V. Bondar. Comparison of Tribological Characteristics of Nanostructured TiN, MoN, and TiN/MoN Arc-PVD Coatings // Journal of Friction and Wear, 2014, Vol. 35, No. 5, pp. 374–382. © Allerton Press, Inc., 2014. (Impact- factor - 0,75)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОСРЕДСТВОМ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА

*Б.А. Мукушев, Ж.Қ.Абельдина,
Э.Ж.Алимкулова, Г.К.Райсова,
Казахский агротехнический университет им.С.Сейфуллина
Республика Казахстан*

Резюме

В статье представлены результаты исследования явления энергии связи посредством пакета прикладных программ MathCAD. В качестве физической системы рассмотрены тела и заряженные частицы в полях гравитационного и электрического притяжения. Использован принцип суперпозиции для расчета потенциала поля, созданного несколькими телами. В статье представлены выводы, полученные на основе сравнительного анализа между теоретическими результатами компьютерных исследований и достижениями в космонавтике.

Доказано, что энергия связи, как одна из трактовок потенциальной энергии, имеет широкое применение для исследования различных по природе систем, состоящих из взаимодействующих (точнее, взаимопритягивающих) тел или частиц. Подробно исследован механизм взаимодействия между телами. Представлены графические интерпретации потенциальной ямы для следующих физических систем: материальных точек, заряженных тел и нуклонов в ядре.

Ключевые слова: энергия связи, потенциальная энергия, потенциальная яма, энергия ионизации, дефект массы, пакет прикладных программ MathCAD.

STUDY OF BINDING ENERGY OF PHYSICAL SYSTEMS USING THE NUMERICAL METHOD

B.A.Mukushev, J. K.Ubaldina

E. Alimkulova, G.K. Raisova

S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University

Summary

The article presents the results of the study of the phenomenon of binding energy through the application package MathCAD. As a physical system, bodies and charged particles in the fields of gravitational and electric attraction are considered. The principle of superposition is used to calculate the field potential. The article presents a comparative analysis between the theoretical results of computer research and advances in astronautics.

It is proved that the binding energy, as one of the interpretations of potential energy, has a wide application for the study of different nature systems consisting of interacting (more precisely, mutually attracting) bodies or particles. The mechanism of interaction between bodies is examined in detail. Graphical interpretations of the potential well for the following physical systems are presented: material points, charged bodies and nucleons in the nucleus.

Key words: binding energy, potential energy, potential well, ionization energy, mass defect, MathCAD software package.