

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASÍ JOQARÍ HÁM ORTA ARNAWLÍ BILIM
MINISTRILIGI**

BERDAQ ATÍNDAĞÍ QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK UNIVERSITETI

FIZIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

FIZIKA KAFEDRASÍ

Fizika-matematika fakultetiniń 4-kurs studenti
Sharafova Zebinisonıń pitkeriw qánigelik jumısı

**Cs/Ba-137m izotoplar generatorında payda bolǵan
izotoplar ushın yarım ıdıraw dáwirin anıqlaw hám
alıńǵan nátiyjelerdi matematikalıq usıllardıń
járdeminde qayta islew**

Ilimiy basshısı hám
kafedra baslıǵı

professor B.Abdikamalov.

Nókis 2019

Mazmunı

Kirisiw.	3
I bap. Izotoplar fizikasınıń tiykargı túsinikleri, izotoplar generatorları hám izotoplardıń tiykargı fizikalıq xarakteristikaların alıw.	5
1-§. Tiykargı túsinikler hám izotoplardıń klassifikaciyası.	5
2-§. Izotoplıq effektlerdiń klassifikaciyası.	6
3-§. Izotoplardıń yadrolıq qásiyetleri.	7
4-§. Radioaktivli izotoplardıń generatorları.	12
5-§. Laboratoriyalıq izotoplıq generatorlar.	17
6-§. Ba-137m generatorı. Ba-137m izotopınıń yarım ıdıraw dáwirin anıqlaw boyınsha laboratoriyalıq jumıslar haqqında maǵlıwmatlar.	19
7-§. I bap boyınsha juwmaqlar hám máseleniń qoyılıwı.	22
II bap. Cs/Ba-137m izotoplar generatorında payda bolǵan izotoplar ushın yarım ıdıraw dáwirin anıqlaw.	24
8-§. Ba-137m izotopınıń yarım ıdıraw dáwirin anıqlawdıń tiykargı principleri.	24
9-§. Eksperimentlerdi orınlaw ushın arnalǵan laboratoriyalıq dúzilis hám onı táriyiplew.	26
10-§. Eksperimentallıq jumıstı orınlaw tártibi.	27
11-§. Eksperimentlerde alınǵan nátiyjeler hám olardı tallaw.	31
Pitkeriw qánigelik jumısı boyınsha ulıwmalıq juwmaqlar.	34
Paydalanılǵan ádebiyatlardıń dizimi.	35

Kirisiw

Izotoplardı izertlew, óndiriw hám paydalanıw máseleleri oǵada hár qıylı jáne ilim menen texnikanıń kóp tarawlarında áhmiyetli orınǵa iye. Izotoplardı paydalanıwdıń diapazonı júdá keń: materiyanıń qurılısınıń universallıq principleri menen Álemniń evolyuciyasınıń ulıwmalıq nızamlıqlarınan baslap jerdegi tiri organizmlerde júretuǵın bioximiyalıq processler menen baylanıslı bolǵan mashqalalarǵa, arnawlı texnikalıq máselelerge shekem. Usınday mániste tábiyattaǵı izotoplıq effektlerdiń kompleksi ilimdeǵı ápiwayı (elementar) hám quramalı qubılıslardıń óz-ara baylanısınıń ayqın illyustraciyası bolıp xızmet etedi [1].

Eń dáslep izotoplardıń fundamentallıq ilimiy izertlewlerdeǵı ornın atap ótiw kerek. Bunday izertlewlerdiń qatarına yadrolıq tásirlesiwlerdiń tábiyatın úyreniw menen Álemdegi nukleogenezis processin rekonstrukciyalaw tábiyattaǵı ximiyalıq elementlerdiń salıstırmalı tarqalıwın úyreniw kiredi.

Ximiyalıq elementlerdiń tarqalıwınıń olardıń atomlıq nomerinen ǵárezliginiń izertlewshilerde qızıǵıw payda etetuǵın ózgeshelikleriniń biri jeńil elementlerden awır elementlerge ótkendeǵı keskin sátsizliktiń bar ekenliginen ibarat (litiy, berilliy, bor hám bunnan keyin uglerodqa). Bul sátsizlik juldızlardaǵı jeńil elementlerdiń sinteziniń nuklonlar hám yadrolar arasındǵı jup soqlıǵısıwlarıdıń hám bunnan keyingi β -ıdırawdıń nátiyjesinde payda bolıwı menen baylanıslı: $d + n \rightarrow T \rightarrow 3He + n \rightarrow ^4Ne$. Sontezdiń juplıq mexanizm geliydiń 4Ne simmetriyalı yadrosında úziledi. 5Ne izotopı joq hám onıń járdeminde awır nuklidlerge ótiwdiń múmkinshiligi joq. Demek, jup soqlıǵısıwlır sxeması boyınsha Álemde awır elementlerdiń bolmawı kerek, al Álem bolsa uglerod, temir h.t.b. elementlersiz organikalıq birikpelerge iye bola almaydı. Sonlıqtan Jerde biologiyalıq tirishiliktiń júzege keliwi múmkin emes. Paradoks uglerodtıń úsh α -bólekshesiniń úsh bólekshelik sinteziniń sxemasınıń járdeminde sheshiledi (Soltiper reakciyası): $3\alpha \rightarrow ^{12}C$. Bul sxema awır elementlerdiń sinteziniń múmkinshiligin ashıp bere aladı.

Ámelde barlıq elementler ushın bir qanshaları (kópshiligi emes) stabilli, al qalǵanları stabilli emes (radioaktivli) bir neshe izotoplar belgili. Yadrolardıń stabilligi protonlar menen neytronlardıń sanınıń bazı bir optimallıq mánisinen awısqa jaǵdayda kishireydi. Al sol optimallıq mánis ortasha massaǵa iye kúshli baylanısqa yadrolarda baqlanadı. Optimumnan awısıw nuklonlardıń baylanıs energiyasın kemeytedi hám izotoptıń stabilliginiń joǵalıwına hám sonıń saldarınan yadrolardıń ıdırawınıń hár qıylı tiplerine alıp keledi.

Házirgi zaman teoriiyası massalıq sanı 110 nan úlken bolǵan asa awır yadrolar ushın "stabillik atawlarınıń" bar ekenligin boljaydı [2]. Sonlıqtan usınday yadrolardı eksperimentallıq izertlew jumısları júrgizilip atır. Bunday oblastlardıń ashılıwı haqqındaǵı sońǵı xabarlar 112-, 114- [3] hám 116-, 118- [4] elementlerdiń sintezi menen baylanıslı. Bul baǵdardaǵı alǵa ilgerilew yadrolıq fizikanıń hám texnologiyalardıń rawajlanıwına keskin túrde tásirín jasay aladı.

Álemdegi ximiyalıq elementlerdiń tarqalıwı fizikalıq hám filosofiyalıq xarakterdeǵı áhmiyetli mashqalanı sheshe aladı. Izotoplar Álemdegi hár qıylı obyektlerdi konstrukciyalaw ushın zárúrli. Mısalı, stabilli izotoplar biziń Álemimizdiń evolyuciyası processinde payda bolǵan bazı bir fragmentler túrinde kórinedi (pútkilley basqa izotoplıq quramǵa iye basqa da álemlerdi kóz aldırǵa keltiriw múmkin). Ayırım uglerodlıq juldızlarda uglerodtıń salıstırmalı tarqalıwı ($^{12}C/^{13}C = 3,4$) jerdegi uglerodtıń izotoplarınıń tarqalıwınan kúshli ayırmaǵa iye (Jerde ($^{12}C/^{13}C = 89$)). Bunday variaciylar juldızlardıń evolyuciyasınıń jollarınıń hár qıylılıǵı menen baylanıslı (juldızlarda bir elementler "janadı" hám sonıń saldarınan ekinshi elementler payda boladı).

Izotopiya qubılısı ashılǵannan beri hám bul qubılıstı paydalanıwdıń hár qıylılıǵı kóp sanlı izertlewshilerdiń dıqqatın ózine awdardı. 1913-jıldıń ózinde verger radioximigi D.Xeveshi hám nemis ximigi F.Panetom tárepinen hár qıylı processlerdi izertlegende tábiyiy zatlarǵa salıstırǵanda ózgeshe izotoplıq quramǵa iye bolǵan zatlardı "belgi" retinde paydalanıwdı usındı. Sol waqıtlardan beri izotoplardı paydalanıw oblastı keskin túrde keńeydi hám tereńlesti. Biraq, sonday bolsa da, izotoplardı hám olardıń birikpelerin paydalanıw oblastı olardı paydalanıwdıń bas sferası bolıp qalmaqta. Mısalı, ayırım eksperimentler radioaktiv izotoplardıń járdeminde ayırım atomlardı tabıwdıń múmkin ekenligin kórsetti. Detektorlawdıń tradiciyaǵa aylanǵan ximiyalıq usılları million millionlaǵan ese tómen. Stabilli izotoplardıń da júdá joqarı sezgirlik penen tabılıwı múmkin (biraq redioaktiv izotoplardı tabıwdaǵı sezgirlikten ádewir tómen).

Biz joqarıda atomlardıń izotoplarınıń ilimdegi, texnikadaǵı hám óndiristegi tutqan ornınıń júdá joqarı ekenligin atap óttik. Sonlıqtan izotoplar fizikasın, olardı alıwdıń hám detektorlawdıń usılların úyreniwdiń fizika iliminiń ayırım tarawlarınıń tiykarların tereń úyreniwge alıp keletuǵınlıǵı haqqındaǵı maǵlıwmatlar berildi.

Házirgi zaman oqıw laboratoriyalarında izotoplar generatorlarınıń járdeminde qısqa jasaytuǵın izotoplardı alıw, bunday izotoplardıń tiykarǵı xarakteristikaların úyreniw múmkinshiligi tuwdırılǵan. Usı tiykarda bul pitkeriw qánigelik jumısı uzaq jasawshı Cs-137 preparatınıń (generatorınıń) járdeminde qısqa jasaytuǵın Ba137m izotopın alıw hám alınǵan izotoptıń radioaktivlik xarakteristikaların eksperimentallıq úyreniw maqsetinde orınlandı.

I bap. Izotoplar fizikasınıń tiykarǵı túsinikleri, izotoplar generatorları hám izotoplardıń tiykarǵı fizikalıq xarakteristikaların alıw

1-§. Tiykarǵı túsinikler hám izotoplardıń klassifikaciyası

Berilgen ximiyalıq elementtiń atomlarınń hár qıylı túrleri sıpatında izotoplardıń bar ekenligi haqqındaǵı maǵlıwmatlar 1906-1910 jılları radioaktivli elementlerdiń qásiyetlerin úyreniwdiń barısında alındı. 1910-jılı Angliya alımı F.Soddi tárepinen "izotop" termini usınıldı. Yadrolarınıń zaryadları Z birdey, al ondaǵı neytronlardıń sanları A hár qıylı bolǵan izotoplardıń elektronlar qabıqlarınıń qurılısı birdey hám usıǵan sáykes bir birine júdá jaqın ximiyalıq qásiyetlerge, sonlıqtan Mendeleevtiń dáwirlik sistemasında bir orınǵa iye boladı (grekshe isos – birdey, topos – orın degen mánisti ańǵartadı). "Izotop" terminin paydalanǵanda usınday atomlardıń yadroların da túsinetuǵınlıǵın atap ótemiz. Hár bir izotoptı (barlıq nuklidlerdi de – berilgen Z hám N ge iye atomlardıń yadroları) AX simvollarınıń jıynaǵı menen belgilew qabıl etilgen (jıy qısqartılǵan AX yamasa ZX belgileri de qollanıladı). Bul simvolda X Mendeleev kestesindegi ximiyalıq elementtiń simvolın, al A bolsa izotoptıń massalıq sanın (yadrodaǵı nuklonlardıń ulıwmalıq sanı) anıqlaydı: $A = Z + N$. Tek vodorodtıń izotopları ǵana óziniń menshikli atamalarına iye. H simvolı jazılǵanda yadrolıq fizikada protiy dep atalatuǵın vodorodtıń 1_1H izotopın túsinedi. Vodorodtıń basqa izotopları 2_1H – deyteriy hám 3_1H – tritiy óziniń belgilewlerine iye (sáykes D hám T). Óziniń menshikli belgilewlerine proton p menen neytron n iye.

Massasınıń shaması boyınsha izotoplardı jeńil ($A < 50$), orta ($50 < A < 100$) hám awır ($A > 100$) dep úshke bóledi. Nuklonlarınń (protonları menen neytronlarınń) sanları birdey bolǵan nuklidler izobarlar dep ataladı, al birdey sandaǵı neytronlarǵa iye yadrolardı izotonlar dep ataydı.

Izotoplardıń ishinde stabilli izotoplar da, stabilli emes, yaǵnıy radioaktivli izotoplar da bar. Bunday radioaktivli izotoplar spontan túrde (yaǵnıy ózinen-ózi) hár qıylı bólekshelerdi shıǵarıw menen basqa yadrolarǵa aylanadı. Bunday processti ıdıraw processı dep ataydı. Radioaktivlik aylanıslarǵa alfa-ıdıraw (bunday jaǵdayda yadrodan alfa-bóleksheleri, yaǵnıy geliy atomınıń yadroları 4_2He ushıp shıǵadı), beta-ıdırawdıń barlıq tipleri (bunday jaǵdayda yadrodan elektron yamasa pozitron ushıp shıǵadı yamasa orbitalıq elektronnıń biri jutiladı), yadrolardıń spontan bóliniwi hám ıdırawdıń bir qatar basqa tipleri kiredi. Bunday jaǵdayda radioaktivli ıdıraw kópshilik jaǵdaylarda bir yadronıń hár qıylı yadroları arasındadı ótiwlerge sáykes keletuǵın gamma-nurlanıwıń payda bolıwı menen ótedi.

Yadronıń jetkilikli dárejede uzaq jasaytuǵın qozǵan halın belgilew ushın (bunday yadrolardı izomerler dep ataydı) qosımsha simvol m kirgiziledi - A_mX .

Radioaktivli izotoplardıń jasaw waqıtın yarım ıdıraw dáwiri $T_{1/2}$ menen xarakterleydi. Onıń shaması radioaktivli yadrolardıń sanı eki ese kemeyetuǵın waqıtqa teń. Hár qıylı izotoplar ushın yarım ıdıraw waqtınıń shaması keń sheklerde ózgere aladı – 10^{-7} sekundtan hám onnan da kishi waqıttan (mısalı, ${}^{212}Po$, ${}^{213}At$, ${}^{217}Ac$ hám basqalar) 10^{17} hám onnan da kóp jılǵa (mısalı, ${}^{82}Se$, ${}^{153}Dy$, ${}^{204}Pb$). Usı jaǵdayǵa baylanıslı barlıq radioaktiv izotoplardı eki toparǵa bóledi — qasqa jasawshı ($T_{1/2} < 10$ sutka) hám uzaq jasawshı ($T_{1/2} > 10$ sutka). Ádette, tábiyiy sharayatlarda tek stabilli izotoplar ǵana ushırasadı. Biraq tábiyatta yarım ıdıraw waqtı Jerdiń jasınan úlken bolǵan izotoplar da ushırasadı ($\sim 10^9$ jıl). Olar Jer payda bolǵalı beri ıdırap úlgermegen (mısalı, $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ jıl bolǵan ${}^{40}K$, $T_{1/2} = 10^{10}$ jıl bolǵan ${}^{232}Th$ yamasa $T_{1/2} = 5 \cdot 10^9$ jıl bolǵan ${}^{238}U$). Usınıń menen bir qatarda Jerdiń betindegi sharayatlarda bir qatar radioaktivli izotoplar kosmoslıq nurlardıń tásirinde júretuǵın

yadroliq reaksiyalarda da payda boladı. Usı qubılıs ushın tán bolğan mısıl retinde atmosferalıq azottan ^{17}C nıń payda bolıwı bolıp tabıladı ($T_{1/2} = 5730$ jıl).

Házirgi waqıtları 107 ximiyalıq elementtiń 270 tey stabilli izotopları hám 2000 nan aslam radioaktivli izotopları belgili. Solardıń ishinde stabilli izotoplar tek $Z < 83$ bolğan elementlerde bar (buğan texneciy ^{43}Ts menen prometiy ^{61}Pm kirmeydi, olar stabilli izotoplarǵa iye emes). Burınları stabilli dep esaplanğan ayırım izotoplardıń sońǵı waqıtları ótkerilgen precizionlı ólsheplerde yarım ıdıraw dáwiri úlken bolğan ázzi radioaktivli ekenligi anıqlandı (mısalı, $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{20}$ jıl yuldğan selenniń $^{82}_{34}\text{Se}$ izotopı). Eksperimentallıq texnikanıń rawajlanıwı menen ólsheplerdiń dálliginiń joqarılawınıń saldarınan usınday izotoplardıń sanı óspekte.

Ayırım elementlerdiń radioaktivli izotoplarınıń sanı júdá úlken hám olardıń sanı jigirmadan asadı (olardıń kópshiligi jasalma jollar menen alınğan). Al stabilli izotoplardıń sanı ádewir kem. Qala berse, jup Z ke iye bolğan elementlerdiń izotoplarınıń sanı joqarı. Mısalı, qalayı ^{50}Sn 10 stabilli izotopqa iye, al ksenon ^{54}Xe bolsa 9 stabilli izotopqa iye. Qatar sanı Z taq bolğan elementler bolsa ádette eki stabilli izotoptan kóp izotopqa iye emes hám olardıń ishinde stabilli tek 1 izotop bolıp tabıladı ($^{23}_{11}\text{Na}$ natriyde, $^{27}_{13}\text{Al}$ alyuminiyde, $^{31}_{15}\text{P}$ fosforda h.t.b.).

2-§. Izotoplıq effektlerdiń klassifikaciyası

Atomlardıń tiykarǵı fizikalıq hám qásiyetleri yadronıń zaryadı boyınsha anıqlanatuǵın bolğanlıqtan, joqarıda ayılıp ótilgenindey, izotoplar bir biri menen júdá jaqın qásiyetlerdi kórsetedi. Biraq usınday jaǵdaylarǵa qaramastan hár qıylı izotoplardıń qásiyetleri pútkilley birdey emes hám bir qatar jaǵdaylarda ádewir ayrıladı. Hár qıylı izotoplarǵa iye berilgen elementtiń yamasa birikpeniń qásiyetleriniń ayırmasın izotoplıq effektler dep ataydı. Kópshilik jaǵdaylarda izotoplıq effektler izotoplardıń massaları M nıń hár qıylı ekenligi menen baylanıslı. Usı jaǵday menen baylanıslı bolğan effektlerdi I áwlad effektler dep ataydı. Bunday effektler ásirese eń jeńil elementler bolğan vodorodta, geliyde, litiyde, berilliyde, uglerodta salıstırmalı túrde kúshli baqlanadı. Bunday elementlerde massanıń salıstırmalı ózgerisi $\Delta M/M$ úlken mániske iye (bul qatnasta ΔM arqalı bir elementtiń izotoplarınıń massalarınıń ayırması belgilengen). Mısalı protiyge iye suwdıń tıǵızlıǵı $0,998 \text{ g/sm}^3$, al deyteriyge iye suwdıń tıǵızlıǵı $1,104 \text{ g/sm}^3$ shamasında. $\Delta M/M < 0,01 \div 0,03$ bolğan jaǵdaylarda zatlardıń makroskopiyalıq qásiyetlerinde I áwlad izotoplıq effektler derlik kórinbeydi. Biraq usınday jaǵdaylarǵa qaramastan izotoplardı bir birinen ayırıw, detektorlaw ushın $\Delta M/M < 0,01 \div 0,03$ bolğan jaǵday tolıq jetkilikli.

Ximiyalıq aylanıslarda tikkeley kórinetuǵın massalıq effektlerdiń úlken bólegi óziniń menshikli klassifikaciyasına iye [5,6]. Hár qıylı fazalar yamasa ximiyalıq formalar arasındǵı bir elementtiń izotoplarınıń tarqalıwlarınıń hár qıylı bolıwı menen baylanıslı bolğan I áwlad izotoplıq effektlerdi termodinamikalıq effektler dep atağan.

Reaksiyaǵa kirisip atırǵan zattıń molekulasındaǵı qanday da bir atomdı onıń izotopı menen almasıwı ximiyalıq reaksiyalardıń tezligine tásir etedi. Bunday effektlerdi kinetikalıq effektler dep ataydı. Bunday jaǵdayda, eger salmaqlıraq bolğan izotoptan jeńil izotopqa ótkende reaksiyanıń tezligi artatuǵın bolsa, onda effekt normal effekt dep ataydı. Eger qarma-qarsı situaciya júzege kelse, onda effekt keri effekt dep ataydı.

II áwlad izotoplıq effektler izotoplardıń yadrolarınıń qásiyetleriniń hár qıylı ekenligi menen baylanıslı. Bul jaǵday yadronıń birdey zaryadında neytronlardıń artıqmashlıǵı yamasa jetispewshiliginiń yadroliq qabıqlardıń strukturasınıń ádewir ózgerte alıwı menen baylanıslı. Nátiyjede bir elementtiń izotoplarınıń spinleri, yadroliq energiya qáddileriniń spektrleri, anaw yamasa mınaw yadroliq reaksiyalarǵa qatnasıw qábiletlikleri h.t.b. bir birinen kúshli ayrıladı. Ayırım jaǵdaylarda hakiyatında baqlanatuǵın effektler I hám II

izotoplıq effektlerdiń qosındısınan turatuǵınlıǵın atap ótemiz. Mısalı, jeńil elem entler ushın izotoplardıń optikalıq spektreliriniń strukturası birinshi tárepten izotoptıń massasınan ǵárezli bolǵan izotoplıq awısıwdıń saldarı boladı, al ekinshi tárepten elektronlıq qabıq penen yadronıń spini arasındagı tásirlesiwlerdiń nátiyjesinde júzege keletuǵın asa juqa bóliniw bolıp tabıladı.

3-§. Izotoplardıń yadrolıq qásiyetleri

Izotoplardıń yadrolıq qásiyetlerin táriyiplewler tiykarlanatuǵın atom yadrosınıń teoriyası házirgi zaman fizikasınıń eń keń kólemli oblastı bolıp tabıladı hám bul teoriya kóp sanlı oqıwlıqlar menen monografiyalarda bayanlanǵan [2, 7-10]).

Nuklidlerdiń yadrolıq xarakteristikaları kóp sandı spravochniklerde [1, 4, 11-16] hám xalıq aralıq maǵlıwmatlar bazalarında keltirilgen. Sonlıqtan biz olardı alıw, registraciyalawǵa hám paydalanıwǵa baylanıslı bolǵan izotoplardıń yadrolıq xarakteristikaların qarap ótiw menen sheklenemiz.

Izotoplardıń xarakteristikalarına olardıń massası hám zaryadı menen bir qatarda yadronıń radiusın, baylanıs energiyasın, magnitlik hám kvadrupollik momentlerin, qozǵan hallarınıń spektrin, yadrolıq reakciyalardıń kesimlerin atap ótiw múmkin.

Izotoplardıń yadrolıq qásiyetleriniń júzege keliwine birinshi gezekte nuklonlardı yadrolarda uslap turatuǵın kúshli tásirlesiw dep atalatuǵın tásirlesiwdiń tásir etetuǵınlıǵın atap ótemiz. Bunday tásirlesiwdiń intensivligi elektrostatikalıq tásirlesiwdiń intensivligine salıstırǵanda kóp ese úlken.

Mısalı, yadrodaǵı eki proton arasındagı tásir etetuǵın yadrolıq kúsh olar arasındagı elektrostatikalıq iyterisiw kúshine salıstırǵanda jüzlegen ese úlken. Yadrolıq kúshlerdiń tiykarǵı xarakteristikalarınıń biri olardıń nuklonlardıń zaryadınan ǵárezsiz ekenliginde. Sonlıqtan, eger nuklonlardıń jupları arasındagı salıstırmalı qozǵalıslı halı menen olardıń spinlik halları birdey bolatuǵın bolsa proton menen proton, neytron menen neytron, proton menen neytron arasındagı tásirlesiw birdey boladı. Nátiyjede yadrolıq kúshleriniń basım bolıwınıń saldarınan yadrodaǵı protonlardıń sanı hám usıǵan sáykes olardıń zaryadı nuklidlerdiń tiykarǵı qásiyetlerine kúshli tásirin tiygizbeydi (ásirese jeńil yadrolar ushın). Sonlıqtan olardıń yadrolıq qásiyetleri tiykarınan yadrodaǵı nuklonlardıń sanı menen anıqlanadı hám bir ximiyalıq elementtiń fizikalıq-ximiyalıq qásiyetleri atomdaǵı elektronlardıń sanı menen anıqlanatuǵınlıǵına qaramastan onıń izotoplarınıń yadrolıq qásiyetleri pútkilley hár qıylı boladı.

Izobaralarda (yadrolarında nuklidleriniń sanı birdey bolǵan atomlar) yadrolıq qásiyetler bir birine jaqın boladı hám bul jaǵday kóp sanlı eksperimentlerde ayqın kórinedi. Al awır elementlerde Z tiń ósiwi protonlar arasındagı menen elektrostatikalıq tásirlesiwdiń kúsheyiwi menen izobarlarda da yadrolıq qásiyetler kúshli ayrıla baslaydı.

1-kestede fundamentallıq tásirlesiwler haqqında maǵlıwmatlar keltirilgen.

1-keste. Fundamentallıq tásirlesiwler
[https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_interaction]

Property/Interaction	Gravitation	Weak	Electromagnetic	Strong	
		(Electroweak)		Fundamental	Residual
Acts on:	Mass/Energy	Flavor	Electric charge	Color charge	

Bound states formed:	Planets, Stars, Solar systems, Galaxies	n/a	Atoms, Molecules	Hadrons	Atomic nuclei
Particles experiencing:	All particles	Left-handed <u>fermions</u>	Electrically charged	Quarks, <u>Gluons</u>	<u>Hadrons</u>
Particles mediating:	Not yet observed (Graviton hypothesized)	W^+ , W^- and Z^0	γ (photon)	Gluons	π , ρ and ω mesons
Strength at the scale of quarks (relative to electromagnetism):	10^{-41} (predicted)	10^{-4}	1	60	Not applicable to quarks
Strength at the scale of protons/neutrons (relative to electromagnetism):	10^{-36} (predicted)	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20

Joqarıda ayılğanlardıń barlıǵı da yadronıń ólshemleriniń nuklonlardıń sanınan ǵárezliginde jaqsı kórinedi. Kóp sanlı eksperimentler "kóp nuklonlı yadrolar" ushın ($A > 10$) yadrodaǵı nuklonlardıń ortasha tıǵızlıǵınıń derlik birdey ekenligin kórsetedi. Bul jaǵdaydan yadronıń kólemi ondaǵı nuklonlardıń sanın A ǵa proporcional degen juwmaq kelip shıǵadı (yaǵnıy onıń radiusı $A^{1/3}$ ke proporcional, bunday radiustı effektivlik radius dep te ataydı):

$$R = r_0 A^{1/3}.$$

Bul formuladaǵı r_0 kóbeytiwshisi $r_0 \approx 1 - 1,5 \text{ fm}^1$.

r_0 shamasınıń mánisi yadrolıq kúshlerdiń tásir etiw radiusına jaqın. Bunday ǵárezlilik, mısalı, izotoplardıń spektrlerindeki izotoplıq awısıwdıń shamasın da, mánisin de (tiykarınan) anıqlaydı. Álbette, $R = r_0 A^{1/3}$ formulası juwıq xarakterge iye hám ulıwmalıq tendenciyalardı táriyipleydi (massanıń ósiwi menen radiustıń ózgerisiniń kishi detalların esapqa almaydı). Sonlıqtan biz geypara jaǵdaylarda yadroǵa eki neytrondı qosqanda R shamasınıń hátte kemeyetuǵınlıǵın da atap ótemiz.

Atom yadrosı kvantlıq sistema sıpatında tek diskret kvantlıq hallarda tura aladı. Bul hallar bir birinen energiyası, waqıttıń ótiwi menen ózgermey qalatuǵın basqa da shamalar menen ayrıladı. Yadronıń tolıq energiyası E onıń massası menen Eynshteynniń

$$E = Mc^2$$

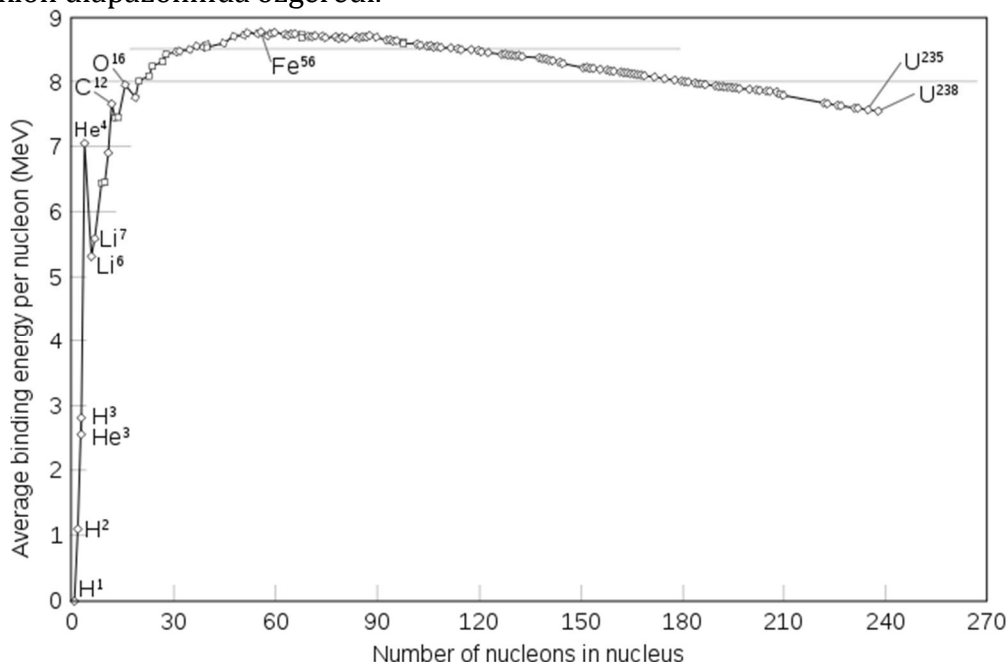
formulası menen baylanısqań (c arqalı jaqtılıqtıń tezligi belgilengen). Al yadronıń massasın

$$M = Zm_p + Nm_n - \Delta M$$

formulasınıń járdeminde anıqlaw múmkin. Bul formulada m_p menen m_n arqalı sáykes proton menen neytronnıń massası, al massanıń defekti dep atalatuǵın ΔM shaması bolsa bul jaǵdayda yadrodaǵı nuklonlardıń baylanıs energiyası bolǵan $E_{b\text{ayl.}} = \Delta Mc^2$ shamasın táriyipleydi (energiyanıń bul mánisi yadronı nuklonlarǵa tolıq ayırıw ushın kerek bolatuǵın energiyaǵa teń). Atom yadrosınıń tiykarǵı ózgeshelikleriniń biri baylanıs energiyasınıń nuklonlardıń sanına juwıq túrdegi proporcionallıǵında. Sonlıqtan salıstırmalı baylanıs

¹ $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} = 10^{-13} \text{ sm}$.

energiyası dep atalatuǵın $E_{bayl.}/A$ shaması úlken shamalarǵa ózgermeydi hám 6-8 MeV/nuklon diapazonında ózgeredi.



1-súwret. Yadronıń salıstırmaı baylanıs energiyasınıń atomlıq nomerden ǵárezligi
[https://en.wikipedia.org/wiki/Mass_excess].

Baylanıs energiyasınıń yadronıń zaryadınan ǵárezligi juwıq túrde Vayczekkerdiń yarım emperikalıq formulasınıń járdeminde táriyiplenedi² (bul yadronıń tamshı modeli ushın keltirip shıǵarılǵan formulanı tiykarlaw [https://ru.wikipedia.org/wiki/Kapelnaya_model_yadra] dereginde keltirilgen)³:

$$E_{bayl.} = \varepsilon A + \alpha A^{3/2} - \beta Z^2 A^{-1/3} - \frac{\gamma \left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A} + \delta(A, Z).$$

Bul formulada ε , β , α , γ , δ shamaları energiyanıń birligene iye turaqlılar bolıp tabıladı.

Birinshi qosılıwshı baylanıs energiyası menen massalıq san arasındaǵı sızıqlı baylanıstı táriyipleydi.

Ekinshi qosılıwshı nuklonlardıń bir bóliminiń yadronıń betinde jaylasqanlıǵı menen baylanıslı. Bunday nuklonlar yadro menen ázzi tásir etisedi hám sonlıqtan baylanıs energiyasınıń mánisin kishireytedi.

Úshinshi qosılıwshı protonlar arasında Kulon iyterisiwine sáykes keledi.

Tórtinshi qosılıwshı yadrodaǵı protonlar menen neytronlardıń sanlarınıń teń emes bolıwınıń baylanıs energiyasına tásirin táriyipleydi.

Besinshi qosılıwshı yadrodaǵı nuklonlardıń spinleriniń bir birine salıstırǵandaǵı baǵıtlarınan, aqırǵı esapta N menen Z sanlarınıń juplıǵınan ǵárezli:

$$\delta(A, Z) = \begin{cases} jup - jup \text{ yadrolar ushın} + \delta; \\ \text{taq } A \text{ bolǵan jaǵdayda } 0; \\ \text{taq} - \text{taq yadrolar ushın} - \delta. \end{cases}$$

Álbette, Vayczekker formulası juwıq xarakterge iye hám, mısalı, yadrolardıń strukturasınıń detalları menen baylanıslı bolǵan kvantlıq effektlerdi esapqa almaydı.

² Karl Fridrix fon Vayczekker (nemisshe *Carl Friedrich von Weizsäcker*; 1912-jılı 28-iyun kúni Kil qalasında tuwılǵan hám 2007-jılı 28-aprel kúni qaytı bolǵan) — nemis fizigi menen filosofi.

³ K.Vayczekkerdiń formulası onıń 1935-jılı jarıq kórgen [von Weizsäcker, C. F. (1935). "Zur Theorie der Kernmassen". *Zeitschrift für Physik (in German)*. **96** (7-8): 431–458.] jumısında berilgen.

Bunday effektler A menen Z shamalarınǵıń bazı bir mánislerinde energiyasınıń sekirmeli ózgeriwine alıp keledi (bunday jaǵday "sıyqırılı yadrolar" dep atalatuǵın yadrolarda orın aladı⁴). Biraq, kóp sanlı eksperimentler bul formulasınıń tájiriybede alınǵan nátiyjelerdi jaqsı táriyipleý alatuǵınlıǵın kórsetedi. Eń optimallıq sáykes keliw parametrlerdin tómendegidey mánislerinde orın aladı eken:

$$\varepsilon = 14,03 \text{ MeV}, \alpha = 13,03 \text{ MeV}, \beta = 0,5835 \text{ MeV}, \gamma = 77,25 \text{ MeV}, \delta = 33,57 A^{-3/4} \text{ MeV}.$$

Vayczekker formulasınan zaryadtın belgili mánislerinde baylanıs energiyasınıń massalıq san A nıń belgili mánisinde maksimumǵa jetetuǵınlıǵı kórinedi. Usı maksimumǵa bir Z semeystvonıń izotoplarınń stabil yadrosınıń massalıq sanı A sáykes keledi.

Olar ushın Z penen A arasındadı baylanıs mınaday juwıq qatnastın járdeminde beriledi:

$$Z = \frac{A}{\left(2 + 0,015 A^{\frac{2}{3}}\right)}.$$

Bul qatnas kishi massalıq sanlarda $Z = N = A/2$ izotoplarınń eń ornıqlı ekenligin túsindiredi (mısalı, $^{12}_6C$ yamasa $^{14}_7N$). Ornınlı awır yadrolarda neytronlardın sanı N protonlardın sanı Z ten úlken. Bul jaǵday protonlar arasındadı elektrostatalıq iyterilis kúshlerin yadrolıq kúshlerdin kompensaciyası ushın sáykes keledi. Sonın menen birge Vayczekker formulasınan jup-jup yadrolardın eń ornıqlı yadrolar bolıp tabılatuǵınlıǵı kórinip tur.

Biz kompyuterlik programmalardıń járdeminde Vayczekker formulası boyınsha esaplawlar júrgiziw múmkinshiligine iyemiz. Mathematica 11.3 universallıq algebra sistemasınan paydalanamız. Vayczekker formulası ushın mınaday ańlatpanı jaza alamız:

$$\varepsilon=14.03;\alpha=13.03;\beta=0.5835;\gamma=77.25;d=33.57 A^{-3/4};$$

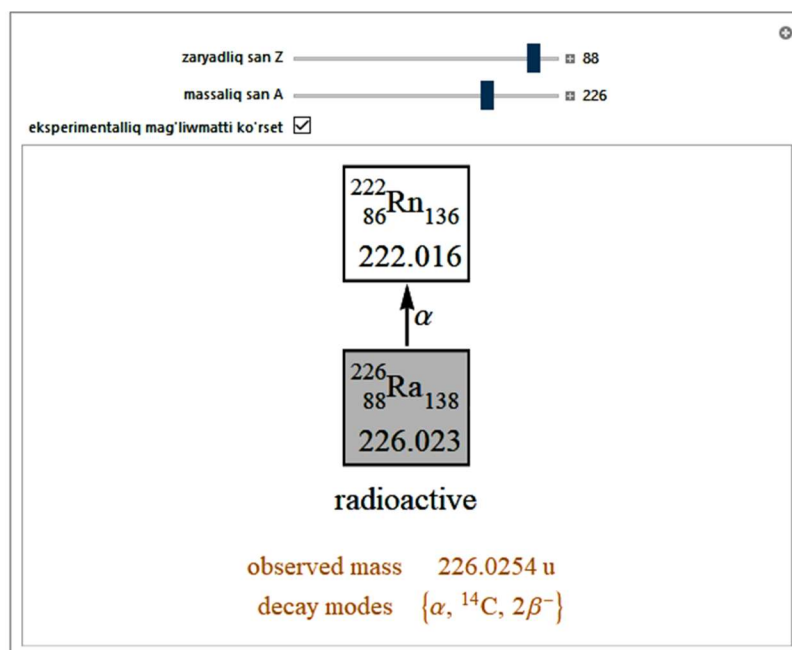
A menen Z shamalarınan ǵárezli bolǵan funkciya mınaday túrge iye boladı:

$$B[Z_A_]:=v A-s A^{2/3}-c (Z(Z-1))/A^{1/3}-a (A-2Z)^2/A+d/A^{1/2} \text{ (Boole[EvenQ[Z]]\&\&EvenQ[A+Z]]-Boole[OddQ[Z]]\&\&OddQ[A+Z])}$$

Bul eki argumentten ǵárezli bolǵan funkciya bolıp tabıladı. Sonlıqtan bir argumentke alıp keliw ushın joqarıda keltirilgen $Z = A / \left(2 + 0,015 A^{\frac{2}{3}}\right)$ funkciyasın paydalanıw maqsetke muwapıq keledi. Biraq bul formula boyınsha esaplanǵan Z tiń bólshek mániske iye bolatuǵınlıǵın ańǵarıw kerek. Sonlıqtan onıń pútin mánisin anıqlaw ushın sáykes komandadan paydalanıw kerek boladı.

Álbette, dálirek esaplawlardı júrgiziw ushın A menen Z dál shamalarınń mánislerin beriw kerek boladı. Sonlıqtan kóbinese sol eki shamanıń berilgen mánisleri ushın esaplawlardı júrgiziwimiz múmkin. Mısal retinde 2-súwrette keltirilgen kompyuterde alınǵan maǵlıwmattı kórsete alamız.

⁴ Sıyqırılı yadrolar dep protonlardın yamasa neytronlardın sanı sıyqırılı sanlar dep atalatuǵın sanlarǵa teń bolǵan yadrolarǵa aytadı (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126). Bunday yadrolar basqa yadrolarǵa salıstırǵanda joqarı ornıqlı qásiyetke iye, tábiyatta kóbirek tarqalǵan hám basqa da ózgesheliklerge iye. Sıyqırılı yadrolardıń bar bolıwı yadronıń qabıqlıq modeli tiykarında túsindirildi [7-10]. Bunday modelde sıyqırılı yadrolar tolıǵı menen toltırılǵan qabıqlarǵa iye boladı.



2-súwret. Vayczekker formulasınıń járdeminde hár qıylı izotoplar ushın baylanıs energiyasın esaplaytuǵın programmanıń kompyuter monitorında bergen nátiyjesi.

Vayczekker formulası boyınsha kompyuterlik esaplawlar júrgizgende $\delta(A, Z)$ funkciyasınıń mánisin esaplaw qıyınshılıq payda etedi (sebebi onıń mánisi A menen Z shamalarınń jup yamasa taq bolıwına baylanıslı). Bunday qıyınshılıqtan qutılıw ushın

$$\delta(A, Z) = \frac{d}{A^{1/2}} (\text{Boole}[\text{EvenQ}[Z] \&\& \text{EvenQ}[A + Z]] - \text{Boole}[\text{OddQ}[Z] \&\& \text{OddQ}[A + Z]])$$
 ańlatpası jazıladı.

Yadronıń zaryadı yamasa massalıq san stabillik oblastınan awısqanda (shıqqanda) baylanıs energiyasınıń shaması kemeyedi hám teris mániske iye boladı. Bunıń nátiyjesinde atom yadrosı ornıqlılıǵın joǵaltadı hám ózinen-ózi basqa A menen Z lerge iye yadroǵa aylanadı. Sonıń menen birge nuklonlardıń tartıwı A ǵa hám elektrostatalıq tásirlesiw energiyası Z^2 qa baylanıslı bolǵanlıqtan Z tiń úlken mánislerinde baylanıs energiyası barlıq waqıtta da teris mániske iye boladı. Bul jaǵday $Z > 83$ bolǵan yadrolar ushın stabilliktiń joq ekenligin túsindire aladı.

Vayczekker formulasınıń yadronıń eń tómeni tiykarǵı halınıń baylanıs energiyasına sáykes keletuǵınlıǵın atap ótemiz. Al yadronıń qozǵan halları bolsa óz-ózinen ornıqlı emes hám spontan ıdırawdıń nátiyjesinde bir yamasa bir neshe γ -kvantların shıǵarıw menen tiykarǵı halǵa qaytıp keledi. Biraq qozǵanda nuklonlardıń baylanıs energiyası ádewir kemeyetuǵın bolǵanlıqtan qozǵan yadro qanday da bir bóleksheni shıǵarıw menen basqa yadroǵa aylanıwı múmkin.

Yadronıń basqa áhmiyetli kvantlıq xarakteristikası spin I bolıp tabıladı. Spin óz gezeginde yadronıń qozǵalısh muǵdarınıń tolıq momenti $\mathbf{Y}$ ($\mathbf{Y} = \hbar \mathbf{I}$) di sáwlelendiredi. Onıń shaması oǵan kiriwshi nuklonlardıń qozǵalısh momentlerinen qosıladı. Al nuklonlardıń qozǵalısh momenti bolsa protonlar menen neytronlardıń qozǵalısh muǵdarınan (olardıń spinleriniń $\frac{1}{2}$ ge teń ekenligi belgili) hám nuklonlardıń ulıwmalıq inerciya orayına salıstırǵandaǵı qozǵalıslarına sáykes keletuǵın orbitalıq momentlerden turadı. Tiykarǵı halda yadrodaǵı kópshilik nuklonlardıń tolıq mexanikalıq momentleri bir biri menen kompensaciyalanǵan. Usınıń nátiyjesinde hátte úlken A ǵa iye barlıq yadrolardıń spinleriniń shaması bir neshe birlikten aspaydı. Ayırım nuklonniń tolıq momenti yarım pütün bolǵanlıqtan ($\hbar$ birliklerindegi), quramına jup san nuklon kiretuǵın yadrolardıń spini

pútín mániske, al quramına taq sandağı nuklonlar kiretuğın yadrolardıń spinleri yarım pútín mániske iye boladı. Jup-jup yadrolardıń tolıq spininiń mánisi nolge teń.

Bir elementtiń izotoplarınıń yadrolarınıń spinleriniń hár qıylı bolıwınıń zatlardıń makroskopiyalıq qásiyetleriniń pútkilley hár qıylı bolıwına alıp keletuğınlıgın atap ótemiz. Mısal retinde suyıq ^3He menen ^4He izotoplarınıń fizikalıq qásiyetleriniń hár qıylı ekenligi keńnen belgili. Fizikalıq qásiyetlerdiń hár qıylı bolıwı tek massadağı ayırmağa ǵana emes, al kvantlıq effektler menen de baylanıslı. ^4He niń atomlarınıń spinleri nolge teń, sonlıqtan olar bozonlar bolıp tabıladı. Al ^3He izotopınıń atomlarınıń spini $\frac{1}{2}$ ge teń hám sonlıqtan olar fermionlar bolıp tabıladı.

4-§. Radioaktivli izotoplardıń generatorları

Radioaktiv izotoplardıń generatorları bir biri menen baylanıslı bolǵan eki izotoplardan turatuğın sistema bolıp, olardıń ishindegi kóp jasaytuğın ana izotoptan yarım ıdıraw dáwiri kishi bolǵan bala izotop payda boladı [19-25].

Radioaktiv izotoplardıń generatorları fizikalıq laboratoriyalarda hám medicinalıq praktikada izertlew jumısların ótkeriwde, diagnostikalıq hám emlew maqsetlerinde paydalanadı.

Tábiyiy radioaktiv elementlerden turatuğın radioaktiv izotoplardıń generatorları ushın klassikalıq mısal retinde $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn}$ generatorın (radiydiń yarım ıdıraw dáwiri - 1620 jıl, radon ushın - 3,8 kún). Jasalma túrde alıńǵan radioaktiv izotoplar sistemalarınıń ishinde medicinada birinshi ret 1951-jılı $^{132}\text{Te} \rightarrow ^{132}\text{I}$ qollanıldı.

Ana izotoptıń ıdırawı menen generatorda bala izotoptıń muǵdarı kóbeyedi hám belgili waqıttan keyin generatorda radioaktivli teń salmaqlıq orıaydı. Bunnan keyin sistemaniń aktivligi ana izotoptıń yarım ıdıraw dáwirine shekem kishireydi.

Generatorlardagı izotoplardıń muǵdarı menen aktivliginiń ózgerisleri tómendegidey bolıp júzege keledi.

Radioaktiv izotoplar generatorındaǵı ana izotoplardıń sanı (N_1) t waqıt momentinde tómendegidey ańlatpanıń járdeminde esaplanadı:

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}. \quad (1)$$

Al bala izotoplardıń sanı N_2 mınaday ańlatpanıń járdeminde anıqlanadı:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}. \quad (2)$$

Bul ańlatpalarda N_1 hám N_2 arqalı $t = 0$ baslanǵısh momenttegi ana hám bala izotoplardıń sanı, al λ_1 menen λ_2 arqalı ana hám bala izotoptıń ıdıraw turaqlıları belgilengen.

Bala izotop bólinip shıqqannan keyin onıń atomlarınıń sanı N_2 aqırǵı aǵzası joq (2)-ańlatpanıń járdeminde anıqlanadı:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}). \quad (3)$$

Generatorda bólinip shıqqan bala izotop T_2 yarım ıdıraw dáwirine iye. Onıń bólinip shıǵıw momentinen baslap ana yadronıń ıdırawı menen generatorda bala izotoptıń jıynalıwı jáne de baslanadı, onıń muǵdarı ástelik penen ósedi hám belgili waqıttan keyin generatorda radioaktivli teń salmaqlıq orıaydı.

Bala izotoptıń (A_2) teń salmaqlıq aktivliginiń shaması $t_{\max}$ waqıt momentinde maksimumǵa jetedi. Onıń mánisi generatordagı eki izotoptıń turaqlılarınıń qatnasınan ǵárezli:

$$t_{\max} = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1}. \quad (4)$$

Waqıttıń usı momentinde bala izotoptıń aktivligi A_2 ana izotoptıń aktivligi A_1 ge teń. Bunnan keyin ana hám bala izotoplardıń aktivlikleriniń qatnası $\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$ waqıttıń ótiwi menen úlkeyedi hám

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (5)$$

sheklik mánisine jetedi. Sonlıqtan teń salmaqlıq halı waqıtında bala izotoptıń aktivligi ana izotoptıń aktivliginen joqarı boladı. Waqıttıń ótiwi menen ana izotoptıń yarım ıdıraw waqıtı menen sistemaniń aktivligi kemeyedi.

Radioaktiv izotoplardıń generatorları ádette arnawlı qorǵawshı konteynerge ornalastırılǵan kolonkadan turadı. Kolonka sáykes sorbent penen toltırılǵan⁵. Bul sorbent ana izotopqa iye boladı. Onıń aktivligi derlik ózgerissiz saqlanadı. Sonlıqtan zárúrligi bolǵan jaǵdaylarda quramalı emes ximiyalıq proceduralardıń járdeminde sáykes qısqa jasaytuǵın izotoptı bólip alıw hám paydalanıw múmkin. Kolonka arqalı arnawlı eritpeni ótkerip bala izotoptı belgili ximiyalıq formada ayırıp aladı.

Joqarıda aytıp ótkenimizdey, radioaktiv izotoplardıń generatorı (radioizotoplardıń generatorları) uzaq jasaytuǵın radioaktivli izotoptan yarım ıdıraw dáwiri kishi bolǵan basqa izotoptı alatuǵın dúzilistiń ulıwmalıq ataması bolıp tabıladı.

Izotoplıq generatordıń jumısı uzaq jasaytuǵın ana radionuklidtiń ıdırawınıń nátiyjesinde qısqa jasaytuǵın bala nuklidtiń payda bolıw principine tiykarlanǵan⁶. Ana nuklidler menen bala nuklidlerdiń ximiyalıq qásiyetleri arasında ayırma bolǵanlıqtan generatorlıq dúziliste olardı ayırıw hám optimallıq xarakteristikalarğa iye ónimlerdi alıw múmkinshiligi bar boladı.

Tómende izotoplar generatorlarında paydalanılatuǵın radioaktivli izotoplardıń jupları keltirilgen (2-keste).

2-keste. Radioaktiv izotoplar generatorlarında paydalanılatuǵın redionuklidlerdiń jubına mısallar⁷.

	Radioaktiv jup	
	Ana	Bala
$^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$	288 kún	68 min
$^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$	28,7 jıl	3,19 saat
$^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$	64 kún	35 kún
$^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$	2,75 kún	6.04 saat
$^{103}\text{Pd} \rightarrow ^{103\text{m}}\text{Rh}$	17 kún	56,1 min
$^{113}\text{Sn} \rightarrow ^{113\text{m}}\text{In}$	115,2 kún	99,3 min
$^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba}$	30,17 jıl	2,55 min
$^{140}\text{Ba} \rightarrow ^{140}\text{La}$	12,79 kún	40,24 saat
$^{144}\text{Ce} \rightarrow ^{144}\text{Pr}$	284,4 kún	17,28 min
$^{188}\text{W} \rightarrow ^{188}\text{Re}$	69,4 kún	17 saat

⁵ Sorbentler (latinsha *sorbens* - jutiwshı) — qorshaǵan ortalıqlardan gazlerdi, puwları yamasa eritilgen zatları saylap alıp jutatuǵın qattı dene yamasa sıyıqlıq. Sorbentniń xarakterine baylanış sorbentlerdi absorbentler (jutılǵan zatlar menen qattı yamasa sıyıq eritpeni payda etetuǵın qattı yamasa sıyıq dene) hám adsorbentler (zatları óziniń betinde jutatuǵın deneler) hám ximiyalıq jutiwshılar (bunday zatlar menen jutılǵan zatlar arasında ximiyalıq baylanıs payda boladı hám sonıń nátiyjesinde jutiwshı hám jutılǵan zatlar arasında baylanıs payda boladı) dep úshke bóliw múmkin [<https://en.wikipedia.org/wiki/Sorbent>].

⁶ Nuklid (latinsha *nucleus* — "yadro" hám áyyemgi grek tilinde είδος — "túr, sort") — belgili massalıq san, atomlıq nomerge, yadrolarınıń energiyalıq hallarına hám baqlaw ushın jetkilikli bolǵan jasaw waqıtına iye atomlardıń túri [<https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclide>].

⁷ $^{137\text{m}}\text{Ba}$ belgisindegi m metastabillilikti ańǵartadı.

Ádette generator sorbent penen toltırılğan xromatografiyalıq kolonka bolıp tabıladı. Sorbentte salıstırmalı uzaq jasaytuǵın radioaktivli nuklid adsorbıyalanǵan. Usınday nuklidtiń radioaktivli ıdırawında qısqa jasaytuǵın radioaktivli bala nuklid payda boladı. Paydalanıw ushın qolaylı elyuenttiń (kompleksonnıń eritpesi) yamasa ekstragenttiń járdeminde xromatografiyalıq kolonkadan qálegen waqıtta bala radionuklidti juwıp alıw múmkin.

Izotoplıq generatorlardıń artıqmashlıǵı radionuklidlerdi alıp júriwshilersiz (yaǵnıy berilgen elementtiń stabilli izotoplarına iye emes) alıw bolıp tabıladı (2-keste).

Izotoplıq generator aldın-ala bala nuklidlerden tolıq tazalanǵan bolsın. Bunday jaǵdayda payda bolatuǵın bala izotoplardıń maksimalıq radioaktivlikke iye bolıwı ushın ketken maksimalıq waqıt t_{max} tómendegidey formulanıń járdeminde esaplanadı:

$$t_{max} = \frac{3,323 T_A T_B}{T_A - T_B} \ln \frac{T_A}{T_B}. \quad (6)$$

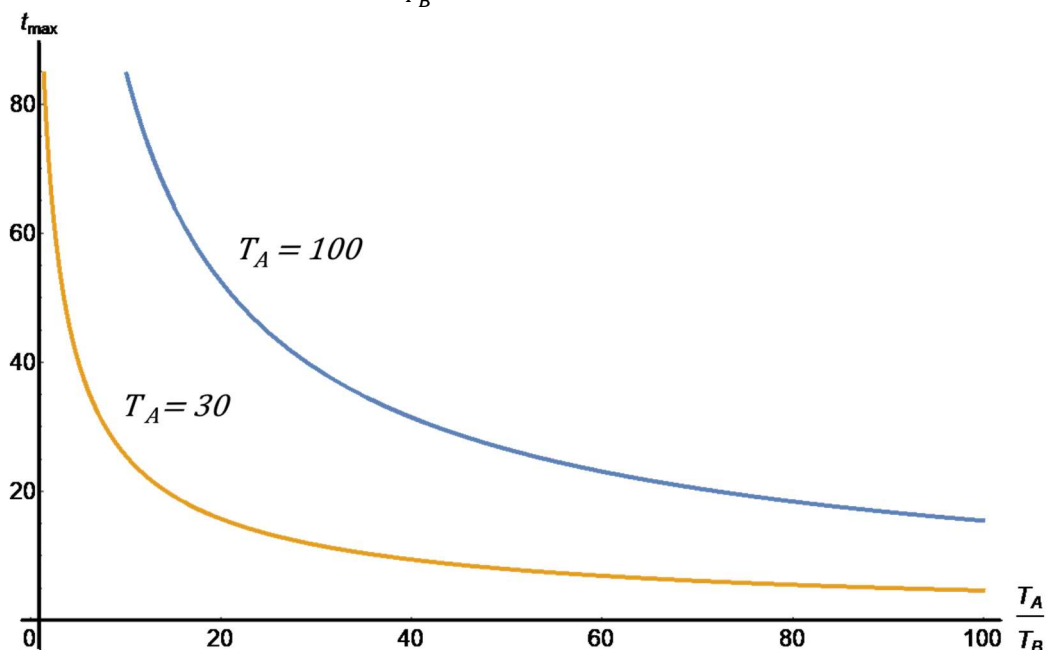
Bul formulada T_A hám T_B arqalı sáykes ana hám bala izotoplardıń yarım ıdıraw dáwirleri belgilengen.

Mısalı ^{140}La ($T_A = 12,79$ kún) $\rightarrow$ ^{140}Ba ($T_B = 40,24$ saat)

$$t_{max} = 5,67 \text{ kún}.$$

Eger T_A yarım ıdıraw dáwiriniń shaması T_B yarım ıdıraw dáwiriniń shamasınan 30-50 ese úlken bolsa, onda bala radionuklidtiń maksimalıq radioaktivliginiń payda bolıwı ushın $8T_B$ waqıt talap etiledi.

3-súwrette t_{max} shaması menen $\frac{T_A}{T_B}$ qatnası arasındadıǵı baylanıs kórsetilgen.



3-súwret. $\frac{T_A}{T_B}$ qatnası menen t_{max} shamasın arasındadıǵı gárezlik. Shártli birliklerde $T_A = 100$ teńligi qabıl etildi. Súwret Mathematica 11.3 universallıq kompyuterlik sistemanıń járdeminde alınǵan.

Pitkeriw qánigelik jumısında paydalanılǵan ^{137}Cs ana izotopı menen ^{137m}Ba bala izotopı arasındadıǵı teń salmaqılıq 20 minuttan keyin qayta tiklenedi.

Sonlıqtan bala radionuklid ayrılıp shıqqannan keyin úlken emes waqıt ótkennen izotoplıq generator jáne úlken radioaktivlikke iye boladı hám ana radionuklidtiń radioaktivligi kemeyemen degenshe kóp ret qaytadan paydalanılıwı múmkin.

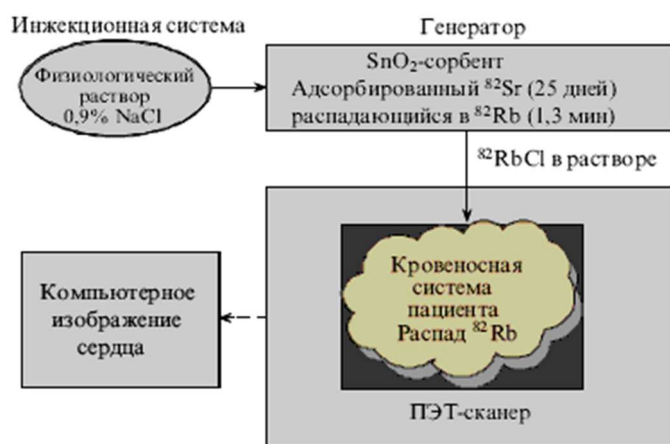
Medicinada paydalanılatuǵın radionuklidlik generatorlar paydalanıwshı personal (adamlar) ushın qáwipsiz emes hám quramalı emes usıl menen az waqıt jasawshı radionuklidlerdi alıwǵa múmkinshilik beredi. Bunday generatorlardıń járdeminde medicinalıq klinikalırdıń tikkeley ózinde (yadrolıq reaktor yamasa tezletkishten alısta) qısqa jasawshı radioaktivli izotoplardı alıw múmkin.

Radioaktivli izotoplardıń generatorlarınıń kórsetkishleriniń nomenklaturası internettegi [<http://files.stroyinf.ru/Data/277/27724.pdf>] derekte berilgen.

Joqarıda aytılp ótilgenindey, radioaktivli izotoplardıń generatorlarında salıstırmalı uzaq jasaytuǵın ana izotop ornalastırılǵan boladı⁸. Bul ana izotop ıdırawdıń barısında qısqa jasaytuǵın izotopı payda etedi. Bul qısqa jasaytuǵın izotop keyninen xromatografiya, ekstrakciya yamasa sublimaciya usıllarınıń járdeminde ayırıp alınağı.

4-súwrette mısıl retinde $^{82}\text{Sr} \rightarrow ^{82}\text{Rb}$ generatorınıń sırtqı kórinisiniń sxeması berilgen.

Bunday generatordı paydalanıw (pozitronlıq-emissiyalıq tomografiya dúzilisinde ayına bir ret ózgertilgen) ciklotrondı hám klinikada yamasa ilim izertlew laboratoriyalarında radioximiyalıq laboratoriyanı paydalanıw zárúrligin joq etken.



4-súwret. Pozitronlıq-emissiyalıq tomografiya ushın paydalanılatuǵın stronciy/rubidiy-82 generatorınıń dúzilisi: generatorlın jumıs islew principi (joqarıda) hám generatordıń sırtqı kórinisi (tómende). Generator Rossiya Ilimler Akademiyasınıń Yadrolıq fizika institutında islep shıǵılǵan

[http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuc_techn/med/production.htm].

3-kestede izotoplar generatorlarında paydalanılatuǵın radionuklidler berilgen.

⁸ Biz "radioaktivli izotoplardıń generatorı" atamasınıń ornına "radionuklidlerdiń generatorı" atamasın da paydalanamız.

Ana radionuklid	T _{1/2}	Bala radionuklid	T _{1/2}
⁶² Zn	9.2 saat	⁶² Cu	9.7 minut
⁶⁸ Ge	271 kún	⁶⁸ Ga	68 minut
⁸² Sr	25 kún	⁸² Rb	1.26 minut
⁸¹ Rb	4.6 saat	^{81m} Kr	13 sekund
⁹⁰ Sr	28.9 jıl	⁹⁰ Y	64.1 saat
⁹⁹ Mo	66 saat	^{99m} Tc	6 minut
¹¹³ Sn	115.1 kún	^{113m} In	99.5 minut
¹²² Xe	20.1 saat	¹²² I	3.6 minut
¹⁸⁸ W	69.8 saat	¹⁸⁸ Re	17 saat

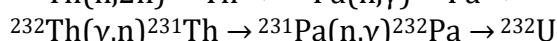
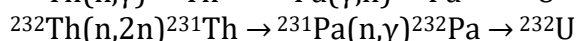
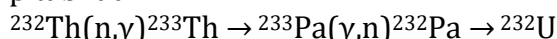
Joqarıda keltirilgen 3-kestede bala izotoptıń jasaw waqıtınıń ana izotoptıń jasaw waqıtınan ádewir kishi ekenligi kórinip tur.

Pozitronlıq-emissionlıq tomografiyası ushın antiprotonlardıń duzağın (lovushkaların) paydalanıw qızıqlı perspektivalarǵa iye. Házirgi kúnderdegi antiprotonlardıń jasaw waqıtı hápteler bolıp tabıladı. Duzaqlardan antiprotonlardıń járdemi menen paydalanılıp atırǵan orınlarda tikkeley qısqa jasawshı izotoplardı alıw múmkin. Demek pozitronlıq-emissiyalıq tomografiyanıń proceduraları ushın ciklotrondı paydalanıwdıń zárúrligi joǵaladı eken hám, sonlıqtan, bunday izertlewlerdiń geografiyası ádewir keńeyedi. Qala berse, bunıń ushın antiprotonlardı shıǵaratuǵın tezletkish kerek, biraq onıń territoriya boyınsha pozitronlıq-emissiyalıq tomografiya ushın territorialıq jaqtan baylanıslı bolmaw múmkinshiligi jaratıladı.

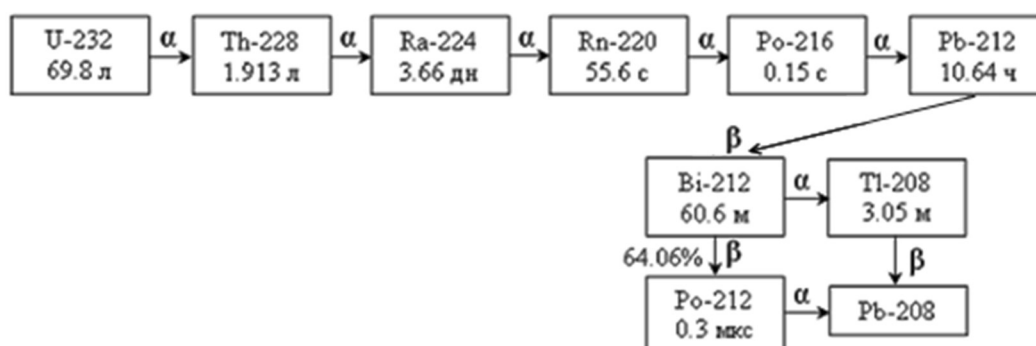
Laboratoriyalar hám alfa terapiya ushın ²¹²Bi hám ²¹³Bi izotopların alıwshı generatorlardı qarap ótemiz.

²¹²Bi izotopın alıw.

Yadrolıq reaktorlardı tábiyiy toriydi nurlandırǵanda ²¹²Bi – ²³²U izotopların alıwda ıdırawlar dizbeginiń baslanǵısh elementi ²³²Th izotopındaǵı tómendegidey reakciyalar bolıp tabıladı:



²³²U izotopınıń ıdıraw dizbegi tómende kórsetilgen:



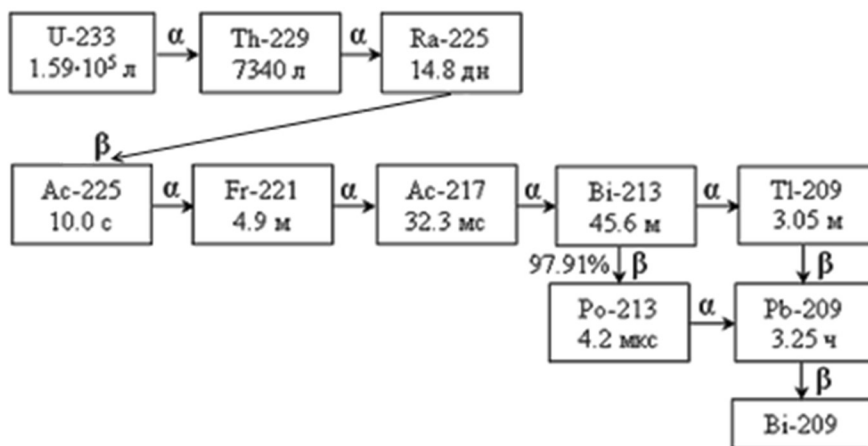
²¹²Bi izotopın alıw ushın eki generatoliq sistemanı paydalanadı: ²²⁸Th/ ²²⁴Ra hám ²²⁴Ra/²¹²Bi. Olardıń birinshisinde ²²⁴Ra izotopı ²²⁸Th izotopınan ayrılıp shıǵadı. Ekinshi generatorda ²²⁴Ra izotopınan ²¹²Bi izotopın ayıradı.

^{213}Bi izotopın alıw.

Reaktorda toriydi nurlandırғanda ^{232}U izotopı menen bir waqıtta ^{233}U izotopınıń payda bolıwı orın aladı. Bul process tómendegidey sxema boyınsha júredi:



^{233}U izotopındaǵı alfa-ıdırawdıń nátiyjesinde radioaktivli ^{229}Th izotopı payda boladı. Al bul ^{229}Th izotop óz gezeginde bir qatar ıdırawlardıń nátiyjesinde ^{213}Bi izotopına aylanadı.



^{229}Th izotopın alıwdıń bir neshe usılları usınılǵan:

- ^{233}U uran izotopınıń eski qorlarınan (zapaslarınan);
- Yadrolıq reaktordaǵı $^{226}\text{Ra}(3n,2\beta)^{229}\text{Th}$ reakciyasınıń nátiyjesinde ^{226}Ra izotopınıń neytronlardı bir neshe ret tutıwınıń saldarınan;
- Yadrolıq reaktorda ^{230}Th izotopın tez ushatuǵın neytronlar menen nurlandırғanda $^{230}\text{Th}(n,2n)^{229}\text{Th}$ yadrolıq reakciyasınıń nátiyjesinde;
- Ciklotronda toriydiń ^{230}Th izotopın protonlar menen nurlandırғanda $^{230}\text{Th}(p,pn)^{229}\text{Th}$ hám $^{230}\text{Th}(p,2n)^{229}\text{Pa}(1,4 \text{ sut}, \beta^-) \rightarrow ^{229}\text{Th}$ reakciyaları boyınsha.

Vismuttıń ^{213}Bi izotopın alıw ushın eki $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ac}$ hám $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$ generatorlıq sistemaların paydalanadı. Birinshi generatorda ^{229}Th izotopı ıdırawdıń nátiyjesinde bala izotoplardıń jynalıwı ushın bazı bir waqıt dawamında uslap turıladı. Bunnan keyin aktiniydiń ^{225}Ac izotopı ıdırawdıń basqa da bala ónimleri menen birge toriydiń ^{229}Th izotopınan ayırıp alınadı. Eń aqırında ^{225}Ac izotopı menen radiydiń radionuklidlerin bir birinen ayıradı.

Ekinshi sistemada ($^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$) aktiniydiń ^{225}Ac izotopınan vismuttıń ^{213}Bi izotopın ayırıp aladı.

5-§. Laboratoriyalıq izotoplıq generatorlar

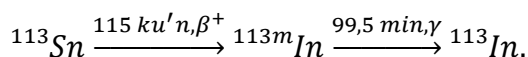
Qısqa jasawshı kóp sanlı radioaktivli izotoplardı laboratoriyalıq generatorlardıń járdeminde alıw múmkin. Bunday generatorlardıń jumıs islew principi kóp jasaytuǵın radioaktivli ana izotoptıń ıdırawınıń saldarınan qısqa jasaytuǵın radioaktivli bala izotoptıń payda bolıw principine tiykarlanǵan.

Radioaktivli bala izotop penen ana izotop arasında ximiyalıq ayırmanıń bar bolıwı sebepli olardı generatorda ayırıp alıw hám optimallıq xarakteristikalarǵa iye ónimlerdi alıw múmkinshiligi bar boladı.

Radionuklidlik generatorlardıń artıqmashlıǵı qısqa jasaytuǵın radionuklidlerdi alıw quramalı emes hám usınday generatorlardı paydalanıwshı adamlar ushın qáwipli emes.

Generatorlardı bir orınnan ekinshi orıńǵa ańsat kóshiriwge boladı. Sonlıqtan izotoplardı laboratoriyalarda, medicinalıq mákemelerde tikkeley alıwdıń múmkinshilikleri tuwıladı (atom reaktorları menen tezletkishlerden uzaqta).

Bunday generatorǵa mısál retinde ^{113m}In generatorın kórsetiwge boladı (A radioisotope generator Indium-113m [<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020708X67900841>]). Onıń jumısı tómendegidey radioaktivli izbe-izlikke tiykarlanǵan:

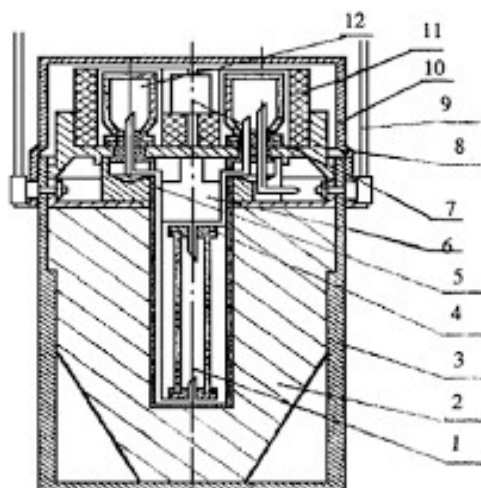


Indiy-113m generatorı ^{113m}In xloridlik kompleksleriniń eritpelerin alıw ushın arnalǵan. Bunday kompleksler yadrolıq medicinada diagnostikalıq maqsetlerde bótekeni, ókpeni, qan tamirlarin hám opuxollerdi skanerlew ushın keńnen qollanıladı. Radioaktivli ^{113m}In izotopı qolaylı yadrolıq-fizikalıq qásiyetlerge iye ($T_{1/2} = 99,3 \text{ min}$, γ -nurlanıwdıń energiyası $E=392 \text{ keV}$). Sonıń menen birge ana izotop ^{113}Sn uzaq jısaydı ($T_{1/2} = 115 \text{ kún}$). Sonlıqtan ^{113m}In generatorın uzaq waqıtlardıń ishinde paydalanıwǵa boladı.



5-súwret. Indiy-113m GI-1 generatorınıń sırtqı kórinisi.

[<https://www.ippe.ru/production/isotopes/isotopes-generators/40-generator-in-113m>]



6-súwret. Indiy-113m GI-1 generatorınıń sxeması. 1 – kolonka, 2-radiaciyalıq qorǵaw, 3 – generatordıń korpusı, 4 – elyuent sıızıǵı, 5 – elyuat sıızıǵı, 6 – qorǵawshı probka, 7 – filtr, 8 – generatordıń flaneci, 9 – kóshiriwshı ruchka, 10 – qaqpaq, 11 – qorǵawshı vkladısh, 12 – benzin spirti quylǵan flakon.

6-§. Ba-137m generatorı.

Ba-137m izotopınıń yarım ıdıraw dáwirin anıqlaw boyınsha laboratoriyalıq jumıslar haqqında maǵlıwmatlar

Bunday generatorda ^{137}Cs izotopı β -ıdırawdıń nátiyjesinde $^{137\text{m}}\text{Ba}$ izotopına aylanadı. ^{137}Cs izotopınıń yarım ıdıraw dáwiri 30 jıl. Yarım ıdıraw dáwiri 2,54 min bolǵan $^{137\text{m}}\text{Ba}$ izotopı bolsa γ -ıdırawdıń nátiyjesinde ^{137}Ba izotopına aylanadı.

Bul genetikalıq jup ushın A_2/A_1 qatnasınıń sheklik mánisi praktikalıq jaqtan 1 ge teń, sebebi $\lambda_2 \gg \lambda_1$. Ana nuklidtiń yarım ıdıraw waqıtı jetkilikli dárejede úlken bolǵanlıqtan Va-137 generatorı óziniń radioximiyalıq xarakteristikaların ózgertpey jetkilikli dárejede uzaq waqıtlar dawamında xızmet ete aladı. Cs-137 izotopın ornalastırıp qoyatuǵın orın ushın (nasadka ushın) ceziyge joqarı specifikalıq sorbentler (mısalı, awır metallardıń ferrocianidleri, solardıń ishinde nikeldiń yamasa kaliydiń ferrocianidi) paydalanıladı⁹.

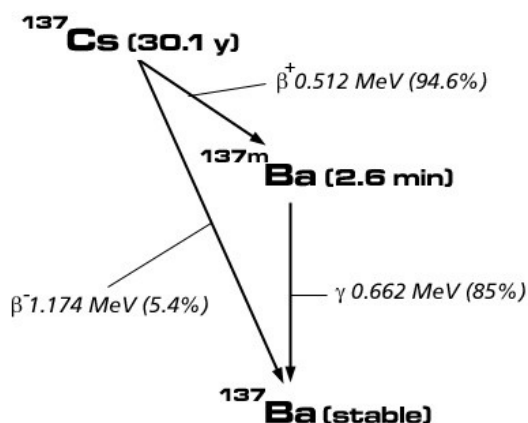
Ferrocianidlerdiń strukturası menen qásiyetleri ádebiyatta keń túrde bayanlangan. Va-137 izotopın ádette bariydiń duzlarınıń eritpeleriniń járdeminde ayırıp aladı.

Nikel-kaliydiń ferrocianidinen bariydi juwıp alıw kislotalardıń eritpeleriniń yamasa natriydiń, kaliydiń, kalciydiń hám basqalardıń duzlarınıń járdeminde jáne suwda juwıw jolı menen alıw múmkin.

⁹ Kaliydiń ferrocianidi – sarı reńli duz — eki valentli temirdiń kompleksli birikpesi (trigidrat túrinde alınadı). Geksacianoferrit vodorodtıń ferrocianidi menen kaliydiń gidrooksidi arasındagı reakciyanıń nátiyjesinde alınadı. Zattıń molekualıq formulası: $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Kaliy ferrocianidi spiritte erimeytuǵın bolsa da, 1 litr suwda derlik 300 gramm geksacianoferrit kristalları eriydi.



7-súwret. Bariy-137m generatorınıń kórinisi [http://electron6.phys.utk.edu/phys250/Laboratories/radioactive_halfife_of_ba.htm dereginen alıńan]. Bul generatordıń ishinde $^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137m}_{56}\text{Ba} + e^- + \nu_e$ sxeması boyınsha radioaktivli reakciya bolıp ótedi [26].



8-súwret.
Barium-137m generatorındaǵı energiya qáddileri arasındǵı ótiw sxeması. Sxemada Ba-137m izotopınıń metastabilli ekenligi kórinip tur.

Laboratoriyalıq jumıslardı orınlaǵanda ádette izotoplıq generator arqalı koncentraciyası 0,1 mol/l bolǵan 15 ml duz kislotasın ótkeredi. Bunnan keyin 30 min dawamında esaplawdıń tezligi ólshenedi (1 min waqıttan keyin dáslepki 5 min 30 s interval menen). Tájiriybeni eki ret ótkeriw usınıladı. Alıńǵan nátiyjeler tómende keltirilgendey kestege túsiriledi hám $I_n = I - I_f$; $\ln I_n$ shamaları esaplanadı (keste [<http://5rik.ru/better/article-120228.php>] dereginen alındı):

t	I_1	I_2	I_{01}	I_{02}	$\ln I_{01}$	$\ln I_{02}$
0	48882	49335	48613	49066	10,79	10,80
0,5	42834	41904	42565	41635	10,66	10,64
1	37556	37206	37287	36937	10,53	10,52
1,5	33283	32775	33014	32506	10,40	10,39
2	28899	28732	28630	28463	10,26	10,26
2,5	25583	24828	25314	24559	10,14	10,11

3	22417	22247	22148	21978	10,01	10,00
3,5	19891	19510	19622	19241	9,88	9,86
4	17252	16959	16983	16690	9,74	9,72
4,5	15353	14897	15084	14628	9,62	9,59
5	13194	12969	12925	12700	9,47	9,45
6	10454	9943	10185	9674	9,23	9,18
7	7968	7921	7699	7652	8,95	8,94
8	6182	6039	5913	5770	8,68	8,66
9	4814	4614	4545	4345	8,42	8,38
10	3660	3674	3391	3405	8,13	8,13
11	2816	2840	2547	2571	7,84	7,85
12	2310	2362	2041	2093	7,62	7,65
13	1772	1807	1503	1538	7,32	7,34
14	1475	1462	1206	1193	7,10	7,08
15	1259	1247	990	978	6,90	6,89
16	1010	971	741	702	6,61	6,55
17	870	847	601	578	6,40	6,36
18	747	715	478	446	6,17	6,10
19	650	620	381	351	5,94	5,86
20	533	534	264	265	5,58	5,58
21	538	501	269	232	5,60	5,45
22	493	491	224	222	5,41	5,40
23	447	470	178	201	5,18	5,30
24	438	459	169	190	5,13	5,25
25	383	431	114	162	4,74	5,09
26	396	381	127	112	4,85	4,72
27	380	380	111	111	4,71	4,71
28	345	365	76	96	4,34	4,57
29	313	328	44	59	3,79	4,08
30	373	325	104	56	4,65	4,03

Bunnan keyin $\ln I_{p1}$ sıyaqlı shamalardıń waqıt t dan gárezliginiń grafikleri sıızladı. Alınğan sızıqlar tiykarında ekstrapolyaciya usıllarınıń birin paydalanıp

$$y = 10,67 - 0,259x$$

tipindegi ekstrapolyaciyalıq funkciyanı aladı.

Laboratoriyalıq jumıstı orınlawdıń barısında student izotoplıq generator menen islesiw uqıplığına iye boladı. Ayırıp alınğan momenttegi qısqa jasawshı radionuklidtiń nurlanıwınıń tezligi (shama menen $I_{01}=47741$; $I_{02}=47269$) hám yarım ıdıraw dáwiri $[(T_{1/2})_1=2.67\pm 0.01$; $(T_{1/2})_2=2.66\pm 0.01]$ anıqlanadı. Yarım ıdıraw dáwiri boyınsha alınğan radioaktivli izotoptıń ^{137m}Ba ekenligine iseniw múmkin. Eki tájiriybe ushın da $k = (I_0 - I_k)/I_0$ shaması esaplanadı (99,78% hám 99,88%). Alınğan nátiyje $\ln I_n(t)$ gárezligi tiykarında tastıyqlanadı (^{137}Cs izotopınıń bar bolıwına baylanışlı $\ln I_n(t)$ shaması esaplawda nolge teń bolmaydı). k nıń joqarı mánislerinde hám joqarı aktivlikte (bul shamalar haqqında esaplawdıń tezligi boyınsha gáp etiw múmkin), sonıń menen birge ^{137m}Ba radioaktivli izotopınıń 10 yarım ıdıraw dáwirinen soń alatuǵınlıǵın esapqa alǵanda izotoplıq generatordıń paydalanǵanlıǵı haqqında pikir júrgiziw múmkin. Yarım ıdıraw dáwirin anıqlaǵanda jiberiletuǵın qáteliklerdiń shaması ásbap-úskeneniń (sekundomerdiń) dálligi jáne tájiriybeni ótkeriwde jiberilgen qáteler menen baylanışlı.

$A(^{137m}\text{Ba}) = 99,99\%$, al $A(^{137}\text{Cs}) = 0,01\%$ dep boljaw múmkin. Bunday jaǵdayda radioaktivli izotoptıń massası menen onıń aktivligi arasındaqı baylanıstı sáwlelendiretuǵın formuladan paydalanıw múmkin:

$$m = \frac{A \cdot T_{1/2} \cdot M}{4,7 \cdot 10^{23}}.$$

Bul formuladan

$$m(^{137m}\text{Ba}) = \frac{0,9999 \cdot 157 \cdot 137}{4,7 \cdot 10^{23}} g = 4,6 \cdot 10^{-20} g;$$

$$m(^{137}\text{Cs}) = \frac{0,0001 \cdot 9,5 \cdot 10^8 \cdot 137}{4,7 \cdot 10^{23}} g = 2,8 \cdot 10^{-17} g;$$

http://electron6.phys.utk.edu/phys250/Laboratories/radioactive_half-life_of_ba.htm

Audi G., Wapstra A. H., Thibault C. The AME2003 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs, and references// Nuclear Physics A. — 2003. — Vol. 729. — P. 337—676.

M.I.Mamayusupova. Issledovanie izomorfnyx otnosheniy vıxodov i secheniy reakciy tipa (γ, n) i $(n, 2n)$ na yadraya $110 \leq A \leq 144$. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata fiziko-matematicheskix nauk. Tashkent. 2011.

7-§. I bab boyınsha juwmaqlar hám máseleniń qoyılıwı

Biz joqarıda radioaktivli izotoplardı laboratoriyalıq sharayatlarda alıwdıń eń ápiwayı bolǵan usılı izotoplıq generatorlardı paydalanıw ekenligin kórsettik. Qısqa jasawshı radioaktivli izotoplardı alıw hám olardı oqıw laboratoriyalarında izertlew radioaktivlik qubılısı haqqındaǵı fundamentallıq bilimlerge iye bolıwdıń tiykarı ekenligi atap ótildi. Usı jaǵdaylardı esapqa alǵan halda bul pitkeriw qánigelik jumısı metastabillı Ba-137m izotopın radioaktivli Cs-137 izotopınıń járdeminde alıw (The Cesium-137/Barium-137m Minigenerator system) hám onıń yarım ıdıraw dáwirin úyreniw maqsetinde orınlandı.

Álbette, radioaktivli izotoplar menen islesiw adamnıń ómirine qáwip tuwǵızadı. Sonlıqtan bunday eksperimentlerdi oqıw laboratoriyalarında orınlaǵanda mınaday eki qaǵıydaǵa itibar beriw kerek:

Birinshisi, intensivligi júdá kishi bolǵan generatorlardan paydalanıw.

Ekinshisi, laboratoriyalıq jumıstı orınlaǵanda qáwipsizlik texnikasınıń barlıq talapların qanaatlandırıw. Sonlıqtan radioaktiv izotoplar menen islegende - súwrette kórsetilgendey usıllardan paydalanıw usınıladı.



9-súwret.

The Cesium-137/Barium-137m
Minigenerator
system.

Cesium-137/Barium-137m
minigeneratorlıq sisteması
[Jerry D.Wilson, Cecilia A. Hernandez-Hall.
Physics Laboratory Experiments. Sevent
Edition. Brooks/Cole 20 Channel Center
Street Boston, MA 02210 USA. 537 p.].

II bab. Cs/Ba-137m izotoplar generatorında payda bolğan izotoplar ushın yarım ıdıraw dáwirin anıqlaw

8-§. Ba-137m izotopınıń yarım ıdıraw dáwirin anıqlawdıń tiykarǵı principi

Eksperimentallıq jumıstıń maqseti:

- Cs-137 radioaktivli izotopınan metastabill Ba-137m izotopların juwıp alıw.
- Juwıp alınğan Ba-137m izotoplarınıń aktivliginiń waqıttan ǵárezlilik grafigin alıw hám onıń yarım ıdıraw dáwirin anıqlaw.

Tiykarǵı principler

Eger qandayda bir radioaktivli úlgede radioaktivli yadrolar bar bolsa, onda hár bir usınday yadro ushın olardıń ıdıraw itimallıqları birdey boladı dep esaplanadı. Biraq, bul radioaktivli yadrolardıń qandayda bir belgili waqıtta ıdıraytuǵınlıǵı haqqında biliw múmkin emes. Eger radioaktivli úlgi quramında basqa túrdegi radioaktivli yadrolar joq bolsa yamasa ıdıraǵannan soń basqa túrdegi radioaktivli úlge aylanbaytuǵın bolsa, onda radioaktivli yadrolar sanı N bolğan úlgede dt waqıt intervalında yadrolar sanınıń ózgeriwi dN di tómendegi formula járdeminde ańlatıw múmkin:

$$dN = -\lambda N dt \quad (7)$$

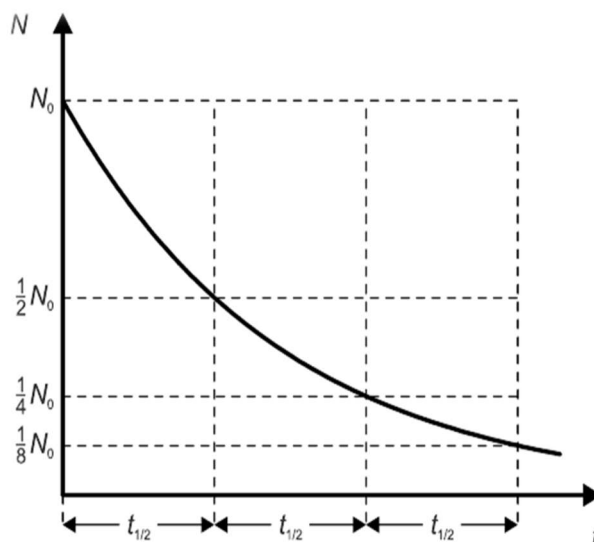
λ – ıdıraw tezligin táriplewshi ıdıraw turaqlısı dep atalatuǵın shama bolıp, yadronıń bir sekund ishindegi ıdıraw itimallıǵın bildiredi. (7) ańlatpadan kórinip tur belgili waqıt intervalında ıdıraǵan radioaktivli yadrolar sanı dN ıdıraw turaqlısı λ ǵa, radioaktivli yadrolar sanı N ǵa hám waqıt dt ǵa tuwrı proporcional boladı. Yaǵnıy waqıttıń ótiwi menen úlgede radioaktivli yadrolar sanınıń kemeyip barıwı nátiyjesinde belgili waqıt intervalında ıdırawshı yadrolar sanı da kemeyip baradı. Eger $t = 0$ waqıt momentindegi yadrolar sanın $N = N_0$ dep belgilesek, (7) differenciallıq teńleme integrallap tómendegi teńlemege iye bolamız:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Bul formuladan waqıttıń ótiwi menen yadrolar sanınıń eksponenciallıq nızam menen kemeyetuǵınlıǵın kóriwge boladı (10-suwret). Bunı radioaktivlik ıdıraw nızamı dep ataymız.

Radioaktiv elementlerdiń xarakteristikası retinde yarım ıdıraw dáwiri T degen túsinik kirgiziledi. Yarım ıdıraw dáwiri dep úlgede radioaktivli yadrolardıń ulıwma sanınıń teń yarım ıdırap ketetuǵın waqtına aytamız. Eger $t = T$ waqıttan keyin $N(T) = N_0/2$ ekenligi belgili bolsa, ıdıraw nızamı radioaktivli úlginiń yarım ıdıraw dáwiri ushın tómendegi formulanı beredi:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (9)$$



10-súwret. Radioaktivli úlgedeги radioaktivli yadrolar sanınıń waqıtqa ġárezlilik grafigi. Hár yarım ıdıraw dáwirine teń bolǵan waqıttan keyin qalǵan radioaktivli yadrolardıń teń yarımını ıdıraydı.

Úlginıń aktivligi ushın, yaǵnıy birlik waqıttaǵı ıdırawlar sanı ushın tómendegi ańlatpanı jaza alamız:

$$A(t) = \lambda N(t) \quad (10)$$

Bunan tómendegiler kelip shıǵadı

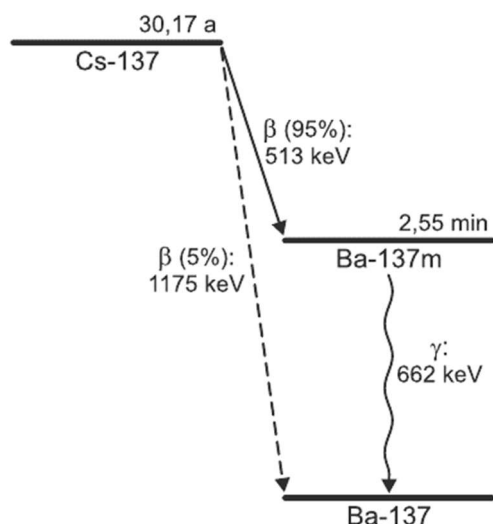
$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (11)$$

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (12)$$

Bulardan yarım ıdıraw waqtınan keyin aktivlik te eki ese kemeyedi degen juwmaq shıǵaramız. Aktivliktiń SI birlikler sistemasındaǵı ólshem birliǵı sıpatında sekundına bir dana yadro ıdıraytuǵın aktivlik 1 Bk (Bekkerel) qabıl etilgen. Bunnan tısqarı aktivliktiń Kyuri dep atalıwshı ólshem birliǵı de bar bolıp, onıń shaması 1 g radiydiń 1 s ishinde ıdıraǵan yadrolarınıń sanına ($3,7 \cdot 10^{10}$) teń. Yaǵnıy 1 Kyuri = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bk. Fizikalıq eksperimentlerde aktivliktiń basqa da birliǵı Rezerford (R) qollanıladı: 1 R = 10^6 Bk.

Bul eksperimentallıq jumısta Ba-137 izotopınıń Ba-137m metastabillı radioaktivli halınıń ıdıraw aktivliginiń waqıttan ġárezlilik grafigi ólshew usılı menen alınadı hám onıń yarım ıdıraw dáwiri usı grafikten anıqlanadı. Ba-137 izotopı uzaq waqıt (shama menen 30-jıl) jasawshı Cs-137 radioaktivli izotopınıń ıdırawı nátiyjesinde payda boladı. Cs-137 ózinen β nurların shıǵarıwı nátiyjesinde Ba-137 ge ıdıraydı. ıdıraw nátiyjesinde Cs-137 izotopınıń radioaktivli yadrolarınıń 95% ti 513 keV energiyalı beta-bólekshelerin shıǵarıp Ba-137m metastabillı halına ótedi hám onnan keyin yarım ıdıraw dáwiri 2.551 min. bolǵan Ba-137 izotopınıń tiykarǵı halına 662 keV li -nurlanıwı menen ótedi. Al Cs-137 izotopınıń radioaktivli yadrolarınıń qalǵan 5% ti 1175 keV energiyalı beta-bólekshelerin shıǵarıp tuwrıdan-tuwrı Ba-137 izotopınıń tiykarǵı halına ótedi. Bul ótiwlerdiń sxemalıq kórinisi 11-suwrette keltirilgen.

Tiykarǵı radioaktivli zat – Cs/Ba-137m izotop generatorında saqlanadı. Cs-137 radioaktivli izotopınıń beta-ıdırawı nátiyjesinde payda bolǵan Ba-137m metastabillı izotopı izotop generatorınan xlorlı natriydiń borat kislotadaǵı 3% lik eritpesi menen juwıp alınadı. Keyin juwıp alıńǵan Ba-137m izotoplarınıń aktivligi detektor járdeminde ólshenip, ólshew aktivliginiń waqıttan ġárezlilik grafigi alınadı.



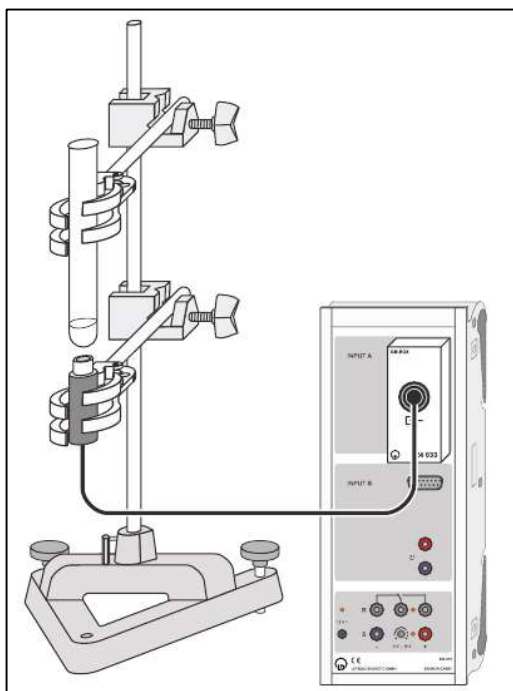
11-súwret. Cs-137 radioaktivli izotopınıń beta-ıdırawı nátiyjesinde Ba-137 izotopınıń tiykarǵı hám metastabilli hallarına ótiwin túsindiretuǵın sxema.

9-§. Eksperimentlerdi orınlaw ushın arnalǵan laboratoriyalıq dúzilis hám onı táriyiplew

Kerekli ásbap-úskeneler dizimi:

Ásbap-úskeneler atı	Sanı	
Cs/Ba-137m izotop generatorı	1 dana	559 815
Detektor trubkası	1 dana	559 01
GM korobka	1 dana	524 033
Sensor CASSY USB	1 dana	524 010
CASSY Lab 2	1 dana	524 200
V formasındaǵı shtativ, 20 sm	1 dana	300 02
Sterjen, 47 sm	1 dana	300 42
Leybold tutqışı	2 dana	301 01
Universal tutqışlar, 0 ... 80 mm	1 dana	666555
Probirkalar toplamı, 16 x 160 mm	1 dana	664 043
Menzurka, 250 ml,	1 dana	664 103
Xlorlı natriydiń borat kislotadaǵı 3% lik eritpesi, 100 ml	1 dana	
PC Windows OS	1 dana	

Bul eksperimentallıq jumıstı orınlaw ushın paydalanatuǵın eksperimentallıq dúzilistiń kórinisi hám jalǵanıw sxeması 12-súwrette kórsetilgen.



12-súwret. Ba-137m izotopınıń aktivliginiń waqıttan gárezlilikin ólshew ushın arnalğan eksperimentallıq dúzilistiń kórinisi.

Eksperimentallıq dúzilisti ornatiw hám jumıs islewge tayarlaw.

Eksperimentallıq dúzilistiń jalǵanıw sxeması 12-súwrette kórsetilgen. Bul súwrette tek ǵana sensor-CASSY dı *USB* jalǵawshı kabeliniń járdeminde personallıq kompyuterge jalǵanıwı kórsetilmegen. Qalǵan barlıq jalǵawlar súwrette kórsetilgendey tártipte jalǵanadı. Personallıq kompyuterde *CASSY Lab 2* kompyuterlik programması ornatiılǵan bolıwı kerek.

Universal tutqıshlardı shtativge ortasha biyiklikte bir-birinen shama menen 6 sm aralıqta turatınday etip bekkemleń.

Detektor trubkasın tómengi universal tutqıshqa vertikal jaǵdayında joqarıǵa qaratıp ornalasırıń hám onıń ekranlawshı qapqaǵın jılistirip qoyıń.

Probirkanı joqarıdaǵı universal tutqıshqa onıń tómengi bólimi detektor trubkasınıń kiriw aynasınan shama menen 0.5 sm qashıqlıqta turatuǵınday etip bekkemleń. Bunda probirka hámde detektor trubkası bir kósher boyında jatıwı kerekligine itibar qaratıń.

Sensor-CASSY dı *USB* jalǵawshı kabeliniń járdeminde personallıq kompyuterge jalǵań. *GM* korobkanı sensor-CASSY ge súwrette kórsetilgen tártipte tutasırıń hám detektor trubkasın jalǵawshı simlar járdeminde *GM* korobkaǵa jalǵań.

Sensor-CASSY apparatı detektorǵa kelip túsiwshı ionlastırıwshı bóleksheler tárepinen payda etilgen, *GM* karobka arqalı ózine jetkizilgen signaldı *CASSY Lab 2* kompyuterlik programması júklengen personallıq kompyuterge jetkerip beriw wazıypasın atqaradı.

10-§. Eksperimentallıq jumıstı orınlaw tártibi

Jumıstı orınlawda ámel qılıw kerek bolǵan radiaciyalıq qáwipsizlik texnikasınıń qaǵıydaları.

Radioaktivli úlgiler menen islesken waqıtta olardıń belgilengen normalardan artıq nurlanıw dozası insan densawlıǵına qáwip tuwdıratuǵınlıǵın esten shıǵarmaw kerek. Radioaktivli úlgilerdi olardıń qáwipsizligine juwapker hám A kategoriyasına iye bolǵan qánigelerdiń ruxsatisiz paydalanıwǵa bolmaydı.

Radioaktivli úlgilerdiń stoxastikalıq (ıtımallı tásirı uzaq wakıttan soń belgi beretuǵın) hám deterministikalıq (tásiri sol waqıtta belgi beretuǵın) tásirlerinen zıyanlanbaw ushın olardan qorǵanıwdıń tómendegi aspektlerin biliw kerek boladı:

1. Ara qashıqlıq. Radioaktivli úlgi menen paydalanıwshı arasındaǵı qashıqlıq qanshama úlken shamada bolsa zıyanlanıw itimallıǵı sonshelli az boladı.

2. Waqıt. Paydalanıwshı radioaktivli úlgini tek ǵana paydalanıw waqtındaǵana konteynerinen alıp, soń tezlikte onı konteynerine qaytarıwı kerek. Qanshama az waqıt dawamında onı paydalansa zıyanlanıw itimallıǵı sonshelli az boladı.

3. Ekranlaw (tosıq). Radioaktivli úlgiler menen islesken waqıtta úlgi hám paydalanıwshı arasındaǵı tosıqlar hám qorǵanıwshı ekran túri menen qalınlıǵına baylanıslı onnan zıyanlanıw itimallıǵın kemeytiriw múmkin.

4. Muǵdarlıq. Radioaktivli úlgiler menen islesken waqıtta olardıń aktivligi kem bolǵan túrinen paydalanılsa onıń zıyanlawshı tásiiri sonshelli kem boladı.

Cs/Ba-137m izotop generatorı menen ruxsat etilmegen shaxslardıń jumıs islewi qadaǵan etiledi.

Cs/Ba-137m izotop generatorınan paydalanıwdan aldın onıń pútin ekenligine, yaǵnıy korpusınıń sınbaǵanlıǵına isenim payda etiń.

Cs/Ba-137m izotop generatorın laboratoriya xanasında saqlaǵan waqıtta, insanlardı onıń nurlandırawshı tásirinen ekranlaw maqsetinde arnawlı metall seyflerde saqlań.

Minimum ekspoziciya waqtı hám minimum aktivlikke erisiw ushin Cs/Ba-137m izotop generatorın tek onnan Ba-137m di juwıp alıw waqtında ǵana konteynerinen shıǵarıp alıń. Basqa waqıtta onı konteynerinen shıǵarmań. Ba-137m di juwıw waqtında qorǵanıw qolqapların kiyiw kerek.

Eksperimentallıq jumıstı baslamay turıp, aldınǵı paragrafta kórsetip ótilgen barlıq ásbap-úskenerlerdiń sazlıǵına hám olardıń durıs jalǵanǵanlıǵına, jalǵawlardıń jaqsı bekkemlengenligine itibar qaratıń.

Eksperimentti orınlaw hám nátiyjelerdi alıw tómendegi tártipte ámelge asırıladı:

- Izotoplar generatorınan Ba-137m di juwıp alıw.
- *CASSY Lab 2* kompyuterlik programmasındaǵı ólshew parametrlerin ornatiw.
- *CASSY Lab 2* kompyuterlik programmasında ólshewdi baslaw hám toqtatıw.
- Eksperimentte alınǵan nátiyjelerdi qayta islew.
- Eksperimentte alınǵan nátiyjelerdi saqlap qoyıw.

Izotoplar generatorınan Ba-137m di juwıp alıw tártibi.

- Shpric ushına bir bólek plastikli tutiksheni bekkemleń, shpric ishine shama menen 2-3 ml eritpe alıń hám plastikli tutiksheni alıp taslań.

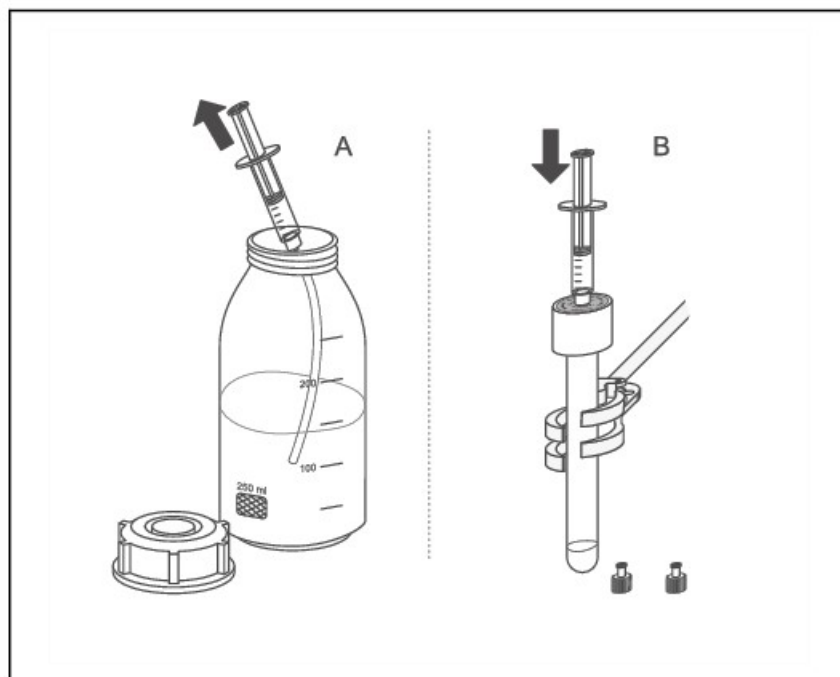
- Cs/Ba-137m izotop generatorınıń rezbalı shleyfindegi qorǵawshı qapqaǵın buraw arqalı ashıp alıń. Soń shprictiń ushın shleyf ústine burap qatırıń.

- Cs/Ba-137m izotop generatorınıń shıǵıw shleyfinen qorǵawshı qapqaǵın burap alıń hám onı shtativke bekkemlengen probirkaniń ústine qoyıń.

- Shprictiń porshenin abaylıq penen áste basıw arqalı juwıwshı eritpeni Cs/Ba-137m izotop generatorınan ótkiziń. Juwıw waqtı 10-20 s aralıǵında bolsın.

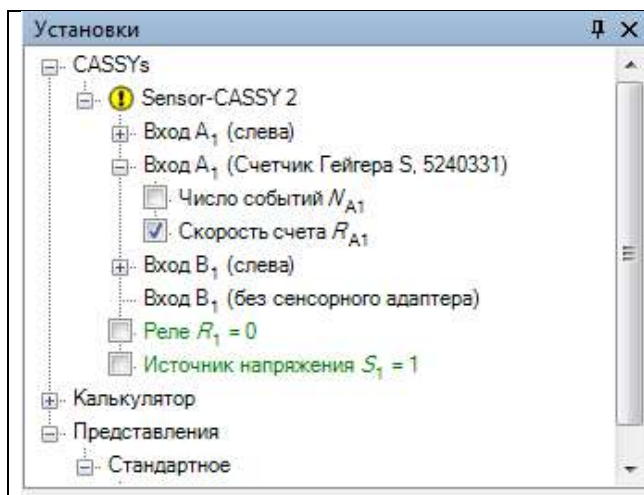
Cs/Ba-137m izotop generatorınıń paydalanıwǵa jaramlıq waqtı onıń ishindegi júdá kishi tesiksheli filtrlarınıń sol tesiksheler arqalı ótiwshı juwıwshı eritpeler tásirinde pataslanbawına (pitelip qalmawına) baylanıslı boladı. Eger joqarı tazalıqqa iye bolǵan juwıwshı eritpelerden paydalanılsa generatordı 500-1000 ese qayta juwıw máqsetinde paydalanıw múmkin boladı.

Cs-137 hám Ba-137m arasında radioaktivlik teńsalmaqlılıq 20 minuttan soń tiklenedi. Sonlıqtan, sol waqıttan keyin ǵana qayta juwıwlardı (eksperimentti qayta orınlaw máqsetinde) ámelge asırıw maqsetke muwapıq boladı.



13-súwret. Ba-137m di Cs/Ba-137m izotop generatornan juwıp alıw tártibi. a) eritpeni shpricke tartıp alıw; b) eritpeni izotop generatorı arqalı ótkizip, onnan Ba-137m izotopın juwıp alıw.

CASSY Lab 2 kompyuterlik programmasındaǵı ólshew parametrlerin qoyıw tártibi. Personallıq kompyuterdegi CASSY Lab 2 kompyuterlik programmasın júkleń hám programmanıń jumısshı aynasındaǵı  túymesin mıshkanıń oń túymesini arqalı basın. Jumısshı aynasınıń oń tárepinde «Ustanovki» aynası ashıladı (14-súwretke qarań).



14-súwret. CASSY Lab 2 kompyuterlik programmasındaǵı «Ustanovki» aynası.

Sol aynadaǵı «*Skorost scheta R_{A1}* » ge belgi qoyıń hám onıń ustine bir ret basıw arqalı «Ustanovki» aynasınıń tómengi tárepinde «*Skorost scheta R_{A1}* » parametrler aynasın shıǵarıń. Ol jerge tómendegilerdi kirgiziń (15-súwret):

- ólshew diapozonı¹⁰: «100 1/s»,
- ólshew waqtı: «12 s»,
- ólshew rejimi: «*avtomat.*»,

¹⁰ ólshew diapozonın qoyıw radioaktivli úlginıń registraciyanıp atırǵan dáslepki ólshew aktivligine baylanıslı boladı.

- ólshew dawamlığı: «600 s»,
- ólshew intervalı: «100 ms».

15-сúwret. Ólshew parametrlerin tańlaw aynası.

Koordinatanıń X hám Y kósherlerine sáykes waqıt t hám waqıt birligine tuwrı keliwshi impulsler sanı, yaǵnıy ólshew jıyılıǵı R_{A1} ni tańlap qoyıń (16-сúwret).

16-сúwret. CASSY Lab 2 kompyuterlik programmasındaǵı koordinata kósherlerin hám grafikalıq sıızıqtıń stilin tanlaw aynası.

CASSY Lab 2 kompyuterlik programmasında ólshewlerdi baslaw hám toqtatıw tártibi.

Ekspерiment mıshkanıń kórsetkishini járdeminde  ólshewdi baslaw túymesin basıw arqalı yamasa klaviaturadaǵı F9 funkcionallıq túymesin basıw arqalı baslanadı. Ólshewler 600 s waqıt dawamında ámelge asırıladı. Soń eksperimentallıq ólshewler  túymesin tákirar basıw arqalı toqtatıladı.

Kompyuterlik programmanıń úskeneler panelindegi  túymesiniń, yamasa klaviaturadaǵı F2 funkcionallıq túymesiniń járdeminde alınǵan eksperimentallıq jumıstıń nátiyjeleri saqlap qoyıladı.

Ekspерimentte alınǵan nátiyjelerdi qayta islew tártibi.

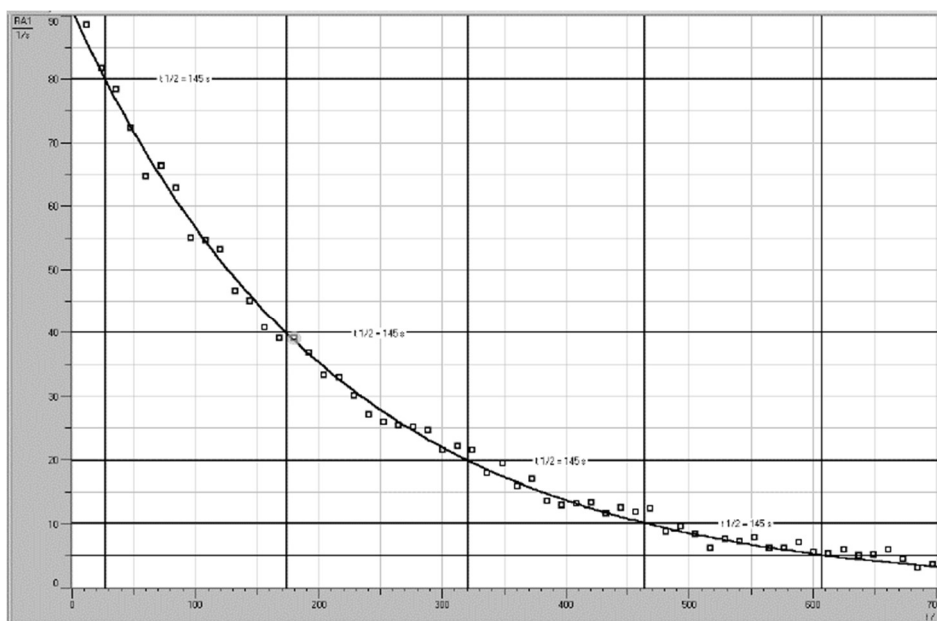
CASSY Lab 2 kompyuterlik programmasınıń jumıs aynasındaǵı alınǵan grafiktıń ústine mıshkanıń kórsetkishin alıp barıp soń onıń oń túymesin basın. Payda bolǵan menyu qatarınan «Fit Function → Exponential function e^x » di tanlań. Soń alınǵan nátiyjelerdi kórsetiwshi noqatlardıń basınan aqırına shekem mıshkanıń kórsetkishin onıń shep túymesin basıw arqalı júrgizip belgileń. Bunıń nátiyjesinde kompyuterlik programma alınǵan nátiyjeler grafigine sáykes keliwshi eksponenciallıq funkciyanıń grafigin sıızıp

beredi (17-súwretge qarań). Grafiktiń tómengi bóliminde usı eksponenciallıq funkciyanıń analitikalıq kórinisi de ($A \exp(-x/B)$ túrinde) keltiriledi.

Alt+H túymeler kombinaciyası arqalı gorizontallıq sızıqlardı aktivlestiriw múmkin. Olardıń birinshisin mıshkanıń kórsetkishi arqalı aktivliktiń jaqsı anıqlanğan baslanğısh shamasına (bizlerdiń jaǵdayımızda 80 1/s ke) qoyıń. Soń usını dawam ettirgen halda tanlanğan baslanğısh aktivlik shamasınıń yarımına, tórtten birine, segizden birine sáykes keliwshi ordinata kósheriniń koordinatalarına gorizont sızıqlar júrgiziń.

Alt+V túymeler kombinaciyası arqalı vertikal sızıqlardı aktivlestiriw múmkin. Soń olardı mıshkanıń kórsetkishi arqalı aldın qoyılğan gorizont sızıqlar menen eksponenciallıq funkciyanıń sızıǵı kesilisetuǵın orınlarǵa qoyıp shıǵıń.

Alt+D túymeler kombinaciyası arqalı eki vertikal sızıqlar arasındaqı ayırmanı (waqıtlar parqın) tabıw múmkin. Grafiktegi eki qońsilas vertikal sızıqlar arasındaqı ayırmanı anıqlaw arqalı yarım ıdıraw dáwiri tabıladı.



17-súwret. Ba-137m niń *CASSY Lab* kompyuterlik programmasındaǵı ıdıraw grafigi. Noqatlar – bular eksperimentte alınğan nátiyjeler, al sızıq – bul alınğan nátiyjelerge sáykes keliwshi eksponenciallıq funkciyanıń grafigi.

17-súwrettegi grafikten

$$t_{1/2} = 145.2 \text{ s} = 2.42 \text{ min.}$$

ekenligin anıqlaw múmkin. Ádebiyatlarda keltirilgen Ba-137m niń yarım ıdıraw dáwiriniń shaması tómendegidey bolıp tabıladı:

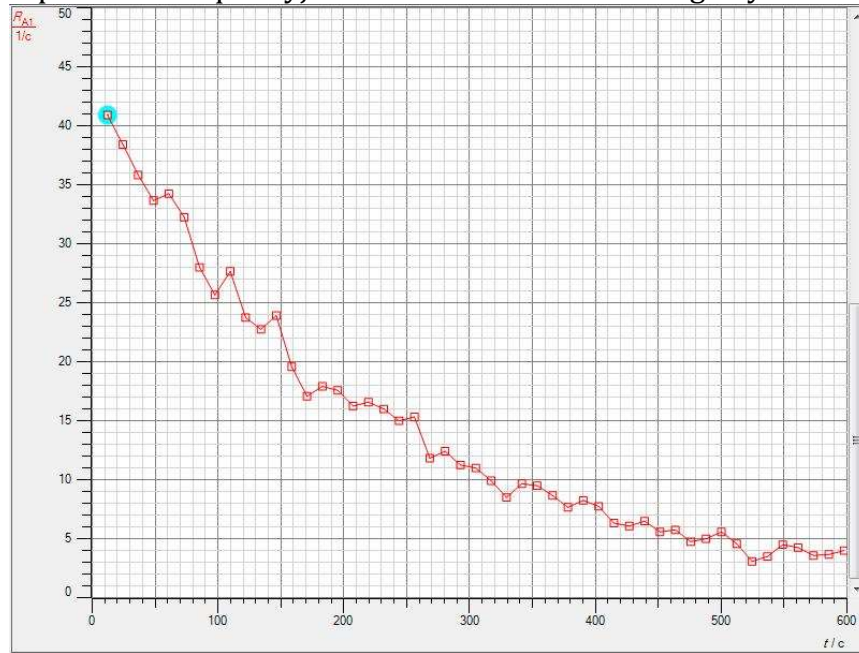
$$t_{1/2} = 153.08 \text{ s} = 2.5514 \text{ min.}$$

11-§. Eksperimentlerde alınğan nátiyjeler hám olardı tallaw

Endi biz eksperimentallıq jumıstı orınlap alınğan nátiyjeler hám olar járdeminde yarım ıdıraw dáwirlerin anıqlaw usılların keltiremiz.

Radioaktivli zattıń t waqıt dawamında ıdramay qalğan yadrolarınıń sanı $N(t)$ hám usı zattıń aktivligi $A(t)$ waqıttıń funkciyası sıpatında eksponenciallıq nızam boyınsha kemeyedi. Bul kemeyiw yarım ıdıraw dáwiri T menen xarakterlenedi. Bul waqıtta dástlepki (ólshewler baslanǵanǵa shekemgi) radioaktivli yadrolar sanı hám zattıń aktivligi eki ese kemeyedi. Usılardı itibarǵa alıp eksperimentte alınğan ólshew aktivliginiń waqıttan ǵárezlilik grafiginen yarım ıdıraw dáwirin anıqlawımızǵa boladı.

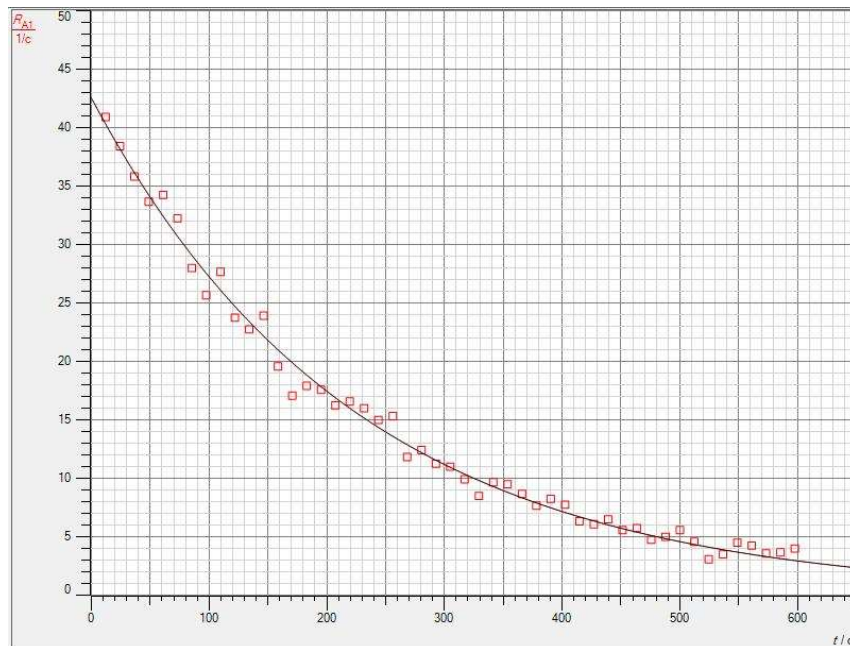
Alınan eksperimentallıq nátiyjeler áwel basta 18-súwrettegidey kóriniste boladı.



18-súwret.

Bul grafikten yarım ıdıraw dáwirin eki usıl menen anıqlawğa boladı.

1-usıl. Kompyuterlik programmanıń «Fit Function –> Exponential function e^x » funkciyası arqalı bul alınğan nátiyjelerge sáykes keliwshi eksponenciallıq funkciyanıń sızıǵın payda etemiz (19-súwret).



19-súwret.

Grafik aynasınıń tómeni bóliminde usı eksponenciallıq funkciyanıń analitikalıq kórinisi de ($A \exp(-x/B)$ túrinde) keltiriledi. Bul alınğan –súwrettegi eksponenciallıq funkciyanıń analitikalıq kórinisi tómendegishe boldı:

$$f(x) = 42,5 \exp(-x/224,6)$$

Joqarıdaǵı funkciyanı (11) formulaǵa salıstırıp ólshew aktivliginiń baslanǵısh shamasın hám ıdıraw turaqlısın anıqlaymız:

$$A_0 = 42,5 \text{ s}^{-1}, \quad \lambda = 1/224,6 \text{ s}^{-1}$$

Bul ıdıraw turaklısı ushın yarım ıdıraw dáwri (9) formuladan tómendegidey etip tabıladı:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693 \cdot 224,6 \text{ s} = 155,6478 \text{ s} \approx 2,59413 \text{ min.}$$

Demek 1-usıl boyınsha Ba-137m radioaktivli izotopı ushın yarım ıdıraw dáwri 2,59413 min. qa teń boldı.

2-usıl. Alt+H túymeler kombinaciyası arqalı aktivliktiń jaqsı anıqlanǵan baslanǵısh shamasına, soń usı tanlanǵan baslanǵısh aktivlik shamasınıń yarımına, tórtten birine, segizden birine sáykes keliwshi ordinata kósheriniń koordinatalarına gorizonttal sızıqlar júrgiziń.

Alt+V túymeler kombinaciyası arqalı vertikal sızıqlardı aldın qoyılǵan gorizonttal sızıqlar menen eksponenciallıq funkciyanıń sızıǵı kesilisetuǵın orınlardı qoyıp shıǵıń.

Alt+D túymeler kombinaciyası arqalı eki vertikal sızıqlar arasındaqı ayırmanı (waqıtlar parqın) tabıw múmkin (20-súwret). Grafiktegi eki qońsilas vertikal sızıqlar arasındaqı ayırmanı anıqlaw arqalı yarım ıdıraw dáwri tabıladı:

$$T_1 = t_2 - t_1 = 165,1 \text{ s} - 12,2 \text{ s} = 152,9 \text{ s}$$

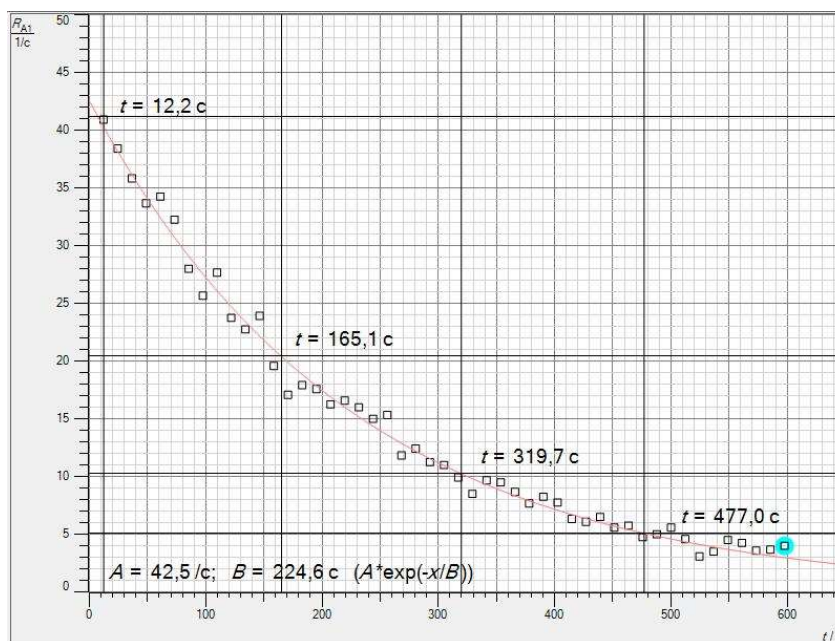
$$T_2 = t_3 - t_2 = 319,7 \text{ s} - 165,1 \text{ s} = 154,6 \text{ s}$$

$$T_3 = t_4 - t_3 = 477,0 \text{ s} - 319,7 \text{ s} = 157,3 \text{ s}.$$

Bulardıń ortasha mánisi

$$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = \frac{152,9 \text{ s} + 154,6 \text{ s} + 157,3 \text{ s}}{3} = 154,933 \text{ s} \approx 2,58221 \text{ min.}$$

ge teń.



20-súwret.

Demek 2-usıl boyınsha Ba-137m radioaktivli izotopı ushın yarım ıdıraw dáwri 2,58221 min. qa teń boldı.

Ba-137m radioaktivli izotopınıń yarım ıdıraw dáwiriniń ádebiyatlarda keltirilgen shaması 2,55 min. bolıp tabıladı.

Pitkeriw qánigelik jumısı boyınsha ulıwmalıq juwmaqlar

1. Pitkeriw qánigelik jumısında radioaktivli izotoplardı laboratoriyalıq sharayatlarda alıwdıń eń ápiwayı bolǵan usılı izotoplıq generatorlardı paydalanıw ekenligi kórsetildi. Qısqa jasawshı radioaktivli izotoplardı alıw hám olardı oqıw laboratoriyalarında izertlew radioaktivlik qubılısı haqqındaǵı fundamentallıq bilimlerge iye bolıwdıń tiykarı ekenligi atap ótildi. Usı jaǵdaylardı esapqa alǵan halda bul pitkeriw qánigelik jumısı metastabilli Ba-137m izotopın radioaktivli Cs-137 izotopınıń járdeminde alıw (The Cesium-137/Barium-137m Minigenerator system) hám onıń yarım ıdıraw dáwirin úyreniw maqsetinde orınlandı.

2. Ba-137m izotopınıń yarım ıdıraw dáwirin anıqlawdıń tiykarǵı principi, laboratoriyalıq dúzilistiń túsindirmesi, jumıstı orınlaw tártibi haqqında maǵlıwmatlar keltirip ótildi hám alıńǵan nátiyjelerdi tallaw máseleleri sheshildi.

3. Ótkerilgen eksperimentlerde alıńǵan aktivlitiń shamasınıń waqıttan ǵárezliginiń grafiginen yarım ıdıraw dáwirin anıqlawǵa bolatuǵınlıǵı anıqlandı.

4. Alıńǵan nátiyjelerdiń tiykarında arnawlı usıllar járdeminde Ba-137m radioaktivli izotopınıń yarım ıdıraw dáwiriniń 2,58221 *min.* qa teń bolatuǵınlıǵı anıqlandı.

5. Pitkeriw qánigelik jumısında keltirilgen teoriyalıq maǵlıwmatlar hám eksperimentallıq jumıs nátiyjelerin fizikanıń «Atomlıq fizika», «Atom yadrosı hám elementar bóleksheler fizikası» kursları jáne «Laboratoriyalıq praktikum»lar boyınsha oqıwlıq, oqıw-metodikalıq qollanbalar tayarlawda paydalanıw múmkin.

Paydalanılğan ádebiyatlardıń dizimi

1. Селинов ИЛ. II Изотопы, М.: Наука, 1970. Т. 1-3.
2. Селинов ИЛ. II Строение и систематика атомных ядер. М.: Наука, 1990. 110 с.
3. Бердонос С. С. II Радионуклиды. Физическая энциклопедия. Т.4. М.: Научное издательство "Большая Российская Энциклопедия", 1994. С.226.
4. Физические величины. Справочник. Под ред. Григорьева И. С. и Мейлихова Е.З. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.
5. Бродский А.И. II Химия изотопов. М.: Издательство АН СССР, 1957. 595 с.
6. Меландер Л. II Изотопные эффекты в скоростях реакций. Пер. с англ. М.: Мир, 1964. 120 с.
7. Бор О., Моттельсон Б. II Структура атомного ядра. Пер. с англ. Т. 1,2. М.: Мир, 1971.
8. Широков ЮМ., Юдин Н.П. II Ядерная физика. 2-ое изд. М.: Наука, 1980. 727 с.
9. Ракобольская ИВ. II Ядерная физика. 2-ое изд. М.: Издательство МГУ, 1981. 280 с.
10. Абрамов А.И. II Основы ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1983. 256 с.
11. Горбачев В.М., Замятнин Ю.С., Лбов А.А. II Основные характеристики изотопов тяжелых элементов. 2-ое изд., М.: Атомиздат, 1975. 207 с.
15. Куликов И.С. II Изотопы и свойства элементов. Справочник. М.: Металлургия, 1990. 113 с.
16. Голашвили Т.В., Лбов А.А., Чечев В.П. II Справочник нуклидов. М.: ЦНИИАтоминформ, 1995. 439 с.
17. Абрагам А. II Ядерный магнетизм. Пер. с англ. М.: Изд. ИЛ, 1963. 561 с.
18. Левин В.И. II Получение радиоактивных изотопов. М., Атомиздат, 1972. 256 с.
19. http://бмэ.орг/index.php/ГЕНЕРАТОРЫ_РАДИОАКТИВНЫХ_ИЗОТОПОВ
20. http://bigmed.info/index.php/GENERATORS_OF_RADIOISOTOPES
21. Левин В. И. и др. Генераторы короткоживущих изотопов, в кн.: Производство изотопов, под ред. В. В. Бочкарева и др., с. 149, М., 1973;
22. Lederer C.M. Table of Isotopes. 7 th.Ed. N.Y.: Wiley and Sons, 1978.
23. https://en.wikipedia.org/wiki/International_Atomic_Energy_Agency
24. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1340_web.pdf
25. Radioisotope Production and Quality Control, Technical Reports Series No. 128 (1971).
26. T.Kawashima. A barium-137m generator. The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. Volume 19, Issue 11, November 1968, Pages 816-818.