

МРНТИ 29.15.39  
УДК 539.14

<https://doi.org/10.51889/2021-1.1728-7901.18>

А.К. Шоканов<sup>1</sup>, Б.Е. Евниев<sup>2</sup>, Е.А. Оспанбеков<sup>1\*</sup>, Ұ.П. Алғазы<sup>1</sup>, С. Жұмақын<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ., Қазақстан

\*e-mail: os\_erbol@mail.ru

## «МЕССБАУЭР ЭФФЕКТИСІ» ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСЫ

*Аңдатпа*

Бұл мақалада «Мессбауэр эффектісі» физикалық құбылысы, оны қолдану және ғылым үшін практикалық маңызы өзекті болып табылады. Мақалада  $\gamma$ -сәулеленудің резонанстық көріністері, осы әсердің ашылу тарихы және ғалым жүргізген тәжірибелер туралы айтылады. Ядроның ыдырауы, қозған күйдің энергиясы және берілген эффект арқылы энергияны өлшеу туралы ұғымдар қарастырылады.

Мессбауэр эффектісі-ғылымның көптеген салаларында қолданылатын физикалық құбылыс, мысалы: химия, ядролық физика, қатты дене физикасы және т. б. Бұл жұмыс Мессбауэр эффектінің мәнін түсіндіруге және бұл әсердің ашылуы тұтастай ғылым үшін үлкен іргелі және практикалық маңызы бар екенін көрсетуге арналған.

**Түйін сөздер:** резонанстық жұтылу,  $\gamma$ -сәулелену, ядроның ыдырауы, энергия, изотоптар, кристалл, кристаллдық тор, Мессбауэр эффектісі.

*Аннотация*

А.К. Шоканов<sup>1</sup>, Б.Е. Евниев<sup>2</sup>, Е.А. Оспанбеков<sup>1</sup>, Ұ.П. Алғазы<sup>1</sup>, С. Жұмақын<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Кокшетауский университет им. Абая Мырзахметова, г. Кокшетау, Казахстан

## ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ «ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА»

В данной статье актуальностью является физическое явление «эффект Мессбауэра», его применение и практическое значение для науки. В статье речь идет о резонансных поглощениях  $\gamma$ -излучения, история открытия данного эффекта и опыты проведенного ученым. Рассматриваются понятия о распаде ядра, энергия возбужденного состояния и измерение энергии с помощью данного эффекта.

Эффект Мессбауэра – это пример физического явления, которое нашло применение во многих областях науки: химии, ядерной физике, физике твердого тела и т.д. Данная работа призвана объяснить суть эффекта Мессбауэра и показать, что открытие этого эффекта имело большое фундаментальное и практическое значение для науки в целом.

**Ключевые слова:** резонансное поглощение,  $\gamma$ -излучение, распад ядра, энергия, изотопы, кристалл, кристаллическая решетка, эффект Мессбауэра.

*Abstract*

## THE PHYSICAL PHENOMENON OF THE «MÖSSBAUER EFFECT»

Shokanov A. K.<sup>1</sup>, Evniev B. E.<sup>2</sup>, Ospanbekov E. A.<sup>1</sup>, Algazy U.P.<sup>1</sup>, Zhumakyn S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Abay Myrzakhmetov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan

In this article, the relevance is the physical phenomenon of the "Mössbauer effect", its application and practical significance for science. The article deals with resonant absorptions of gamma radiation, the history of the discovery of this effect and the experiments conducted by the scientist. The concepts of the decay of the nucleus, the energy of the excited state, and the measurement of energy using this effect are considered.

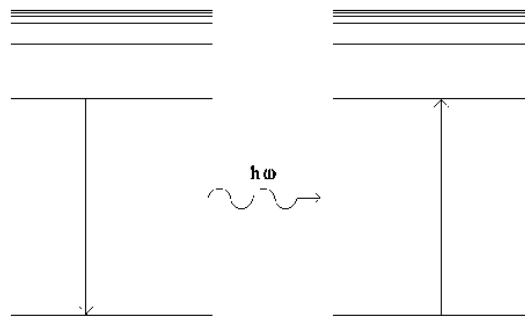
The Mossbauer Effect is an example of a physical phenomenon that has found application in many fields of science: chemistry, nuclear physics, solid-state physics, etc. This work is intended to explain the essence of the Mössbauer effect and to show that the discovery of this effect was of great fundamental and practical importance for science as a whole.

**Keywords:** resonant absorption, gamma radiation, nuclear decay, energy, isotopes, crystal, crystal lattice, Mössbauer effect.

Мессбауэр эффектін сипаттау үшін алдымен бос ядролардың  $\gamma$ -кванттарды шығару және жұтылу құбылысын қарастырылады. Сәулеленудің резонанстық жұтылуы келесі жағдайдан тұрады: егер екі бірдей орта болса, олардың біреуі тербеліс қозғалысының энергиясын шығарса, онда екінші ортаға түсетін сәуле оған сіңеді, ал екінші ортаның өзі сәулелену көзіне айналады.

Бұл құбылыстың мысалы ретінде резонансқа келтірілген екі баптағышты айтуға болады, яғни бірдей табиғи жиілікке (акустикалық резонанс) немесе екі бірдей атомға ие (жарықтың резонанстық жұтылуы). Бұл әсерді 1904 жылы Р.Вуд байқады.

Қоздырылған натрий буларын жарық көзі ретінде таңдап, ол сары сызықты таңдап, оны натрий буымен бірге көлемге жіберді, нәтижесінде көлем барлық бағытта сәуле шығарып, сары жарықпен жана бастады, басқаша айтқанда, натрий атомдары берілген толқын ұзындығымен сәулені жұтады. Жұтқыш пен шығарғыштың энергия деңгейлеріне сәйкес келетін  $h\omega$  шығарғыш квантын үлкен тиімділікпен жұтуына байланысты, жұту атомдары шығарғыш атомдарымен бірдей деңгейге қозды және өздері бірдей кванттарды шығара бастады.



Сурет 1. Сәулелену квантының резонанстық жұтылуы

Ядродағы гамма-кванттар деп аталатын жоғары энергияның деңгейлері арасындағы ауысулар электромагниттік сәулеленудің кванттарын шығаруға немесе жұтылуға әкеледі. Гамма-кванттар үшін де резонанстық жұтылу құбылысын күту табиғи болар еді, бірақ бұл құбылысты ұзақ уақыт байқау мүмкін болмады.

Оның себебі келесідей болды: эмиссия кезінде де, жұтылу кезінде де кері ығысу құбылысы пайда болады,  $\Delta E_R$  энергиясының белгілі бір бөлігі ядроға өткенде, нәтижесінде шығарылған квант өтпелі энергиядан аз болып шығады. Егер сәуле шығару және жұту сызықтары қабаттаспаса (немесе әлсіз қабаттасса), мұндай квантты абсорбер сіңіре алмайды. Оптикалық аймақ үшін сәуле шығару және жұту сызықтарының жылжуы сызық еніне қатысты шамалы болып шығады және резонанстық жұтылу байқалады. Квантов-квант үшін іс жүзінде ешқандай қабаттасу жоқ және жоғарыда айтылғандай, еркін атомдар үшін резонанс жұтылу байқалмады [5].

Массасы  $M$  болатын ядроның энергиясы  $E_0$  қозған күйде болсын. Бұл күйдің ыдырауы кезінде энергиясы  $E_\gamma$  және  $p_\gamma = E_\gamma / c$  импульсі бар  $\gamma$ -квант шығады. Жердегі бірдей ядро үшін берілген  $\gamma$ -кванттың жұтылу ықтималдығы жоғары болады деп күтуге болады. Алайда, іс жүзінде ыдырау энергиясының бір бөлігі  $R$  ядросының кері қайтарылу энергиясына жұмсалады, яғни шығарылған  $\gamma$  кванттың энергиясы мынаған тең болады:

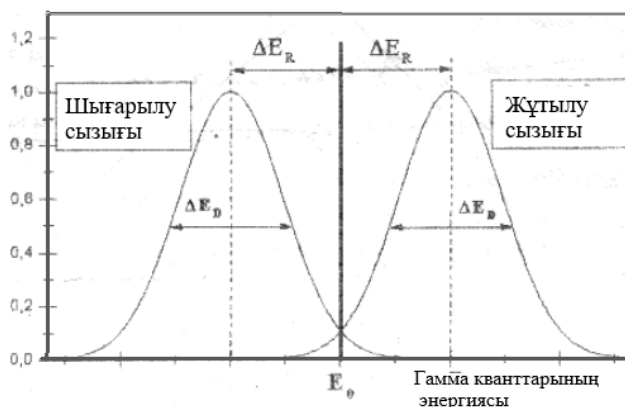
$$E_\gamma = E_0 - R$$

Импульстің сақталу заңын және  $E_0$ -мен салыстырғанда энергияның аз мөлшерін ескере отырып, келесі өрнекті жазуға болады:

$$R = E_0 / 2Mc^2$$

Жылу қозғалысымен байланысты  $\gamma$ -квант энергиясының өзгеруін де ескеру қажет. Доплер әсеріне байланысты, егер ядрода  $\gamma$ -кванттың шығарылу бағытында  $v$  жылдамдығы болса, онда  $\gamma$ -кванттың энергиясы мына шамаға өзгереді:

$$\Delta E_{\gamma} = E_{\gamma} \frac{v}{c}$$



Сурет 2. Бос атомдардың сәулелену спектрі және жұтылу спектрі.  
 $E_0$  - гамма ауысу энергиясы,  $\Delta E_R$  - гамма квантын шығару (сіңіру) кезіндегі ядроның кері қайтарылу энергиясы,  $\Delta E_D$  - доплер сызығының кеңеюі.

Сонымен,  $E_0$  пен  $\gamma$ -кванттық энергияның айырмашылығы ядроның кері қайту энергиясымен және доплер кеңеюінің энергиясымен анықталады:

$$E_0 - E_{\gamma} = \frac{E_0}{2Mc^2} - E_{\gamma} \frac{v}{c}$$

Атомды кері қайтару үшін жоғалған гамма ауысу энергиясының үлесі аз: энергиясы 100 кэВ гамма кванты және массасы 100 ядросы үшін ол тек  $5 \cdot 10^{-7}$  құрайды. Алайда, бұл энергия шығыны  $\gamma$ -сәулелерінің ішкі сызық енімен, яғни  $\gamma$ -сәулелерінің энергиясы ядроның қасиеттерімен анықталатын дәлдікпен салыстырған кезде айтарлықтай болып шығады. Ақырғы ішкі ені белгісіздік қатынастарының салдары болып табылады.

$$\Gamma \tau = \sim.$$

Осы формула бойынша  $10^{-7}$  с өмір сүру уақыты (типтік мән)  $4,6 \cdot 10^{-9}$  эВ сызық еніне сәйкес келеді, бұл ядроның кері қайтуы үшін жоғалған энергиядан әлдеқайда аз. Нәтижесінде сәулелену сызығы абсорбция сызығымен қабаттаспайды және резонанстық жұтылу байқалмайды.

Жылдамдығы жеткілікті үлкен болатын ядролар үшін (ондаған және жүздеген м/с) резонанстық жағдайды қалпына келтіруге болады. Әдетте, эмиссия және жұтылу сызықтары арасында өте аз қабаттасулар бар. Қабаттасуды абсорберге қарай бастапқы ядроларға трансляциялық жылдамдық беру арқылы арттыруға болады.

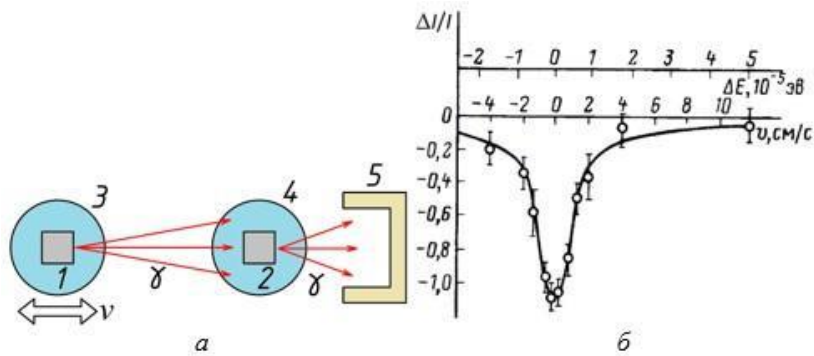
Мессбауэр эффектiсi - қатты денеде болатын физикалық құбылыс. Ол ядроның кері қайтарылу әсерінен гамма-сәулелену энергиясының бір бөлігін жоғалтпастан және байланысқан күйде радиоактивті атомның гамма-сәулесін шығарудан тұрады.

Бұл әсерді сапалы түрде келесідей түсіндіруге болады. Гамма-квант шығарылған кезде кері серпін шығарушы жүйеге ауысуы керек, бірақ бос ядро жағдайынан айырмашылығы, бұл жеке ядро емес, кристалды құрайтын ядролардың көп мөлшерінің өзгеруіне әкеледі. Нөлдік емес ықтималдықпен кері серпін бүкіл кристаллға тұтасымен берілуі мүмкін. Кристалдың массасы шексіз үлкен болғандықтан ( $E_0/c^2$ -мен салыстырғанда), мұндай процесте импульстің берілуі энергияның берілуімен жүрмейді, яғни кері қайтару энергиясы жоғалады. Мұндай «қайтарылмайтын» процестің ықтималдығы - Мессбауэр эффектiнiң ықтималдығы. Бұл жағдайда гамма кванты шығарылған кезде кристалдың ішкі энергиясы өзгермейді, яғни кристалл бастапқыда орналасқан сол кванттық күйінде қалады.

1958 жылы неміс физигі Мессбауэр доплердің кеңеюі нәтижесінде сызықтардың жартылай қабаттасуы жағдайында резонанстық жұтылуын зерттеу бойынша тәжірибелер жүргізіп, d көзін және сіңіргішті салқындату арқылы азайтуға шешім қабылдады. Бұл жағдайда желілердің қабаттасу аймағының азаюына байланысты жұтылған фотондар үлесінің төмендеуі күтілді. Оның орнына, тәжірибеде әсердің жоғарылауы анықталды, бұл қабаттасу аймағының ұлғаюын көрсетті [1].

Мессбауэр ол көрген құбылысты былайша түсіндірді. Бос ядроларда резонанстық жұтылу жүрмейді. Бастапқы және сіңіргіш ядролар кристалдық торда болады. Классикалық механика заңдарына сәйкес, еркін ядродан қатты денеге – кристалға көшу кезінде жағдай өзгермейді. Кристалды байланыс күштерінің әсерінен қалпына келтіру әсері жұмсарады, бірақ резонанс жасауға мүмкіндік бермейді. Алайда, қайтару амплитудасы аздығы соншалықты, классикалық емес, кванттық тексеру қажет. Кванттық механикада кристалды байланыстың әсері классикалық механикадағыдай емес, статистикалық түрде көрінеді. Көптеген жағдайларда бастапқы және сіңіргіш ядролар толық қалпына келеді. Бірақ жағдайлардың аз пайызында  $\gamma$ -кванттарды шығару және жұту қайтарусыз жүреді. Қайтарусыз өту шарттары неғұрлым қолайлы болса, ауысу энергиясы неғұрлым төмен болса және кристалл температурасы соғұрлым төмен болады. Кейбір изотоптар үшін бөлме температурасында да айтарлықтай әсер байқалады [2].

3-суретте Мессбауэр әсерін байқау үшін тәжірибе схемасы көрсетілген. 1-ү сәулелену көзі төмен тұрақты жылдамдықпен 2-сіңіргіш бағытында немесе керісінше қозғалады. Сәулелену көзі мен жұтқыш бірдей ядролардан тұрады және төмен температура сақталатын 3 және 4 криостаттарына орналастырылады. Жұтқыштың артында 5 есептегіш орналасқан. Есептегіш жылдамдығының көздің жылдамдығына тәуелділігі өлшенеді. Егер сәулелену көзінің жылдамдығы жеткілікті үлкен болса, онда шығару сызығы Доплер эффектінің арқасында жылжиды, сондықтан резонанстық жұтылу болмайды. Жылдамдық төмендеген кезде доплердің ығысуы төмендейді, ал шығару сызығы жұтылу сызығына жақындай бастайды. Бұл сызықтар қиылысқан кезде қарқынды резонанстық жұтылу басталады. Нәтижесінде санау жылдамдығы  $b$  суретте көрсетілгендей төмендейді. Осылайша, жылдамдықты біртіндеп өзгерте отырып, Мессбауэр сызығының орналасуы мен енін өлшеуге болады [2].



Сурет 3. (а) Мессбауэр әсерін бақылауға арналған эксперимент схемасы.

(б) Мессбауэр тәжірибесінің нәтижесі. Абсцисса осі бойынша  $v$  көзі мен жұтқыштың салыстырмалы жылдамдығы және шығарылған  $\gamma$ -кванттардың  $\Delta E$  энергиясының тиісті өзгерісі сақталады. Ординат осі бойынша бірдей қалыңдықтағы иридий және платиналы жұтқыштар арқылы өтетін  $\gamma$ -сәулелену қарқындылығының салыстырмалы айырмасы  $\Delta I/I$  келтірілген.

Доплер эффектінің әсерінен резонанстан шығу үшін ядро қандай  $v$  жылдамдықпен қозғалуы керек екенін бағалауға болады. Ол үшін  $v$  жылдамдығымен қозғалатын координаттар жүйесіне өту кезінде пайда болатын фотонның  $\Delta E$  энергиясының өсуі деңгейінің  $\Gamma$  енімен теңестіру керек:

$$\Delta E = vE / c$$

$\Delta E = \Gamma$  қойып, жылдамдықты бағалай аламыз:

$$v = c\Gamma / E$$

Төмен жатқан ядролық деңгейлер үшін  $\Gamma/E$  мәні өте аз. Сондықтан жылдамдық үшін кіші мәндер алынады. Мысалы,  $^{191}\text{Ir}$  иридий изотопы үшін  $v$  жылдамдығы 1.2 см/с тең. Мұндай жылдамдықты зертханалық жағдайда механикалық түрде жүзеге асыру және өлшеу оңай [2].

Мессбауэр классикалық теорияның болжамдарына қайшы келетін төмен температурада иридиядағы шашырау деңгейінің жоғарылауын анықтады. Оның ашылуының мәнін түсіну үшін қатты денелерде жүзеге асырылатын үш жағдайды қарастырылады:

1. Егер бос атомның қайтару энергиясы атомның қатты денедегі байланыс энергиясымен салыстырғанда үлкен болса, онда атом тордағы позициясынан шығарылады және бос атом моделі қолданылады;

2. Егер бос атомның қайтару энергиясы тордың тербелістеріне тән энергиясынан (фонон энергиясы) үлкен болса, бірақ ығысу үшін қажет энергиядан аз болса, онда атом өз орнында қалады, ал оның қайтару энергиясы торды жылытуға жұмсалады;

3. Егер қайтару энергиясы фонондардың энергиясынан аз болса, онда тор кванттық жүйе болып табылады, ол өздігінен қоза алмайды және Мессбауэр эффектiсi пайда болады.

$\gamma$ -сәулеленудің ең маңызды қасиеті-сызықтың ені. Егер  $\gamma$ -квантты шығару кезінде тор қозғалса, онда сызықтың тиімді ені фонондардың энергиясына тең болады. Егер тор қозғалмаса, онда фононсыз сәулелену компонентінің ені тек ауысу болатын ядролық деңгейлердің енімен анықталады. Белгісіздік принципіне сәйкес,  $10^{-7}$  с ядросының өмір сүру уақыты  $10^{-8}$  эВ сызығының еніне сәйкес келеді, бұл тор қозған кезде пайда болатын енен алты есе аз. Алайда, бұл сызықтың ені ядроның айналасындағы электрондармен магниттік диполь мен электрлік квадрупольдік өзара әрекеттесу энергиясының тән мәндерінен аз екендігі маңызды. Осылайша, осы өзара әрекеттесулерге байланысты құбылыстарды Мессбауэр эффектiсi арқылы байқауға және зерттеуге болады. Сызық енінің тағы бір сипаттамасы-оның  $\gamma$ -кванттың толық энергиясына қатынасы. 100 кэВ энергиясы үшін және жоғарыда қарастырылған өмір сүру уақыты үшін бұл қатынас  $10^{-13}$  құрайды. Бұл  $\gamma$ -сәулелердің энергиясын  $10^{-13}$  дәлдікпен анықтауға болады деп тұжырымдалады. Сондықтан  $\gamma$  сәулелер физикалық тәжірибелер үшін қолдануға болатын энергия бойынша ең дәл анықталған электромагниттік сәуле болып табылады.

Қазіргі уақытта Мессбауэр эффектiсi 40-тан астам элементтер үшін байқалды. Ең жиі қолданылатын темір  $^{57}\text{Fe}$  және қалайы  $^{119}\text{Sn}$  изотоптары. Келесі изотоптар да жиі қолданылады:  $^{61}\text{Ni}$ ,  $^{67}\text{Zn}$ ,  $^{99}\text{Ru}$ ,  $^{121}\text{Sd}$ ,  $^{125}\text{Te}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{151}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Gd}$ ,  $^{166}\text{Er}$ ,  $^{169}\text{Tm}$ ,  $^{170}\text{Yb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{182}\text{W}$ ,  $^{191}\text{Ir}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{237}\text{Np}$  және т.б. [3, 4].

Қорытындылай келе, Мессбауэр эффектiсi-сол заттың көзінен фотондардың ядролық деңгейлерінің резонанстық қозуы. Резонансты қозуды байқаудың қиындығы ядролық деңгейлердің табиғи ені шығаратын немесе жұтылатын ядролардың кері қайтарылу энергиясымен салыстырғанда едәуір аз болуына байланысты. Отандық ғалымдарымыз Қазақстанның Екібастұз, Шұбаркөл және Қаражыра кен орындарының көмірін Мессбауэр спектроскопиясы арқылы кешенді зерттеулер жүргізді. Көрсетілген көмірдің фазалық және элементтік құрамы туралы алынған ақпарат олардың жоғары температурадағы әрекетін болжау үшін қызығушылық тудырды. Зерттеу нәтижелері басқарылатын жағу әдістерімен көмір қабаттарын өңдеу кезінде от кенжарының жылжуын мониторингтеудің қашықтықтан технологияларын әзірлеу кезінде пайдаланылу мүмкіндігі бар.

Құрамында темір бар минералдардың фазалық құрамын және олардағы Темірдің электронды құрылымын егжей-тегжейлі анықтау барысында  $100 \text{ мг/см}^2$  мөлшерінде аспалар парафинмен араластырылып, сіңіргіштер дайындалды. Мессбауэр үлгілерінің спектрлері бөлме температурасында MS-1104cm спектрометрінде өткізу геометриясында тіркелді, хром матрицасында  $\gamma$ -квант көзі  $^{57}\text{Co}$  болды. Мессбауэр спектрлерін өңдеу SpectrRelax бағдарламасының көмегімен жүзеге асырылды. Нәтижесінде көмірдің бейорганикалық бөлігінің минералогиялық құрамы кен орнынан да, сол кен орнының әртүрлі учаскелерінен де айтарлықтай ерекшеленетіні анықталды [6].

Демек, Мессбауэр эффектiсi ғылымның әртүрлі салаларында көптеген қосымшаларды тапты. Мысалы, Мессбауэр эффектiсiнің көмегімен Мессбауэр ядроларының деңгейлерінің ені өлшенді, белгісіздіктердің арақатынасы тексерілді, фотон энергиясының ауырлық күшіне байланысты көздің биіктігіне тәуелділігі өлшенді. Мессбауэр спектрлерін декодтау химиялық құрамды анықтауға және заттардың кристалды құрылымдарының ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Вертхейм Г. Эффект Мессбауэра. Издательство «Мир», 1966.
2. Делягин Н. Н., Еременко Д. О., Корниенко Э. Н., Кузаков К. А., Платонов С. Ю., Сомиков А. В., Шпилькова Л. Г., Яковлева Г. Н., Эффект Мессбауэра. Учебно-методическое пособие. — М.: 2010
3. Фабричный П.Б., Похолок, К.В. Мессбауэровская спектроскопия и ее применение для химической диагностики неорганических материалов. // Курс лекций для студентов и аспирантов хим. факультета МГУ, 2012
4. Белозерский Г. Н. Мессбауэровская спектроскопия как метод исследования поверхностей. М., 1990
5. Афанасьев А. М., Мессбауэра эффект, Физическая энциклопедия, том 3, стр. 100, Москва 1992.
6. Верещак М.Ф., Манакова И.А., Шоканов А.К., Мессбауэровские исследования минералов, содержащихся в углях Казахстана, Вестник НЯЦ РК.-выпуск 4, декабрь 2019.- Б. 13-17.

References

1. Verthejm G. (1966) *Jeffect Messbaujera [Mossbauer effect]. Izdatel'stvo «Mir» (In Russian)*
2. Deljagin N. N., Eremenko D. O., Kornienko Je. N., Kuzakov K. A., Platonov S. Ju., Somikov A. V., Shpin'kova L. G., Jakovleva G. N., (2010) *Jeffect Messbaujera.[Mossbauer effect] Uchebno-metodicheskoe posobie. (In Russian)*
3. *Fabrichnyj P.B., Poholok, K.V. (2012) Messbaujerovskaja spektroskopija i ee primenenie dlja himicheskoj diagnostiki neorganicheskikh materialov[Mossbauer spectroscopy and its application for chemical diagnostics of inorganic materials]. // Kurs lekcij dlja studentov i aspirantov him. fakul'teta MGU (In Russian)*
4. *Belozerskij G. N.(1990) Mjossbaujerovskaja spektroskopija kak metod issledovanija poverhnostej [Mössbauer spectroscopy as a method for studying surfaces]. M., (In Russian)*
5. *Afanas'ev A. M.,(1992) Messbaujera jeffect, Fizicheskaja jenciklopedija [Mossbauer effect], tom 3, str. 100, Moskva (In Russian)*
6. *Vereshhak M.F., Manakova I.A., Shokanov A.K., (2019) Messbaujerovskie issledovanija mineralov, sodержashhihsja v ugljah Kazahstana [Mössbauer studies of minerals contained in the coals of Kazakhstan], Vestnik NJaC RK. -vypusk 4, dekabr'.- B. 13-17. (In Russian)*