

Л. Ф. Қасенова¹, С.С. Сағынтаев², Б.Х. Жанбусинова³

Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

ҮЙКЕЛІС КҮШІ ҚОЗҒАУШЫ КҮШ БОЛУЫ МҮМКІН БЕ?

Аңдатпа

Үйкеліс - денелердің өзара әрекеттесуінің бір түрі. Үйкеліс екі дененің жанасуы кезінде пайда болады. Жанасатын қатты денелер беттерінің арасында әрекет ететін күштер құрғақ үйкеліс күштері деп аталады. Олар әрдайым жанасатын беттерге бағытталған және тыныштық үйкелісі, сырғанау үйкелісі және домалау үйкелісі күштеріне бөлінеді. Үйкеліс күші үйкеліс процесі болған кезде денелердің қозғалысына әсер ететін көптеген факторларға тәуелді. Осыған байланысты үйкеліс күштерін сипаттау эмпирикалық жолмен табылған жуық заңдардың көмегімен ғана мүмкін болады, олар көбінесе өрескел болып табылады. Тыныштық үйкеліс күші – тұрақсыз шама, ол нөлден ең жоғарғы мәнге дейін өзгеруі мүмкін. Денеге тыныштықтың үйкеліс күшінен асатын күш түссе, дене орнынан жылжып, қозғала бастайды. Мақалада үйкеліс күші қозғаушы күш ретінде жаңсақ түсіндірілетін қозғалыс мысалдары қарастырылған. Тыныштық пен домалау үйкеліс күштерінің табиғаты заманауи физикалық материалтану тұрғысынан талданған.

Түйін сөздер: үйкеліс, қозғалыс, өзара әрекеттесу, деформация, серпімділік.

Аннотация

Л.Ф. Касенова¹, С.С. Сагінтаев², Б.Х. Жанбусинова³

Казахский университет экономики, финансов и международной торговли, г. Нур-Султан, Казахстан

МОЖЕТ ЛИ СИЛА ТРЕНИЯ БЫТЬ ДВИЖУЩЕЙ СИЛОЙ?

Трение – один из видов взаимодействия тел. Оно возникает при соприкосновении двух тел. Силы, действующие между поверхностями соприкасающихся твердых тел, называются силами сухого трения. Они всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям и подразделяются на силы трения покоя, скольжения и качения. Силы трения зависят от многих факторов, которыми сопровождается движение тел при наличии трения. В связи с этим описание сил трения возможно лишь при помощи эмпирически найденных приближенных законов, которые часто являются довольно грубыми. Сила трения покоя – величина непостоянная, она может изменяться от нуля до некоторого максимального значения. Приложив к телу силу, превышающую максимальную силу трения покоя, мы сдвинем тело с места, и оно начнет двигаться.

В статье рассмотрены примеры движения, в которых сила трения может ошибочно трактоваться как движущая сила. Природа сил трения покоя и качения рассматривается с позиций современного физического материаловедения.

Ключевые слова: трение, движение, взаимодействие, деформация, упругость.

Abstract

CAN THE FRICTION FORCE BE THE DRIVING FORCE?

Kassenova L.G.¹, Sagintayev S.S.², Zhanbusinova B.H.³

Kazakh University of Economics, Finance and international trade, Nur-Sultan, Kazakhstan

Friction is one of the types of interaction between bodies. It occurs when two bodies touch. The forces acting between the surfaces of contacting solids are called dry friction forces. They are always directed tangentially to the touching surfaces and are divided into the forces of friction at rest, sliding and rolling. The friction forces depend on many factors that accompany the movement of bodies in the presence of friction. In this regard, the description of friction forces is possible only with the help of empirically found approximate laws, which are often quite rough. The rest friction force is a variable value, it can change from zero to a certain maximum value. By applying a force to the body that exceeds the maximum resting friction force, we will move the body from its place, and it will begin to move.

The article considers examples of motion in which the friction force can be mistakenly interpreted as a driving force. The nature of the forces of friction at rest and rolling is considered from the perspective of modern physical materials science.

Keywords: friction, movement, interaction, deformation, elasticity.

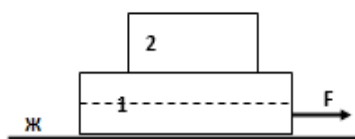
Кіріспе. Үйкеліс – техникада көптеген жағдайларда негізгі рөл атқаратын, табиғаттың маңызды құбылыстарының бірі. Үйкеліс мәні де қозғалыс мәні сияқты үлкен. Қозғалыс және үйкеліс – ажырамайтын қарама-қайшылықтардың жұбы. Алайда, мектеп физикасы мен техникалық жоғары оқу орындарындағы жалпы физика курстарында үйкеліс тақырыбына өте аз сағат бөлінген. Білім алушы «Үйкеліс» тақырыбымен бастапқы физика курсына танысады. Мысал ретінде 7-сыныпқа арналған физика оқулықтарынан екі фрагментті келтіреміз. «Дене қозғалған кезде жанасқан беттердің бойымен қозғалысқа қарсы бағытта пайда болатын күш үйкеліс күші деп аталады» [1]. «Бір дене екінші дененің бетімен қозғалған кезде пайда болатын және дененің қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытталған күшті сырғанау үйкеліс күші деп атайды» [2]. Жоғары сыныптарда және жоғары оқу орындарында физиканы оқу барысында үйкеліс күші есеп үстінде ескеріледі, бірақ үйкеліс табиғаты, әдетте, мүлдем қарастырылмайды, немесе "...үйкеліс жанасатын беттердің кедір-бұдырлығымен байланысты; тегіс беттер жағдайында үйкеліс молекулааралық тартылыс күштерімен байланысты" деп қысқаша айтылады [3]. ЖОО оқулықтарында үйкеліс түрлерін жіктеуге қосымша ақпарат ұсынылады [4]. Физикалық энциклопедиялық сөздіктен анықтама: "Үйкеліс (сыртқы) – бір-біріне қысылған екі дененің салыстырмалы қозғалысы кезінде жанасу жазықтығында пайда болатын механикалық қарсылық. Осы дененің салыстырмалы қозғалуына қарсы бағытталған қарсылық күші \vec{F} осы денеге әсер ететін үйкеліс күші деп аталады" [5]. Орысша-қазақша түсіндірме сөздіктен анықтама: "Үйкеліс күші - дененің тіреу бетімен сырғанаған кезде әсер ететін күш; жанасатын денелердің сұйықтар немесе газдардың қабаттарының салыстырмалы орын ауыстыруына кедергі жасайтын күш" [6]. Барлық дәйексөздік анықтамалар үшін жалпы: үйкеліс – денелердің өзара қозғалуына кедергі келтіретін қозғалысқа қарсы әрекет ететін құбылыс. Келтірілген авторлар анықтамаларынан кейін ішкі үйкеліс мәселелерін қозғамай, сыртқы үйкеліс құбылыстарын қарастырумен шектелік. Сонымен, екі жанасқан дененің бір-біріне қатысты қозғалысы кезінде, әдетте, осы қозғалысқа қарсы күш – үйкеліс күші пайда болады. Ілгермелі қозғалыс кезінде сырғанау үйкеліс күші, ал айналмалы қозғалу кезінде домалау үйкеліс күші пайда болады. Бұдан әрі денелерді бір-біріне қатысты жылжытуға тырысатын күш болғанмен, қозғалыс орын алмаған жағдайда пайда болатын тыныштық үйкеліс күшіне толығырақ тоқталайық. Үйкеліс күшін қоспағанда, кез келген күштер денені қозғалысқа әкеліп, кинетикалық энергиясын арттырады. Сырғанау және домалау үйкеліс күштері кинетикалық энергияның азаюына алып келетін теріс үдеуді тудырады. Тыныштық үйкеліс күштері әрдайым қозғалысты тудыруға ұмтылған күшке тең болып, ешқандай үдеу жасамайды және жанасатын денелердің кинетикалық энергиясын өзгертпейді.

Үйкеліс бар жағдайда өзара әрекеттесу мысалдары.

Білім алушыларға тыныштық үйкеліс күші орын алған жиі ұсынылатын динамика есептерін қарастырайық.

1 Мысал.

(Ж) жазықтықтың көлденең бетінде бірінің үстінде бірі орналасқан білеуше 1 және білеуше 2 бар (сурет 1).



Сурет 1. Тыныштық үйкеліс күшін айқындатын мысал

Егер 1 төменгі білеушені бірқалыпты немесе үдемелі жылжытсаңыз, 1 білеуше үстінде орналасқан 2 білеуше де (Ж) жазықтық бетімен қозғалады. Әдетте, бұл жағдайда 2-ші білеуше 1 және 2 білеушелердің түйіскен беттерінен пайда болатын тыныштық үйкеліс күшінің арқасында қозғалды деп айтамыз. Демек, үйкеліс күші қозғаушы күш ретінде әрекет ете ме!? Дәл осындай пікір мектеп бітірушілерде жиі қалыптасады, кейін бұл теріс пікір студенттердің есінде де осылай сақталып қалады. Жеткілікті үлкен үдеу болғанда, жоғарғы білеуше төменгі білеуше бетімен сырғып, одан артта қалады, ал білеушелер арасында сырғу үйкеліс күші пайда болады.

2 Мысал.

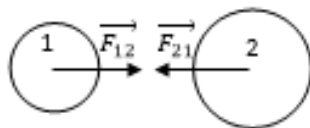
Көлбеу жазықтықта дене (білеуше) орналасқан. Егер ол тыныштық қалпын сақтаса, демек, оған әрекет ететін күштер теңгерілген. Мектеп бағдарламасы есептерінде бұндай жағдайда денеге үш

түрлі күш әрекет етеді деп алынады: ауырлық, үйкеліс және тірек реакциясы күштері. Бұл тәсіл есептерді шешу үшін ыңғайлы, бірақ физика тұрғысынан нақты емес.

Күш – денелердің өзара әрекеттесу шарасы, Ньютонның үшінші заңына сәйкес,

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (1)$$

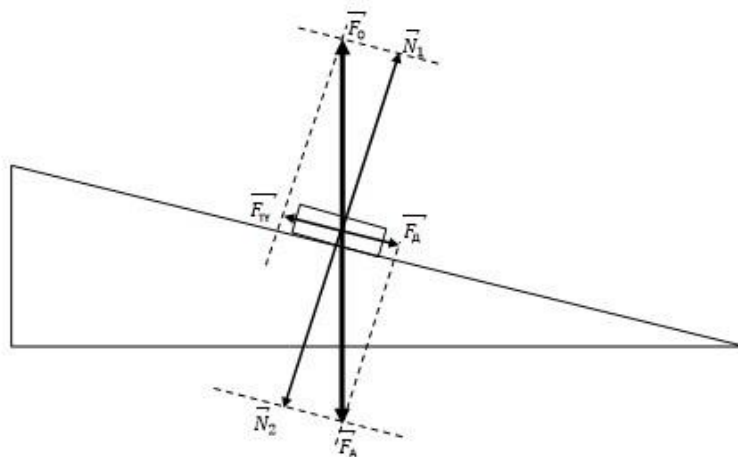
екі дене бір-біріне мәні бойынша тең, бағыты бойынша қарама-қарсы күшпен әрекет ететінін ескерейік (сурет 2).



Сурет 2. Екі дененің өзара әсері

Бұл ретте өзара әрекеттесетін денелердің әрқайсысына бір ғана күш әсер етеді.

Егер N денелер өзара әрекеттессе, онда әрбір денеге $(N - 1)$ дене әрекет етеді, демек, күш саны да сондай, яғни $(N - 1)$. Көлбеу жазықтықта жатқан денеге екі зат әсер етеді: Жер және тірек (көлбеу жазықтық). Жер денеге тігінен төмен бағытталған \vec{F}_a ауырлық күшімен әсер етеді. Егер дене тыныштық сақтап тұрса, онда тірек денеге тігінен жоғары бағытталған, модуль бойынша ауырлық күшіне тең \vec{F}_0 күшпен әсер етеді (сурет 3).



Сурет 3. Көлбеу жазықтық үстінде тыныштық сақтаған дене

Ауырлық күшінің табиғаты – гравитациялық өзара әрекеттесу, \vec{F}_0 күшінің табиғаты - атомаралық (молекулааралық) өзара әрекеттесу. Келтірілген есептердің шешуін ыңғайлардыру үшін \vec{F}_0 күш векторын екі өзара перпендикулярлы компоненттерге бөлу абзал: бірін - \vec{N}_1 көлбеу жазықтыққа перпендикулярлы (нормалды), екіншісін - \vec{F}_{tv} жазықтыққа параллельді (жанама, немесе тангенциалды). Көлбеу жазықтыққа перпендикуляр компонентін \vec{N}_1 тірек реакциясының күші деп атады, бірақ мағынасы бойынша бұл атауды \vec{F}_0 күшіне қолдану керек еді. Тірек реакциясы ұғымы тарихи түрде көлденең жазықтыққа қатысты. Мұндай сәйкессіздік, бәлкім, осы себептен болар.

Бұл жерде көлденең жазықтықтағы дене туралы есептегідей жазықтыққа параллель компонентін \vec{F}_{tv} , тыныштық үйкеліс күші деп атады. Осылайша, бір күштің екі құрамдас компоненттері ретінде, тірек реакциясы мен тыныштық үйкеліс күші атомаралық өзара әрекет бойынша бірдей физикалық табиғатқа ие болды.

Ауырлық күшін де екі компонентке бөлуге болады – көлбеу жазықтыққа перпендикуляр \vec{N}_2 және параллель \vec{F}_d . Олардың біріншісі \vec{N}_2 қалыпты қысым күші, ал екіншісі - \vec{F}_d домалау күші деп аталады. Күшті күш теңгереді. Күштің болуы дене жағынан жазықтыққа әсер ететін модуль бойынша тең және бағыты бойынша қарсы тыныштық үйкеліс күшінің пайда болуына себепші.

Бұл есепте өзара әрекеттескен денелердің екі жұбы бар екенін ескеру қажет: дене – Жер және дене – көлбеу жазықтық. Көлбеу жазықтық - Жер жұбы қарастырылмайды, өйткені көлбеу жазықтық

жердің бір бөлігі болып есепке алынады. Естерімізге салсақ, Ньютонның үшінші заңына сәйкес, жұпты құрайтын екі дене бір бірімен модулі тең, бағыты қарама-қарсы күштермен әрекет етеді.

3 Мысал.

Автокөлік түзу жазық жолмен тұрақты жылдамдықпен қозғалады. Ньютонның екінші заңына сәйкес, мұндай қозғалыс мүмкін болады, егер автомобильге әсер ететін күштер теңгерілген болса. Тік бағытта ауырлық күші (жолдың) тірек реакциясы күшімен теңгерілген. Әдетте көлденең бағытта қозғалтқыш жасаған тарту күшін үйкеліс күші теңгереді деп есептеледі.

Мектеп бағдарламасының физика есептерінде үйкеліс күшінің екі түрін де, яғни домалау және тыныштық, ескеру керектігіне аса назар аударылмайды. Ньютонның екінші заңы көлденең оське проекцияда жазылуы

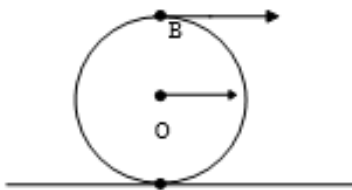
$$\vec{F}_T = \vec{F}_Y \quad (2)$$

\vec{F}_T - тарту күші, \vec{F}_Y - үйкеліс күші.

Бірқалыпты қозғалыс кезінде тарту күшін домалау үйкеліс күші теңгереді. Бұл жерде тыныштық үйкеліс күшінің рөлі мүлдем қарастырылмайды немесе жеңіл түрде қарастырылады. Ньютон заңына сәйкес, егер денеге теңгерілмеген күш әсер етсе, онда дене үдеумен қозғалады. Дөңгелекке әсер ететін тыныштық үйкеліс күші автомобильдің қозғалысы бойынша бағытталған және, Ньютонның екінші заңына сәйкес, алға бағытталған үдеуімен қосымша тарту күші әсерінен жасалған үдеудің пайда етілуі тиіс пе (?!).

4 Мысал.

Айналмалы цилиндр үстелдің көлденең бетіне құлайды. Бетпен жанасу кезінде цилиндрдің тік жылдамдығы нөлге айналады деп есептейік. Үстелге түскеннен кейін цилиндр өзінің жоғарғы нүктелері қозғалатын жаққа қарай жылжи бастайды (4 суретте оңға).



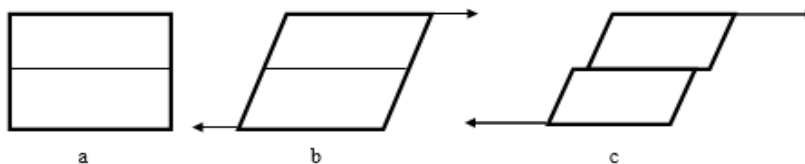
Сурет 4. Цилиндр тербелісі

Оңға бағытталған цилиндрге әсер ететін жалғыз күш - тыныштық үйкеліс күші. Логикалық қорытынды: цилиндрді жазықтық бетімен қозғалуға мәжбүрлейтін күш – тыныштық үйкеліс күші. Бірақ тыныштық үйкеліс күші, анықтамасына сәйкес, бір денені екіншісінің бетімен жылжытуға тырысатын күш болған жағдайда ғана пайда болады. Біздің мысалда бұл қандай күш? Цилиндрге тек үстел әсер етеді, демек, тек сол ғана осы күштің "көзі" болуы мүмкін. Цилиндрдің домалауы кезінде домалау үйкеліс күші пайда болады, ол ақыр соңында денені тоқтатады. Домалау үйкеліс күшінің "көзі"-де сол үстел. Бір дене (үстел) жағынан екінші денеге (цилиндрге) әсер ететін екі үйкеліс күші бір-біріне қарама-қарсы бағытталған ба (?!).

Қатты дене деформациясы.

Сонымен, тірек реакциясы мен тыныштық үйкеліс күші жалпы физикалық табиғатқа ие - атомаралық (молекулааралық) өзара әрекетке. Қазіргі ғылымның мәліметтерін ескере отырып, бұл табиғатты физикалық материалтану (немесе қатты дене физикасы) ұғымдары негізінде қарастырған жөн. Қатты денені (кристалды) параллелепипед түрінде қарастырайық (сурет 5a).

Егер оған ығысу күші әсер етсе, ол деформацияланады – басында серпімді (сурет 5b). Серпімді механикалық кернеу дененің жоғарғы бөлігін оңға, ал төменгі бөлігін солға жылжу қозғалысына кедергі келтіреді. Кейін ығысу кернеуі ұлғайған кезде пластикалық деформация, соңынан әлсіз жерде сыну құбылысы орын алуы мүмкін, яғни бір дененің екіге бөлінуі (5c суретте орташа сызығы). Одан кейін дененің жоғарғы бөлігі оның төменгі жағымен (үйкеліспен) сырғи бастайды.



Сурет 5. Ығысумен деформацияланатын қатты дене

Үйкеліс және серпімділік.

Жоғарыда қарастырылған мысалдардағы жағдайларды талдау мақсатында келтірілген пайымдауларды қолданамыз:

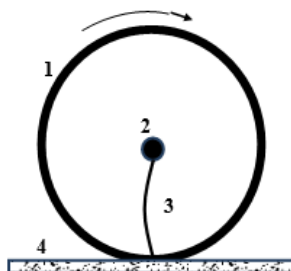
1. 1 мысалда дененің тыныштық жағдайы немесе бірқалыпты қозғалысы кезінде үйкеліс күші болмайды. Молекулааралық өзара әрекеттесудің арқасында екі білеуше іс жүзінде бір қатты денені білдіреді (5 суретте дененің екі бөлігі тәрізді), ал олардың жанасу беті ақау - бөлім шекарасы ретінде қарастырылуы мүмкін. 1-ші дененің төменгі бөлігінің үдемелі қозғалысы оның жоғарғы бөлігінде серпімді кернеулердің пайда болуын тудырады, олар 2-ші денеге беріледі, сонымен жоғарғы дене төмендегімен бірге қозғалуды бастайды. Серпімді кернеулер жоғарғы денені төменгі дене бойымен сырғуына жол бермейді, осылайша тыныштық үйкелісі пайда болады. Демек, жоғарғы денелерді жылжытуға мәжбүрлейтін күш - деформацияға байланысты серпімділік күші. Тыныштық үйкеліс күші әлі де бір-біріне қатысты денелердің сырғанауына қарсы тұрады. Біріктірілген дене жанасу жазықтығы бойынша екіге бөлініп, бір-біріне қатысты қозғалады, ал атомаралық өзара әрекеттесу сырғу күшінің пайда болуына себепші болады.

2. Үйкеліс күшіне қатысты көлбеу жазықтықтағы есеп қарастырылған жағдайға ұқсас келеді.

3. Дөңгелек арқылы берілген мысалдағы дөңгелектің жолға ілінісуінің болуын (тыныштық үйкелісі) – олардың бір денеге біріктіру фактісі ретінде қарастыруға болады. Автомобиль қозғалтқышының күші дөңгелектің (күштің оське қосылуы*), жоғарғы бөлігін қажетті бағытта, ал төменгі бөлігін – қарама-қарсы бағытта қозғалатындай етіп бұруға тырысады. Егер дөңгелектің екі бөлігіне ештеңе кедергі келтірмесе, ол айналады, бірақ автокөлік орнында қалады. Егер дөңгелектің төменгі бөлігі жолға байланысты болса, онда дөңгелектің осіне қосылған қозғалтқыштың күші дөңгелек материалында ығысу және серпімді механикалық күштер (кернеулер) деформациясының пайда болуына себепші болады.

Осының салдарынан дөңгелектің жоғарғы бөлігі, ось және автокөлік өзі-де алға жылжи бастайды. Бұл жағдайда дөңгелектің жолға ілінуі оның төменгі бөлігінің жолға қатысты қозғалуына (сырғанауына) кедергі келтіреді, демек, тыныштық үйкелісі рөлін атқарады. Тыныштық үйкеліс күші - біріккен дененің бұзылуына жол бермейтін күш. Дөңгелекті алға жылжытуға мәжбүрлейтін қозғаушы күштің рөлін серпімділік күші атқарады. Аталған мәселені келесі тәжірибеде көрсетуге болады. (*Мұнда математикалық айналу осі емес, техникалық бөлшек – дөңгелек бекітілетін автомобиль бөлігі қарастырылған).

Тағы бір мысал қарапайым велосипед дөңгелегімен келтірейік. Эксперимент үшін оның барлық сымдарды алып тастап, үш-төртеуін ғана қалдырамыз. Алдына қандай да бір кедергі қойып, дөңгелек шанағын жолға (еденге) қысамыз және орталық бөлігін бұра бастаймыз. Бұл жағдайда сымдардың майысатынын (деформацияланатынын) көруге болады.



Сурет 6. 4 - жол үстіндегі 1 - дөңгелек; 2 - ось, 3 – сым

Егер сымдар жақсы болаттан жасалған болса, деформация серпімді болады. Серпімділік күші сымның екі нүктесінде - осьте де шанақта да бірдей екені анық. Деформация аз жағдайда, дөңгелек айналмайды, өйткені сымдағы серпімділік күшіне тең тыныштық үйкеліс күші пайда болады. Сымның серпімділік күші жолға әсер етеді. Бірақ жолдың өзі де деформацияланады (тек серпімді деформацияны қарастырылады!). Жолдың серпімділік күші Ньютонның үшінші заңына сәйкес дөңгелекке әсер етеді және бұл екі күш бір-біріне тең. Егер енді кедергіні алып тастасаңыз, дөңгелек серпімділік күшінің әсерінен дөңгелейді.

Сымдар түзеле бастайды, серпімділік күші, сонымен бірге, дөңгелектің үдеуі де азаяды. Серпімділік күші домалау күшінен кем болғанда, қозғалыс баяулайды.

Сонымен, дөңгелектің жолмен жанасу жерінде сымдарда пайда болатын серпімділік күші дөңгелекті алға жылжытуға тырысатын күш рөлін атқарады, ал жолдың серпімділік күші – тыныштық үйкелісінің рөлін атқарады. Сымның дөңгелек осімен қосылған жерінде ешбір күшпен теңгерілмеген серпімділік күші тарту күшінің рөлін атқарады.

Нақты көлік құралдарының дөңгелектерінің жасалуы оларда пайда болатын серпімді деформацияның аздығын көрсетеді. Сырттай байқалмаған мен, ол әрқашан орын алады, сондықтан мұнда келтірілген тұжырымдар түрлі материалдардан жасалған кез келген дөңгелектерге толық қатысты.

1. Дөңгелек жылжыған кезде, оның артқы бөлігінде молекулааралық байланыстардың үзілуі орын алады, байланыс энергиясы жылу энергиясына айналады. Осы құбылысқа механикалық энергияның бір бөлігі жұмсалады, ол әдетте үйкеліс күшінің, бұл жағдайда домалау үйкелісінің жұмысы ретінде қарастырылады.

2. 4 мысалда цилиндр жазықтықпен жанасқанда, олар қысқа уақыт мерзімге біріктірілген денені құрайды. Бұл жағдайда пайда болатын атомаралық өзара әрекеттесу күштері (тыныштық үйкеліс күші) цилиндрге жазықтық бойымен сырғанауға мүмкіндік бермейді. Алайда, импульс моментінің сақталу заңына сәйкес цилиндрдің айналуы тоқтаталмайды. Цилиндрдің жоғарғы бөлігі инерция бойынша бұрынғы бағытта қозғалады, бұл цилиндр мен жазықтық арасындағы байланысты үзетін күштің пайда болуына әкеледі.

Іс жүзінде бұл жағдай шұғыл тежелінген автобуста тұрған адамның құлау жағдайына ұқсас - құлауды тыныштық үйкеліс күші емес, кедергі болатын инерция бойынша қозғалыс мәжбүр етеді.

Осыған ұқсас талдауды үйкеліс күштерімен байланысты басқа да есептерде жасауға болады. Қалай болғанда да үйкеліс күші, нақты айтқанда, тыныштық үйкеліс күші қозғаушы күш бола алмайды.

Қорытынды

Тыныштық үйкеліс күшінің қозғаушы күш болып көрінетін жағдайларды көптеген мысалдардан келтіруге болады, бірақ бұл қозғалысқа қарсы тұрған үйкеліс күшін анықтамасына қайшы келеді. Оның үстіне, кейбір механика есептерін шешкен кезде үйкеліс күшін Ньютонның екінші заңы теңдеуіне формальды түрде енгізуге болады. Егер жанасқан денелердің салыстырмалы ықтимал қозғалысы кезінде пайда болатын күштерді деформацияланған қатты дене физикасы тұрғысынан егжей-тегжейлі қарайтын болсақ, қарама-қайшылық жойылады [7].

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Башарұлы Р. Физика: Жалпы білім беретін мектептің 7-сыныбына арналған оқулық. – Алматы: Атамұра, 2017. – 208 б.

2 Тоқбергенова У.Қ., Кронгарт Б.А. Физика: Жалпы білім беретін мектептің 7-сыныбына арналған оқулық. – Алматы: Мектеп, 2017. – 200 б.

3 Трофимова Т.И. Основы физики. Механика: учеб. пособие. - М.: КНОРУС, 2011. – 224 с.

4 Савельев И.В. Курс общей физики. В 5-ти т. Том 1. Механика. Учебн. пос., 5-е изд. – СПб. Лань. 2011. – 352с.

5 Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. М: Сов. энциклопедия, 1984. – 944 с. - с. 765.

6 Орысша-қазақша түсіндірме сөздік: Механика / Жалпы редакциясын басқарған э.ғ.д., профессор Е. Арын - Павлодар: «ЭКО» ҒӨФ. 2007. - 291 б.

7 Kassenova L.G. Elements of innovation in learning physics students of technical specialties in the conditions of modernization of education. // Вестник КазНПУ, серия «Физико-математическая». – 2019. - №3 (67). - С.154-158

References

- 1 Basharyly R. (2017) *Fizika: Zhalpy bilim beretin mekteptin 7-synybyna arналған оқулық [physics: textbook for the 7th grade of a general education school]*. Almaty, Atamura. 208. (In Kazakh)
- 2 Toqbergenova U.Q., Krongart B.A. (2017) *Fizika: Zhalpy bilim beretin mekteptin 7-synybyna arналған оқулық [physics: textbook for the 7th grade of a general education school]*. Almaty, Mektep. 200. (In Kazakh)
- 3 Trofimova T.I. (2011) *Osnovy fiziki [Fundamentals of physics]*. *Mehanika: ucheb. posobie. KNORUS. 224.* (In Russian)
- 4 Savel'ev I.V. (2011) *Kurs obshhej fiziki [Course of general physics]. V 5-ti t. Tom 1. Mehanika. Uchebn. pos., 5-e izd. SPb. Lan'. 352.* (In Russian)
- 5 A. M. Prohorov (1984) *Fizicheskij jenciklopedicheskij slovar' [Physical Encyclopedic Dictionary]. Sov. jenciklopedija. 944. 765.* (In Russian)
- 6 E. Aryn (2007) *Oryssha-qazaqsha tusindirme sozdik: Mehanika [Russian-Kazakh Explanatory Dictionary: mechanics]. Zhalpy redakcijasyn basqargan. Pavlodar: «JeKO» GOF. 291.* (In Kazakh)
- 7 Kassenova L.G. (2019) *Elements of innovation in learning physics students of technical specialties in the conditions of modernization of education. Vestnik KazNPU, serija «Fiziko-matematicheskaja». №3 (67). 154-158.* (In English)