

123| յոդի և նրանից
պատրաստուկների ստացման
մեթոդները

Յոդի ռադիոակտիվ իզոտոպների
կիրառումը միջուկային բժշկության
համար հիմնականում պայմանավորված
է նրանով, որ **յոդը** որպես **քիմիական**
տարր առկա է **տիրեոիդ հորմոններում**
(**տիրոքսին** և **տրիյոդտիրոնին**), որոնք
արտադրվում են մարդու **վահանաձև**
գեղձով և կատարում են
բազմաֆունկցիոնալ ազդեցություն նրա
աճի, **զարգացման** և
նյութափոխանակության վրա:

Ուստի այսպիսի ռադիոակտիվ
օրգանոզենի կիրառությունը
կենսաբանորեն ակտիվ նշված
միացություններ ստանալու համար
թույլ է տալիս մի կողմից
իրականացնել նրանց ճշգրիտ
նպատակային օրգանին հասցնելը, իսկ
մյուս կողմից՝ ստանալ տեղեկություն
այդ օրգանի գործունեության,
մեթաբոլիզմի և վնասվածության
աստիճանի մասին:

Իր միջուկային-ֆիզիկական և բժշկա-
կենսաբանական հատկությունների
հաշվին ախտորոշման
հետազոտությունների համար յոդի
ռադիոիզոտոպներից **ամենահարմարն**
է **123Յոդը:**

Այն առաջին անգամ ստացվել է **1949**
թվականին **I. Perlman**-ի կողմից և
1962 թվականին **W.G. Myers** և **H.I.**
Anger կողմից **առաջարկվել**
բժշկության համար օգտագործելու:

Յոդի ավելի քան 10 ռադիոակտիվ
իզոտոպներից միջուկային բժշկության
համար պրակտիկ կիրառում են գտել ¹³¹I,
¹²⁵I (բրախիթերապիա,
ռադիոիմունոլոգիական ախտորոշում) և
¹²³I. Ներկայումս առաջարկվում է նաև
կարճակյաց ¹²¹I և ¹²²I իզոտոպների
կիրառումը:

Նախկինում լայնորեն կիրառվող ^{131}I յոդի փոխարեն ^{123}I ներմուծումը բժշկական առօրյա թույլ տվեց մոտ 100 անգամ նվազեցնել զննվողների ռադիացիոն բեռնվածությունը:

Յոդի բոլոր ռադիոիզոտոպներից (բացի ^{131}I յոդի) ամենառադիոթունավորն են համարվում ^{124}I , ^{125}I և ^{130}I , և նրանց առկայությունը ^{123}I Յոդում նույնիսկ մինչև 1 % քանակով զգալիորեն ավելացվում է ռադիացիոն բեռը:

123Յոդ ստանալու համար գոյություն ունեն **ավելի քան 25 միջուկային ռեակցիա**, որոնք պայմանականորեն կարելի է բաժանել **2 խմբի՝ ուղղակի ռեակցիաներ**, որոնցում անմիջապես **123Յոդ** է առաջանում, և **կողմնակի՝** որոնցում առկա է միջանկյալ կարճակյաց նախնի, օրինակ **^{123}Xe ($T_{1/2} = 2,08$ ժամ)** և **^{123}Cs (1,6 վրկ)**:

Կոդմնակի մեթոդների օրինակ կարող են
ծառայել հետևյալ ռեակցիաները



Ինչպես նաև



Այս ռեակցիաները թույլ են տալիս
ստանալ բարձր ռադիոնուկլիդային
մաքրության 123Յոդ: Այստեղ հիմնական
խառնուրդն է ^{125}I 0,2–0,5 % մոտավոր
բաղադրությամբ:

Միաժամանակ հարկ է նշել, որ այս
ռեակցիաները պահանջում են **պրոտոնների**
բարձր էներգիայի արագացուցիչներ: Օրինակ



ռեակցիայի համար անհրաժեշտ են **20–65**

ՄէՎ էներգիայով պրոտոններ,

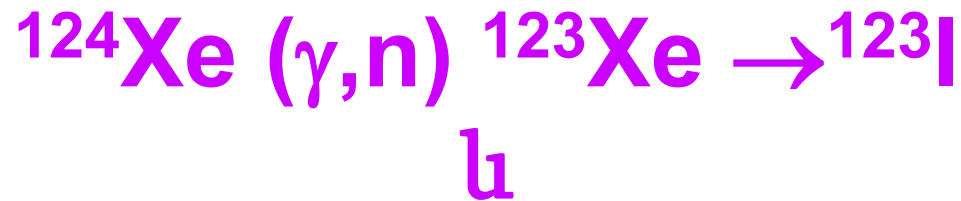
իսկ



ռեակցիայի համար՝

65–42 ՄէՎ:

123Յոդի լայնածավալ արտադրության
համար մեծ հեռանկարներ ունեն
ֆոտոմիջուկային ռեակցիաները



Եթե որպես թիրախ օգտագործվում են
հարստացված (ընդհուպ **մինչև 99,9 %**)
 ^{124}Xe թիրախներ.

Որպես օրինակ կարելի է նշել
Էլեկտրոնային մեծ հոսանք ապահովող
«Факел» արագացուցիչը, (РНЦ
«Курчатовский институт»), որի վրա
ստացվել են ^{123}I փորձնական քանակներ
 830 ± 50 մԿի ակտիվությամբ և այլ
խառնուրդ ռադիոնուկլիդների
գումարային $0,02 \%$ ակտիվությամբ:

Քսենոնի թիրախը ճառագայթվել է 30 ՄԷՎ
էներգիայով և 350 մկԱ հոսանքով
էլեկտրոնային փնջից ստացված
արգելակային գամմա-ճառագայթներով:
Ճառագայթումից հետո քսենոնի թիրախը
սառեցնում են և որոշ ժամանակ պահում
են ¹²³I կուտակման համար, որն
այնուհետև լվանում են ջրով:

Նման հետզոտություններ անց
են կացվել նաև Երևանի
Ֆիզիկայի ինստիտուտում
2011-ին ՊԿԶ-50 էլեկտրոնային
արագացուցչի – ներարկիչի
էլեկտրոնային փնջով:

$\gamma + {}^{124}\text{Xe} \rightarrow {}^{123}\text{Xe} + n$ n եակցիայի շեմն է – 8.3 ՄէՎ



$T_{1/2} = 2.2$ ժամ ${}^{123}\text{Xe} \rightarrow {}^{123}\text{I}$ ($T_{1/2} = 13.3$ ժամ)

Изотоп	Содержание (%)
¹²⁴ Xe	0.096
¹²⁶ Xe	0.09
¹²⁸ Xe	1.92
¹²⁹ Xe	26.44
¹³⁰ Xe	4.08
¹³¹ Xe	21.2
¹³² Xe	26.89
¹³⁴ Xe	10.44
¹³⁶ Xe	8.87

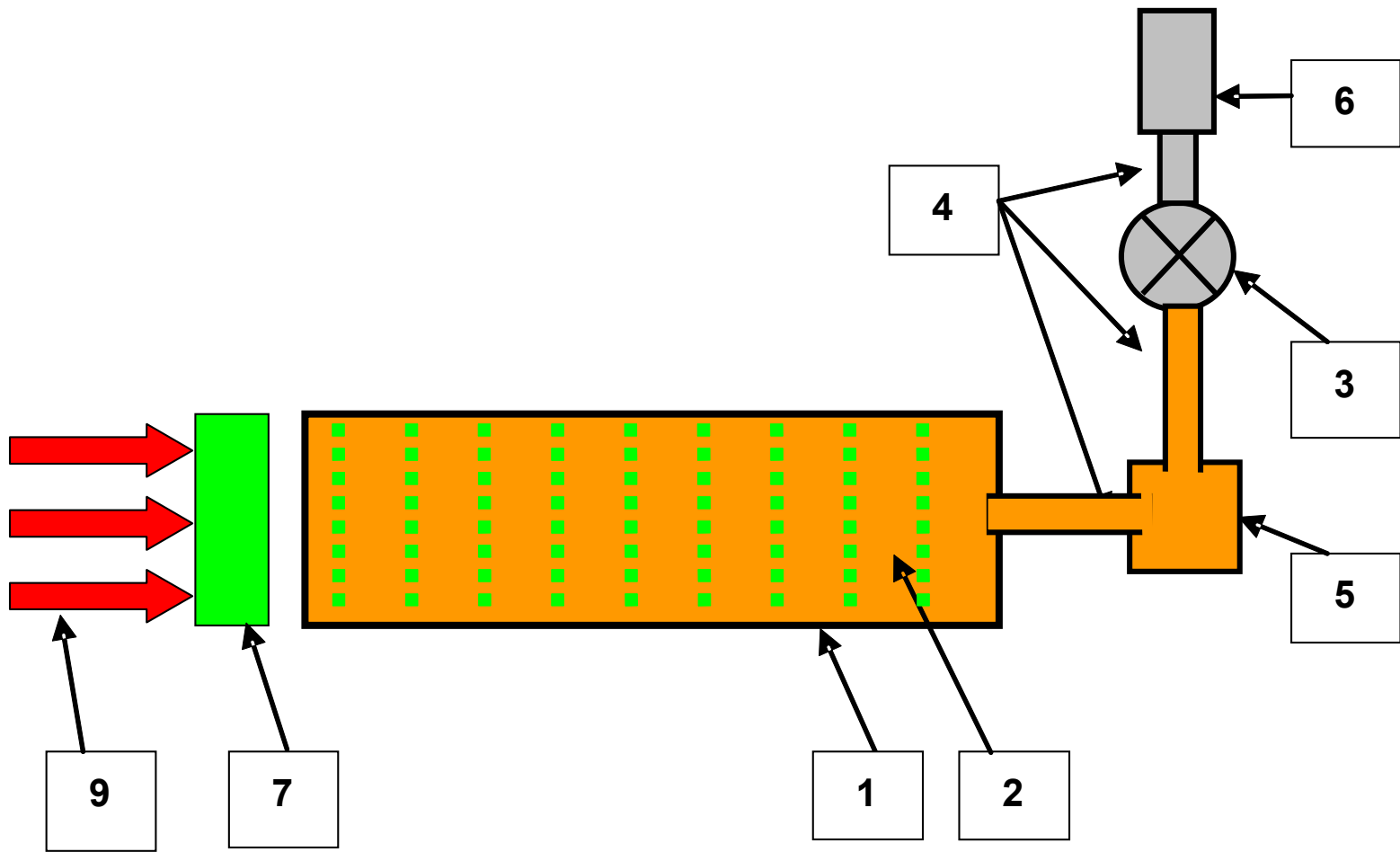
Ճառագայթման անցկացման պայմաններն
էին՝

Ճառագայթվող Xe գազի զանգվածը ~ 40 գ
Xe գազի ճնշումը գլանաձև սրվակում -
 ~ 200 բար

Էլեկտրոնների էներգիան – 40 ՄէՎ
Փնջի հոսանքը - ~ 9 մկԱ

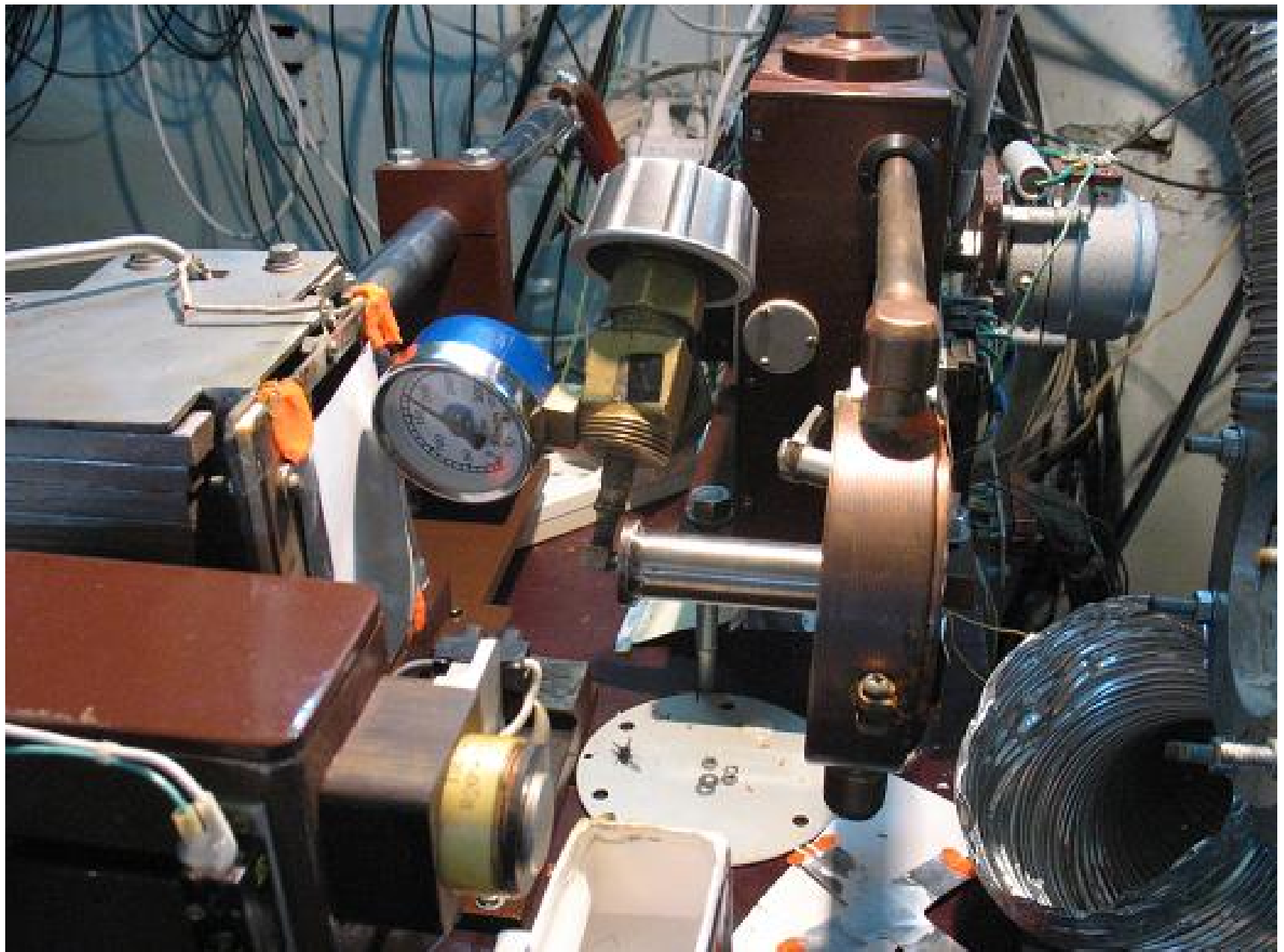
Ճառագայթման տևողությունը – 12 ժամ.
Թիրախի առավելագույն ջերմաստիճանը՝
– 20°C

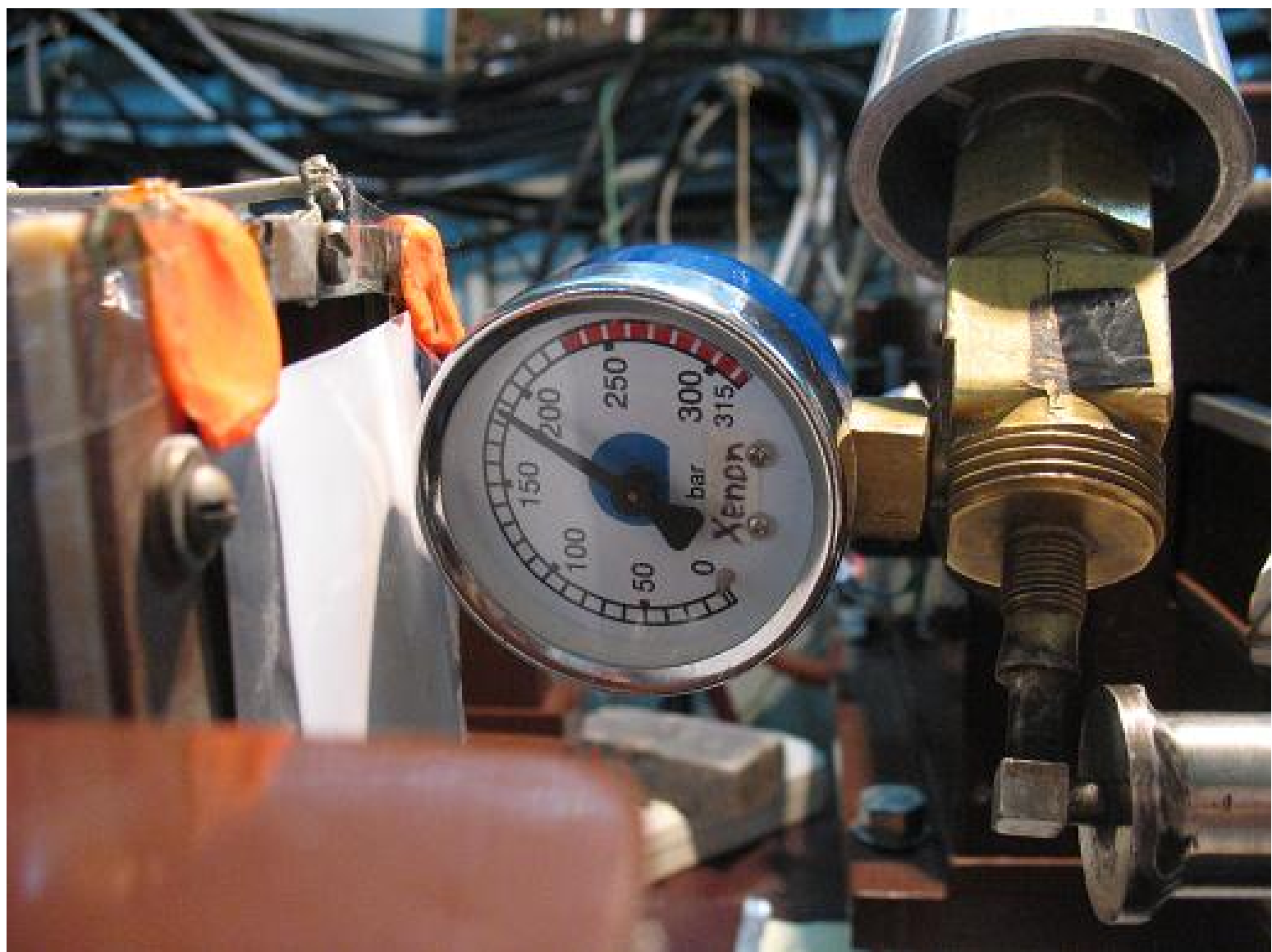
Ճառագայթման ընթացքում թիրախում
ճնշման աճը – մինչև 250 բար:



1 – թիրախի կադապար(չժանգոտող երկաթ), 2 – թիրախի նյութ (Xe), 3 - բարձր ճնշման փական, 4 – միացնող խողովակներ, 5 – 90 աստիճան անկյունակ, 6 – միացման սարք, 7 – արգելակային ճառագայթման կոնվերտեր, 8 – էլեկտրոնային փունջ:

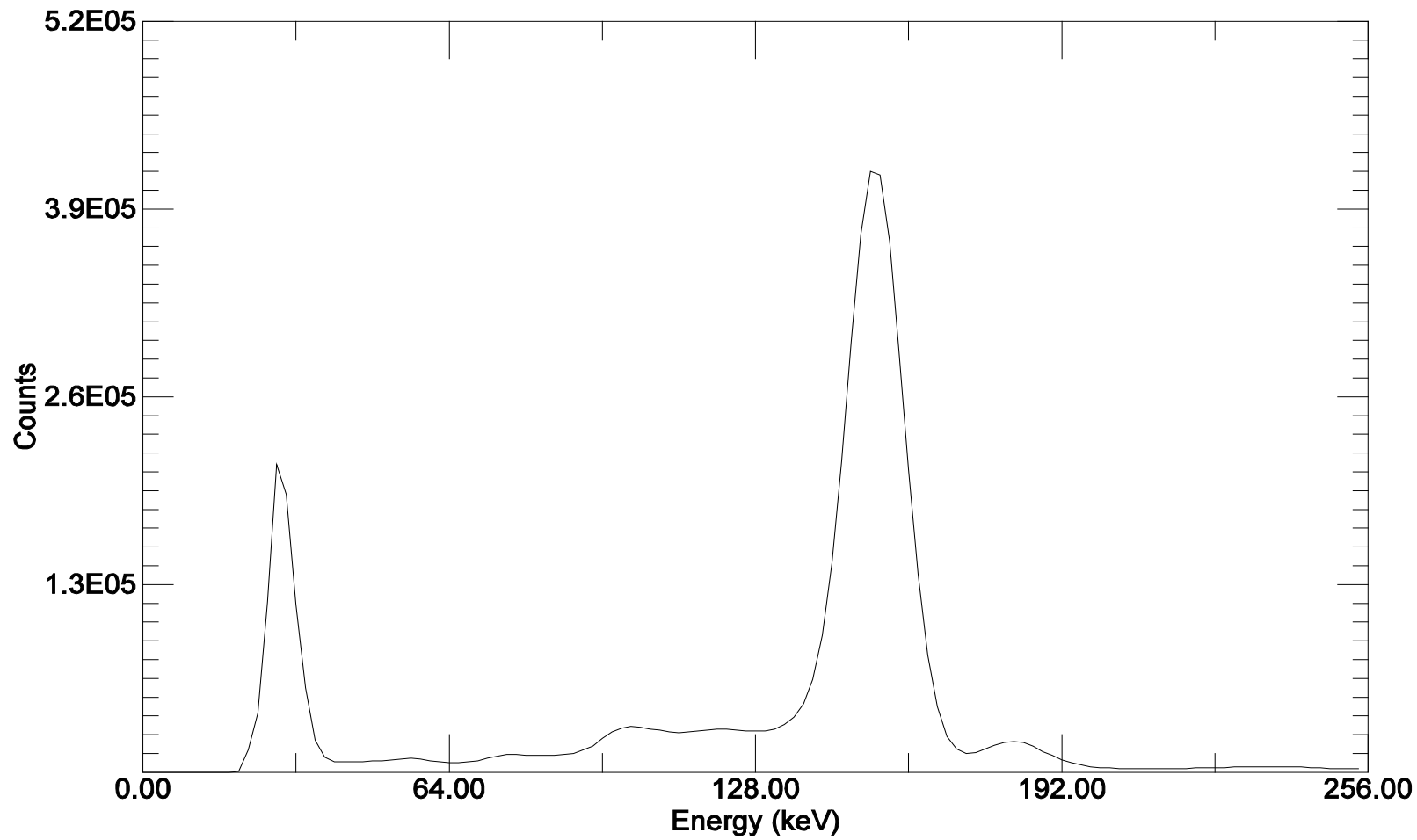








Dete



Acquired: 6/18/2010 11:31:13 AM
File: F:\June2010\sp20.Chn
Detector: #12901 MCB 129

Real Time: 500.00 s. Live Time: 473.88 s.
Channels: 1024

Նորմավորված
ակտիվությունը

$$Y=143 F_p / \sqrt{q^*} \sqrt{U^*} \text{ ժամ,}$$

համաձայնվում է

К.Ш.Агабабян,

Н.А.Демехина.

О

ВОЗМОЖНОСТИ получения ^{123}I для

радиоизотопной диагностики на

линейном ускорителе электронов в

ЕрФИ. Препринт ЕФИ-823(50)-85, 1985

աշխատանքում բերված արդյունքների

հետ:

տեսակարար
կազմեց

որը լավ

Ուղղակի ռեակցիաները կարող են իրականացվել փոքր և միջին հզորության ցիկլոտրոններով: Դա հիմնականում այն ռեակցիաներն են, որոնցում ճառագայթվում են տելուրի տարբեր հարստացված իզոտոպները՝ արագացրած պրոտոններով և դեյտրոններով ռմբակոծելով:



Այդ մեթոդների հիմնական թերություններն են
մրցակցային ռեակցիաներով ¹²⁴I, ¹²⁵I, ¹²⁶I և ¹³⁰I
խառնուրդ իզոտոպների առաջացումը: Նրանք
ստացվում են տելուրի 124-130 զանգվածային
թվերով իզոտոպային խառնուրդներից, որոնք
առկա են թիրախի նյութում: Նրանց
գումարային առկայության 3% ընդհանուր
բաղադրության պայմաններում յոդի տարբեր
խառնուրդ ռադիոիզոտոպների ակտիվությունը
սովորաբար կազմում է 0,6–1,5 %.

Նշված ուղղակի ռեակցիաները միայն



ռեակցիան է կիրառվում **^{123}I** առևտրային արտադրության համար:

Այս ռեակցիայում **^{123}I** տեսական ելքը կազմում է **$6,5$ մԿի/մկԱ.ժամ** պրոտոնների սկզբնական էներգիայի

$E_p = 22,4$ ՄէՎ դեպքում:

$^{123}\text{Te} (p,n) ^{123}\text{I}$

ռեակցիան բավարար արդյունավետ է
փոքր ցիկլոտրոնների համար, օրինակ
ՄԴԸ-20, ՑՑ 18/9 (տեսական ելքը
կազմում է 3,2 մԿի/մկԱ-ժամ; $E_p = 15$
ՄէՎ) և թույլ է տալիս ստանալ մինչև 350
մԿի ^{123}I -ով ճառագայթման մեկ փուլում:

Հարկ է նշել, որ քանի որ բնական Տելուրը
պարունակում է ընդամենը **0,89% ^{123}Te** ,
ապա այդ հանգամանքը դարձնում է այս
մեթոդը **բավականին թանկարժեք:**
Այնուամենայնիվ հենց այս մեթոդով
ներկայումս **Ռուսաստանում արտադրվում**
է ^{123}I -ը մեծ մասը՝ Սանկտ-
Պետերբուրգում:

Տելուրային թիրախները, ի տարբերություն
գազային և յոդային (օրինակ NaI մամլած փոշի)
իրենցից ներկայացնում են **ապակենման**
զանգված, որը պատրաստված է TeO_2 օքսիդից և
որպես կանոն **նստեցված է պլատինե**
հենարանին: Այդ թիրախի վատ
ջերմահաղորդականության պատճառով
ճառագայթման ընթացքում պահանջվում է
հատուկ սառեցում: Սովորաբար կիրառվում է
երկու սառեցնող նյութերի համակցումը՝ **ջրով**
հենարանի կողմից և **հելիումով ճակատի**
կողմից:

123Յոդի հետագա **գտումը** տեղում
թիրախից կատարվում է **չոր թորման**
մեթոդով **715–750°C**
ջերմաստիճանների տիրույթում,
այնուհետև **գազային նյութը կլանվում**
է հիմքով, օրինակ **0,01M NaOH**
լուծույթով: Այս մեթոդը քաջ հայտնի է
և չունի խիստ տարբերակներ:

Գալիում67 ստացումը

Գալիում67 “Գալիումի ցիտրատ”
պատրաստուկի տեսքով ^{67}Ga
կիրառվում է համակարգային
նորագոյացությունների ախտորոշման
համար, թոքերի և փափուկ
հյուսվածքների առաջնային և
մետաստատիկ ուռուցքների, ինչպես
նաև ոսկրային հիվանդությունների
ախտորոշման համար:

^{67}Ga ռադիոնուկլիդը տրոհվում է զուտ էլեկտրոնային զավթման եղանակով (100 %) 78,26 ժամ կիսատրոհման պարբերությամբ: Գամմա սպեկտրի հիմնական գծերն են **93,3 կէՎ (38,7 %)**, **184 կէՎ (20,4 %)** և **300,2 կէՎ (16,6 %)**.

^{67}Ga ցիկլոտրոնի փնջերով ստանալու համար հիմնականում օգտագործվում են հետևյալ ռեակցիաները

$^{68}\text{Zn}(\text{p}, 2\text{n})^{67}\text{Ga}$,

$^{67}\text{Zn}(\text{p}, \text{n})^{67}\text{Ga}$,

Որոնք կարող են իրագործվել ցածր էներգիայի և մեծ ինտենսիվության ցիկլոտրոնների վրա, ճառագայթելով հարստացված ցինկի թիրախներ համապատասխանաբար 42 և 22 ՄէՎ էներգիայի պրոտոններով:

Պոզիտրոն ճառագայթող
ռադիոնուկլիդները և ՊԷՏ-ի
համար
ռադիոֆարմապատրաստուկները

Радионуклид		Радионуклид		Радионуклид	
¹¹ C	20,4 мин	⁵¹ Mn	46,2 мин	⁷⁷ Kr	74,7 мин
¹³ N	9,96 мин	^{52m} Mn	21,1 мин	⁸² Rb	1,3 мин
¹⁴ O	70,8 с	⁶⁰ Cu	23,2 мин	⁸⁷ Zr	1,6 ч
¹⁵ O	2,03 мин	⁶¹ Cu	3,4 ч	⁸⁹ Zr	78,43 ч
¹⁸ F	109,8 мин	⁶² Cu	9,8 мин	⁹² Tc	4,44 мин
¹⁹ Ne	17,2 с	⁶⁴ Cu	12,7 ч	⁹³ Tc	2,75 ч
³⁰ P	2,5 мин	⁶³ Zn	38,1 мин	^{94m} Tc	52 мин
^{34m} Cl	32 мин	⁶⁸ Ga	68 мин	¹¹⁰ In	69 мин
³⁸ K	7,6 мин	⁷⁵ Br	98 мин	¹²⁰ I	81 мин
⁴⁵ Ti	3,08 ч	⁷⁶ Br	16,2 ч	¹²² I	3,6 мин
⁴⁹ Cr	42 мин			¹²⁴ I	4,15 сут

Բերված ռադիոնուկլիդներից
ամենահաճախ օգտագործվողներն են
այսպես կոչված օրգանական կամ
կենսագենային ռադիոնուկլիդները, (^{11}C ,
 ^{13}N , ^{15}O), որոնք բնականորեն կարող են
ընդգրկվել կենսամոլեկուլների կամ
միացությունների կազմում, առանց
փոխելու նրանց կառուցվածքը և
քիմիական հատկությունները

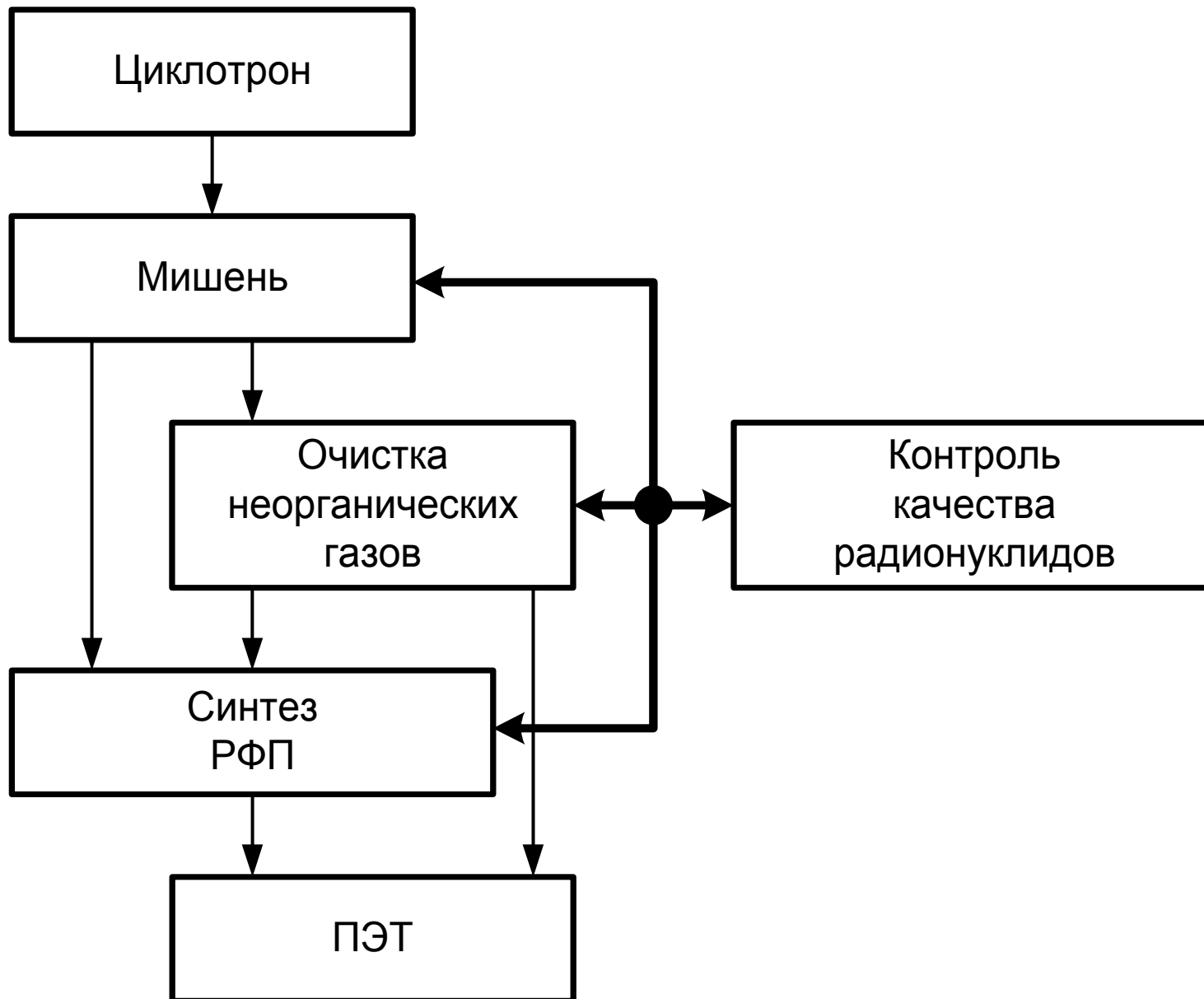
Այդ նույն խմբին որոշ վերապահումներով
կարելի է դասել նաև ^{18}F , որը ունի OH^-
Խմբի հետ **վանդերվաալսի համեմատելի**
շառավիղ:

Վանդերվաալսյան շառավիղը ըստ
Էության բնորոշում է չեզոք գազերի
ատոմների արդյունավետ չափսերը: Բացի
դրանից վանդերվաալսյան շառավիղ են
համարում հեռավորությունը մոտակա
միանման քիմիական կապով չկապված և
տարբեր մոլեկուլներին պատկանող
ատոմների միջև:

Եթե աստումները մոտենան
վանդերվաալայան շառավիղների
գումարից ավելի փոքր հեռավորության՝
առաջանում է շատ ուժեղ միջաստմային
վանում: Ուստի համարվում է, որ
վանդերվաալայան շառավիղը
նկարագրում է տարբեր մոլեկուլների
պատկանող աստումների միջև նվազագույն
թույլատրելի հեռավորությունը:

Ядерные реакции	Степень обогащения, %	Энергия частиц, МэВ	Выход «толстой» мишени, мКи/мкА·ч
^{11}C (β^+ – 99,8 %, $\Xi\Xi$ – 0,2 %, макс. $E_{\beta^+} = 960$ КэВ; $T_{1/2} = 20,38$ мин)			
$^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)$	> 99	15	280
$^{11}\text{B}(\text{p},\text{n})$	80	22	756
$^{10}\text{B}(\text{d},\text{n})$	20	7,5	3
$^{11}\text{B}(\text{d},2\text{n})$	80	11,5	10
^{13}N (β^+ – 99,8 %, $\Xi\Xi$ – 0,2 %, макс. $E_{\beta^+} = 1190$ КэВ; $T_{1/2} = 9,97$ мин)			
$^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)$	> 99	18	24
$^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})$	98,9	7/5	100
$^{14}\text{N}(\text{p},\text{pn})$	96,63	22	460
^{15}O (β^+ – 99,9 %, $\Xi\Xi$ – 0,1 %, макс. $E_{\beta^+} = 1723$ КэВ; $T_{1/2} = 2,03$ мин)			
$^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})$	99,63	15	65
$^{12}\text{C}(^4\text{He},\text{n})$	98,9	25	
$^{16}\text{O}(\text{p},\text{pn})$	99,76	33	25
^{18}F (β^+ – 96,9 %, $\Xi\Xi$ – 3,1 %, макс. $E_{\beta^+} = 635$ КэВ; $T_{1/2} = 109,8$ мин)			
Прямые реакции			
$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})$	0,2	15	56
$^{20}\text{Ne}(\text{d}, ^4\text{He})$	90,51	76	15
$^{16}\text{O}(^4\text{He},\text{pn})$	99,76	40	11
$^{16}\text{O}(^3\text{He},\text{p})$	99,76	20	9
Косвенные реакции: $^{18}\text{Ne} \xrightarrow{1,67\text{с}} ^{18}\text{F}$			
$^{20}\text{Ne}(^3\text{He}, ^4\text{He})\text{n}$	90,51	31	~7
$^{16}\text{O}(^4\text{He},2\text{n})$	99,76	40	14
$^{16}\text{O}(^3\text{He},\text{n})$	99,76	36	10

Այս 4 իզոտոպների ոչ պակաս
առավելությունն է այն, որ նրանց կարելի
է արտադրել համետաքար էժան,
հաստատուն էներգիայով 10-20 ՄէՎ
պրոտոնների էներգիայի տիրույթում
ցիկլոտրոններով: Այն երկրներում,
որոնցում ՊԷՏ տեխնոլոգիան լավ է
զարգացած՝ այդ իզոտոպների
արտադրությունը հասնում է
շաբաթական մի քանի Կյուրի:



Գերկարճ տրոհման
կիսապարբերությունն ունեցող
ռադիոնուկլիդների արտադրության
ընդհանուր ցիկլի տևողությունը
ռադիոնուկլիդ և ստանալուց մինչև
զննվողին պատրաստի
ռադիոֆարմպատրաստուկի
ներարկելը – պետք է լինի
նվազագույն:

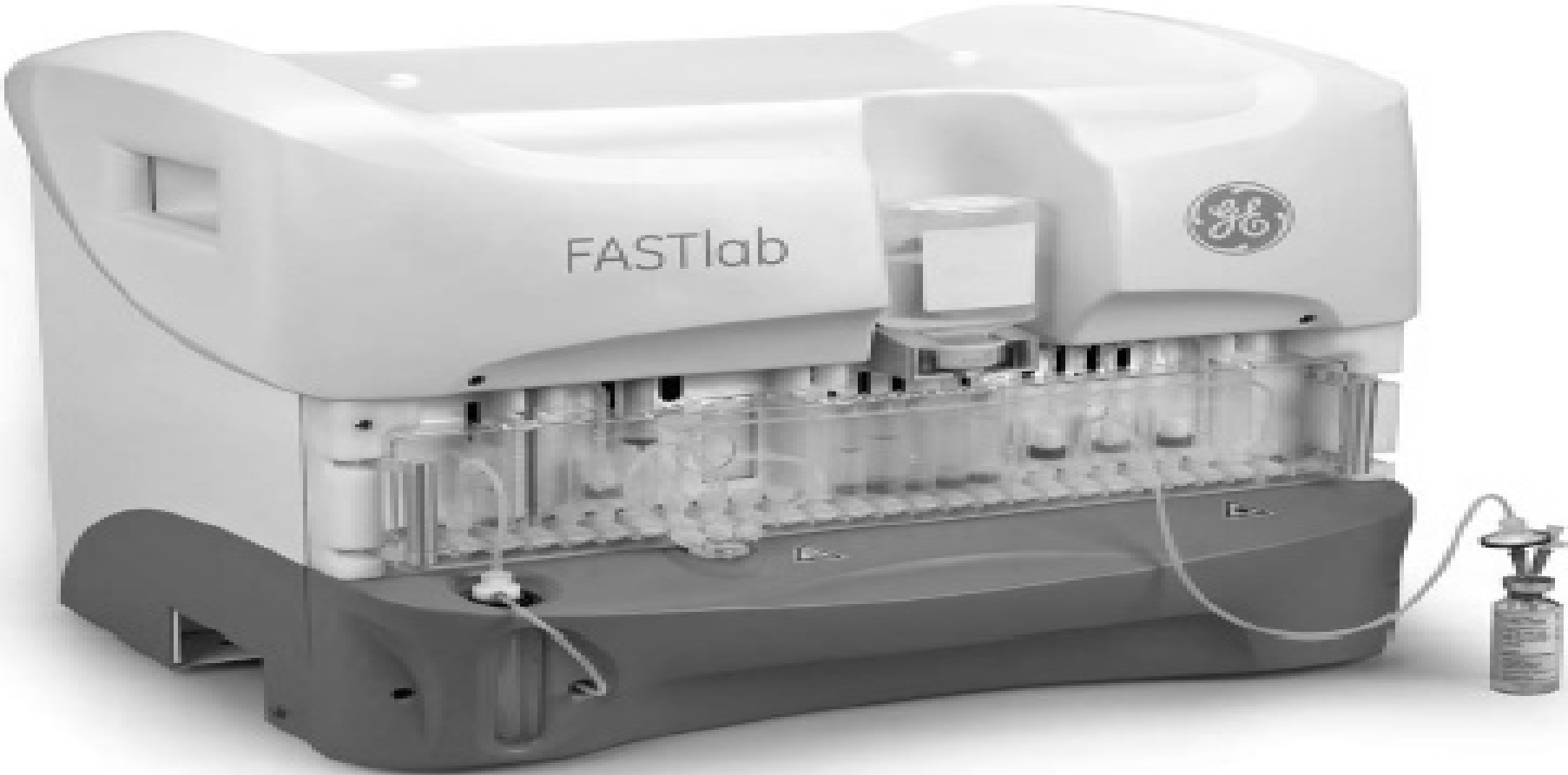
Դա պահանջում է բոլոր տեխնոլոգիական
գործողությունների լրիվ
ավտոմատացում, ինչպես նաև ամբողջ
տեխնոլոգիական և բժշկական
սարքավորումների մեկ համալիրում
կենտրոնացում:

Դրանք են՝ արագացուցիչը, պաշտպանիչ
սարքավորումները, ռադիոքիմիական
սինթեզի սարքերը, դոզավորման
սարքերը, ռադիոֆարմապատրաստուկի
որակի ստուգման սարքերը, “թեժ”
խուցերը և այլն:

Այս տեխնոլոգիայի կարևորագույն օղակն
է **ռադիոքիմիական սինթեզի բլոկը**, որը
պետք է ապահովի
ռադիոֆարմապատրաստուկի **բարձր**
վերարտադրություն և միաժամանակ
ապահովի նրանց **որակի երաշխիք**: Այդ
բոլորը պահանջում է **մեթոդների և**
տեխնոլոգիական քայլերի բացարձակ
ստանդարտացում առանց օպերատորի
մասնակցության:

Ռադիոֆարմապատրաստուկի սինթեզի ընթացքի
ավտոմատացման վերաբերյալ գոյություն ունեն
երկու հիմնական հիմնադրույթներ:

Մեկը կայանում է նրանում, որ կիրառվում են
լրիվ ավտոմատացված համակարգչով
դեկավարվող մոդուլներ “**սև արկղեր**”, որոնք
լիցքավորվում են **մեկանգամյա կիրառման**
քարտրիչներով, որոնք պարունակում են
սինթեզի համար անհրաժեշտ բոլոր
բաղադրիչները՝ նախնական նյութը,
ռեագենտները, լուծույթները և այլն: Օրինակ
FDG-մոդուլ GE Healthcare, Швеция.



Երկրորդ հիմնադրույթը կայանում է
նրանում, որ օգտագործվում է **տվյալ**
սինթեզին **համապատասխան**
ծրագրավորվող **ռոբոտտեխնիկական**
սարք: Այս մեթոդի առավելությունն է՝
բարձր տեխնոլոգիական ճկունությունը և
նոր **ռադիոֆարմապատրաստուկների**
սինթեզին **նվիրված** **հետազոտական**
ծրագրերում **կիրառման**
հնարավորությունը:

^{13}N և ^{15}O կիրառումը ՊԷՏ ախտորոշման համար հիմնականում սահմանափակված է միոկարդիալ և ցերեբրալ արյան հոսքերի հետազոտմամբ՝ ամենապարզ $[^{13}\text{N}]\text{NH}_4^+$ և $[^{15}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ կրիչներով: Ավելի երկարակյաց ^{11}C և ^{18}F կիրառվում են շատ ավելի հաճախ, քանի որ նրանց տրոհման կիսապարբերությունը տալիս է ժամանակային հնարավորություն ավելի բարդ միացությունների ռադիոքիմիական սինթեզ իրականացնելու համար և ֆարմապատրաստուկների վարքը օրգանիզմում ավելի մանրամասն հետազոտելու համար:

Համեմատաբար լայն տարածում գտած ^{11}C **հիման** վրա ռադիոֆարմապատրաստուկների ցանկին են պատկանում ^{11}C – **պալմիտինային թթուն**, ^{11}C – **մետիոնին**, ^{11}C – **գլյուկոզ**, ^{11}C – **բենզամիդային միացություններ**, ^{11}C – **ճարպային թթուներ** **սրտաբանական հետազոտությունների համար**: Բացի դրանից հաճախ **անմիջականորեն** օգտագործվում են ածխածնի **զազաձև** **իզոտոպային միացությունները**, ինչպիսիք են ^{11}CO , $^{11}\text{CO}_2$, ^{15}CO , $^{15}\text{CO}_2$.

Պոզիտրոն ճառագայթող ռադիոնուկլիդների գեներատորներ

Կատիոնային որոշ ռադիոնուկլիդներ ինչպիսիք են **ռութիդիում-82, պոլինձ-62, գալիում-68, մանգան-52m, ինդիում-110** կարող են ստացվել գեներատորներից, որոնց կարելի է տեղափոխել արտադրության վայրից բավականին մեծ հեռավորությունների: Այդպիսի գեներատորների կիրառումը հնարավորություն է ստեղծում **շարժական ՊԷՏ կենտրոնների ստեղծմանը**, որոնք “կապված” չեն ցիկլոտրոնին:

Այսպես օրինակ
 $82\text{Sr}(25,6\text{օր}) \rightarrow 82\text{Rb}(1,27\text{րոպե})$, որը
ստացվել է «Циклотрон» ՓԲԸ (ք.
Օբնինսկ) $85\text{Rb}(p,4n)82\text{Sr}$ ($E_p=70$ ՄէՎ)
ռեակցիայի կիրառումով, տեղափոխում
են Լոս-Ալամոս (ԱՄՆ), որտեղ 82Sr
իզոտոպով լիցքավորվում են
գեներատորներ և մատակարարվում
Հյուսիսային Ամերիկայի և Եվրոպայի
հոսպիտալներ:

$^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ գեներատորի պատրաստման համար $^{82}\text{SrCl}$ աբսորբացվում են անագի հիդրատացված դիօքսիդի վրա:

Էլուավորումը անց են կացնում 0,9% NaCl ֆիզիոլոգիական լուծույթով: Էլուացման արագությունը ղեկավարվում է ավտոմատ կարգով ելքային դոզայի ակտիվության համեմատ: Այսպիսի ավտոմատ ռեժիմով զննվողին կարող է ներարկվել մինչև 2 ԳԲք ^{82}Rb ամեն 5-10 րոպեն մեկ: Այս պատրաստուկը կիրառվում է սրտի մկանի ՊԷՏ հետազոտման համար:

Բավականին հեռանկարային է երևում **Գալիում-68** ($T_{1/2} = 68,1$ **րոպե**) իզոտոպի կիրառումը, այն **գերմանիում-68** ($T_{1/2} = 288$ **օր**) ռադիոնուկլիդի դուստր իզոտոպն է: **^{68}Ga** ռադիոնուկլիդը իրականում **մաքուր** պոզիտրոն ճառագայթող իզոտոպ է ($\beta^+ - 90\%$, $E_{\beta^+} = 1190$ **կէՎ**):

Մայրական **գերմանիում-68** կարող է ստացվել ցիկլոտրոնի վրա հետևյալ ռեակցիաներով



Ստացված գերմանիում իզոտոպը գալիումի թիրախից անջատելու համար կիրառում են էքստրակցիայի մեթոդը: Այդ նպատակով Գալիումը հալեցնելով անջատում են իր հենարանից 30°C ջերմաստիճանի տակ, այնուհետև լուծում են 5 M HNO_3 թթվում, ավելացնում են աղաթթու HCl հասցնելով խտությունը $8\text{-}9\text{ M}$ և այնուհետև իրականացնում են էքստրակցիա քառաքլոր ածխածնով CCl_4 : Ստացված էքստրակտը լվանում են 8M HCl , իսկ ^{68}Ge վերաէքստրակտավորում են $0,2\text{ M}$ աղաթթվով: Արդյունքում ստացված իզոտոպի ռադիոնուկլիդային մաքրությունը կազմում է ավելի քան 99% .

Այս մեթոդով պատրաստած $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ գեներատորի պիտանելիության ժամկետը գերազանցում է մեկ տարին, որը սկզբունքորեն հնարավորություն է տալիս ՊԷՏ սքաներին աշխատել նույնիսկ ցիկլոտրոնի բացակայության պայմաններում: Առաջին այսպիսի գեներատորը մշակվել էր **Greene** և **Tucker** կողմից: Որպես հիմնական թերություն նշվել է էլյուատում ^{68}Ga ելքի անկումը **70 մինչև 10–15% սյունյակը 6** ամիս շահագործումից հետո:

Այդ կապակցությամբ հետազայում փորձարկվել են տարբեր կլանիչներով – սորբենտներով – գեներատորներ սիլիկագել (էյուլանտ 10 M HCl), ZrO_2 և $TiO_2/5\% ZrO_2$ (0,1 M HCl), $\beta-SnO_2$ (1 M HCl), $\alpha-Fe_2O_3$ (0,01 M HCl) և այլն: Ներկայումս սորբենտների համապատասխան ընտրության հաշվին հաջողվեց ստեղծել գեներատոր, որն ապահովում է ^{68}Ga ելքը 60–90% շահագործման սկզբում և մոտավորապես 40 % – շահագործման ժամկետի վերջում:

ՄԻԿՐՈՈՐԳԱՆԻԶՄՆԵՐԻ
ՀԵՏԶՈՏՈՒԹՅԱՆ

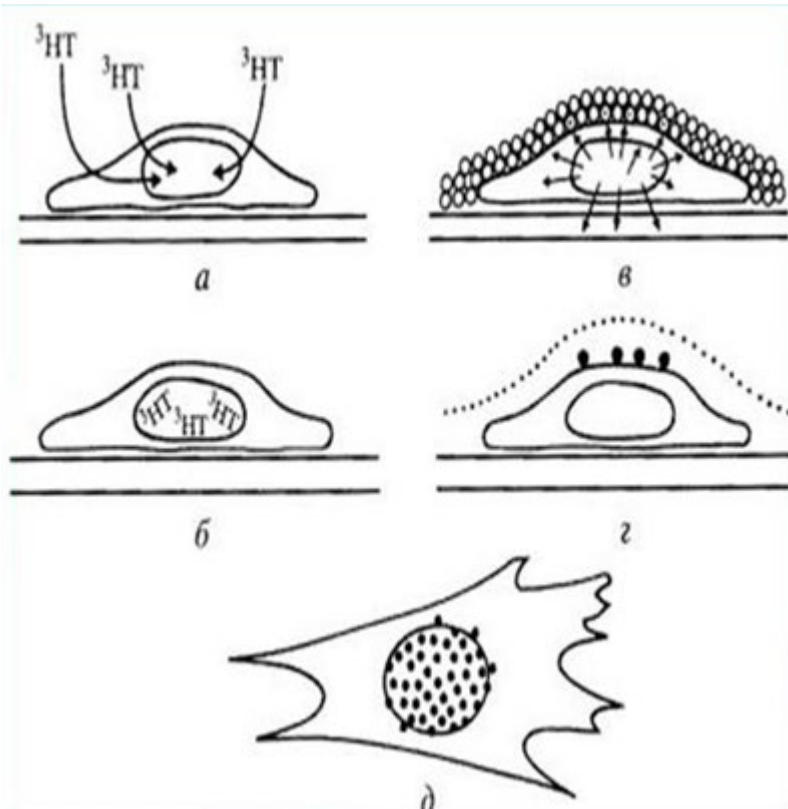
ԻԶՈՏՈՊԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Իրենց բնական կենսական պայմաններում
կամ թարմ նմուշներում
միկրոօրգանիզմների ակտիվության
հետազոտության հայտնի մեթոդներից
ամենազգայունն է ռադիոիզոտոպային
մեթոդը: Բացի դրանից այդ մեթոդը կարող
է այս կամ այն նյութի ճակատագրի մասին
տեղեկություն տալ որոշակի
բնապահպանական տեղի միկրոբային
համայնքներում:

Միկրոօրգանիզմների կողմից իզոտոպների խմբավորում

Իզոտոպների խմբավորումը
միկրոօրգանիզմների կողմից – դա
միկրոօրգանիզմների
նյութափոխանակության արդյունքի
իզոտոպային բաղադրության
փոփոխությունն է համեմատած
միջավայրից օգտագործած նյութերի
հետ:

Ռադիոավտոգրաֆիայի մեթոդ



а) նմուշավորված ^3T -
 МИН ներմուծումը բջջի
 մեջ, б) իր ներմուծումը
 միջուկի ^3HT , в) բջիջը
 պատված է
 ֆոտոժապավենով , որի
 հատիկները
 լուսավորվում են, г)
 ֆոտոժապավենից
 ստացված արձաթի
 հատիկները, д)նույնը
 տեսքը վերնից

Ռադիոհաղորդակցային
մեթոդները անասնաբուժության
և անասնաբուժության
բնագավառում

Ժամանակակից անասնաբուծության և
անասնաբուծության բնագավառներում
ռադիոակտիվ իզոտոպները հիմնականում
օգտագործվում են

1) Որպես ցուցանիշ միջանկյալ
նյութափոխանակության ուսումնասիրության
համար, անասունների կերի բաղադրամասերի
մարսման հետազոտման, օրգանիզմում
սպիտակուցների, ճարպերի, ածխաջրածինների
սինթեզի ուղիները ուսումնասիրելիս, կաթի,
ձվի, բրդի առաջացման երևույթը
ուսումնասիրելիս:

2) Հանքային նյութերի և հատկապես
կալցիումի, ֆոսֆորի, յոդի, տարբեր
միկրոտարրերի նյութափոխանակության
երևույթների ուսումնասիրելիս,
հատկապես տարբեր ֆիզիոլիզիական
վիճակներում, ինչպես նաև
հիվանդությունների ժամանակ:

3) Ռեդամիցոցների ազդեցության
մեխանիզմները ուսումնասիրելիս՝
անասունների բուժման նոր մեթոդներ
մշակելիս:

Նմուշավորված աստմներով անցկացված
հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ
անասունի օրգանիզմում գտնվող պահեստային
ճարպը քիչ շարժունակ չէ, ինչպես համարվում
էր նախկինում: Ճարպերը շարժունակ են և մեծ
արագությամբ թարմացվում են:

Նույն այդպես համարվում էր, որ օրգանիզմի
բջջերի և հյուսվածքների սպիտակուցները
համեմատաբար երկարակյաց են, որ
կենսագործունեության ընթացքում
հիմնականում ծախսվում են կերակրային
սպիտակուցները, իսկ հյուսվածքների և
օրգանների սպիտակուցները ավելի քիչ են
ծախսվում:

Ռադիոհաղորդումներին մեթոդներով
հետազոտությունները ցույց տվեցին այդ
պատկերացման

անհամապատասխանությունն

իրականությանը: Բոլոր հյուսվածքների
սպիտակուցները թարմացվում են շատ
մեծ արագությամբ: Օրինակ, լյարդի

սպիտակուցները լրիվ թարմացվում են 3-
4 օրում: Հատկապես արագ են

թարմացվում աղիքների և լյարդի
լորձաթաղանթի սպիտակուցները:

Իզոտոպային մեթոդներով
հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ
կենդանու օրգանիզմում տեղի է ունենում
սպիտակուցների անընդհատ
փոխանակում արյան և հյուսվածքների
միջև՝ առանց նրանց նախնական
տրոհման մինչև ամինաթթուների: Այս
տվյալներով հիմնավորվում է լրիվ նոր
պատկերացում օրգանիզմում
սպիտակուցների շարժունակության և
արագ թարմացման վերաբերյալ:

Անասնաբույժների և անասնատեխնիկների
համար մեծ նշանակություն ունեցան
հատկապես աճող և բարձր արդյունավետության
անասունների միներալ նյութերի փոխանակման
երևույթների իզոտոպային մեթոդներով
ուսումնասիրությունը: Օրինակ
ռադիոնուկլիդները օգտագործվում են կերի
մարսման երևույթները ուսումնասիրելիս, այս
կամ այն բաղադրիչների մարսման
արդյունավետությունը հետազոտելիս: Կերում
այս կամ այն տարրերի պակասը կարող է բերել
անասունների արդյունավետության
նվազեցմանը:

Меченые атомы в биологических исследованиях

<http://biologylib.ru/books/item/f00/s00/z0000014/st033.shtml>

Կենդանի օրգանիզմներում անընդհատ տեղի
ունեցող նյութափոխանակության երևույթը
կենսաբանության հիմնական հարցերից մեկն է:
Սակայն երկար տարիներ չէր գտնվում այնպիսի
մեթոդ որ թույլ տար ուսումնասիրել բջիջներում,
օրգաններում և հյուսվածքներում տեղի ունեցող
նյութափոխանակության երևույթների
դինամիկան: Ամենահարմար մեթոդներից էր
նմուշման մեթոդը, երբ օրգանիզմ ներարկվող
նյութը նմուշավորվում է – метится – որպեսզի
հետագայում հնարավոր լինի հետևել նրա
ճակատագրին

Որոշ դեպքերում այս կամ այն նյութը նմուշավորում էին **ներկով**: Սակայն այդ մեթոդն ուներ լուրջ թերություններ:

1. Նմուշ ներկը իր քիմիական բաղադրությամբ **տարբերվում էր** այն նյութից, որ պետք է նմուշավորեր, և ի հետևանք **հնարավոր չէր պնդել, որ նյութի և ներկի վարքերը նույնն են**.
2. Նմուշավորող նյութի **խտությունը** ստիպված էին վերցնել **բավականին մեծ**, և դա կարող էր ազդել հետազոտվող երևույթի ընթացքի վրա:

Այդ տեսակետից հետզոտողների համար
լայն հնարավորություններ բացեց
ռադիոակտիվ ցուցանիշների –
Индикаторы – կիրառումը, որը կոչվեց
հենց նմուշված ատոմների մեթոդ: Այդ
մեթոդի էությունը կայանում է նրանում, որ
նույն նյութի ռադիոակտիվ իզոտոպները
ավելացվում են ոչ ակտիվ ատոմներին,
այսպես ասած՝ նմուշավորում են նրանց,
որը թույլ է տալիս հետևել տարբեր
երևույթներին, որոնցում մասնակցում են
այդ ատոմները:

Այս մեթոդով հետազոտությունն անցկացնելիս **ոչ**
ռադիոակտիվ նյութի հիմնական մասնեքաժնին
ավելացնում են **նույն նյութի ռադիոակտիվ**
իզոտոպ պարունակող բաղադրիչ: Ստացված
խառնուրդը ներարկում են օրգանիզմ, կամ
ավելացնում են կերին և այլն: Քանի որ **տարբեր**
քիմիական երևույթների ընթացքում նույն
քիմիական տարրի տարբեր իզոտոպներ իրենց
նույն ձևի են պահում, ապա **ռադիոակտիվ**
իզոտոպի վարքը չի տարբերվի այդ նույն նյութի
ոչ ռադիոակտիվ ատոմների վարքից:

Այնուհետև ժամանակ առ ժամանակ հատուկ
սարքերի միջոցով հետևում են օրգանիզմի
հյուսվածքներում ռադիոակտիվ իզոտոպի
բաշխմանը: Ստացված պատկերը բնութագրում
է նաև ոչ ռադիոակտիվ իզոտոպի բաշխումը:

Բնական ռադիոակտիվ նյութերը այսպիսի
հետազոտությունների համար կիրառվում էին
դեռ նախորդ դարի սկզբին: Սակայն լայն
կիրառում այս մեթոդը ստացավ միայն այն
պահից, երբ սովորեցին արհեստական մեթոդով
ստանալ ռադիոակտիվ իզոտոպներ:

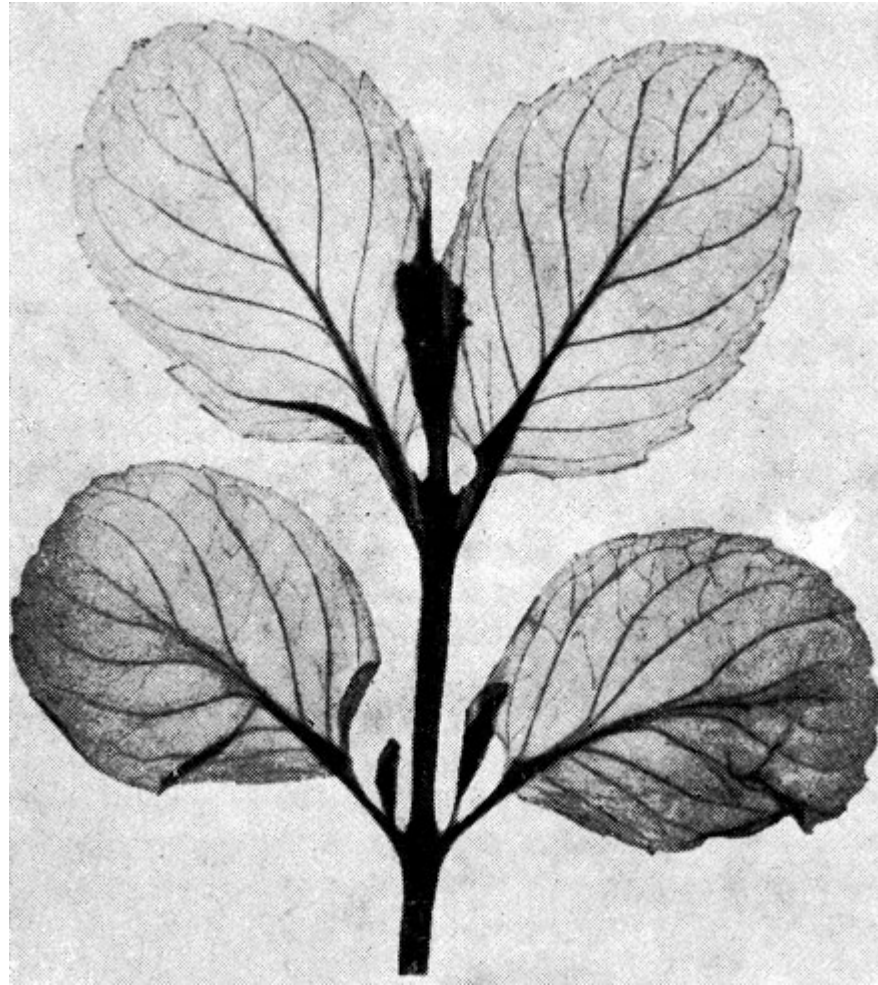
Նմուշավորման մեթոդը ունի չափազանց
բարձր զգայնություն, որը
պայմանավորված է միջուկային
ճառագայթման հայտնաբերման և չափման
մեթոդներով: Այսպես օրինակ առանձին
ռադիոակտիվ նյութեր կարող են
հայտնաբերվել 10^{-15} - 10^{-20} գ, երբ
սովորական սպեկտրաչափ մեթոդների
զգայնությունը չի գերազանցում 10^{-10} - 10^{-12} գ:

Այս մեթոդի մյուս առավելությունը
ռադիոակտիվ իզոտոպի չափման
հնարավորությունն է զգալի քանակով նույն
նյութի ՈՉ ԱԿՏԻՎ տարրերակի առկայության
դեպքում, առանց նյութը մաքուր տեսքով գտելու
և պատրաստուկները մաքրելու կարիքի:

Ռադիոակտիվ նյութերը հայտնաբերելու համար
կիրառվում են այնպիսի գործիքներ, ինչպիսիք
են գազային և առկայծչային դետեկտորները,
որոնք թույլ են տալիս հայտնաբերել նյութի
ՉՆՉԻՆ ՔԱՆԱԿ և չափել նրա արձակած
ճառագայթումը:

Որոշ դեպքերում անհրաժեշտ է ոչ միայն
ՀԱՅՏՆԱԲԵՐԵԼ ԻԶՈՏՈՊԸ և ՉԱՓԵԼ ՆՐԱ
ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆԸ այլ նաև հետազոտել
նրա բաշխումը այս կամ այն օբյեկտում:
Եթե օբյեկտը ունի մեծ չափսեր, ապա
կիրառում են հատուկ սարքեր՝
սքաներներ, իսկ եթե չափսերը շատ մեծ
չեն (օրինակ կենդանիների առանձին
մասեր կամ օրգաններ, տերևներ,
արմատներ կամ բույսերի այլ մասեր)
ապա կիրառում են ավտոռադիոգրաֆիայի
մեթոդը:

Ավտոռադիոգրամա ստանալու համար մուծ
սենյակում հետազոտվող օբյեկտին սեղմում
են ֆոտոթիթեղի կամ ֆոտոժապավենի
էմուլսիոն շերտը: Միառժամանակ հետո
ժապավենը երևակում են (проявка):
Օբյեկտի այն տիրույթները, որոնցում առկա
էին ռադիոակտիվ նյութերը՝ սևացնում են
իրենց մոտակայքի ժապավենի հատվածները:
Այսպիսով ստացված ավտոռադիոգրաման
պատկերում է հետազոտվող օբյեկտում
ռադիոակտիվ իզոտոպի բաշխումը:



Տերևի ավտոռադիոգրամա

Ռադիոակտիվ իզոտոպները օգտագործում են նաև կենդանիների հետ անցկացվող փորձերում: Եթե հարկավոր է հետազոտել կենդանու օրգանիզմում որևէ նյութի վարքը կերի հետ կամ ենթամաշկային ներարկումով ներմուծում են որոշակի քանակի ռադիոակտիվ իզոտոպ, որը խառնած է նույն նյութի ոչ ռադիոակտիվ տարբերակի հետ: Միառժամանակ հետո մոտեցնելով ճառագայթման դետեկտորը կենդանու այս կամ այն մասերին՝ որոշում են ճառագայթման ինտենսիվությունը:

Նմուշավորված աստմների մեթոդը թույլ է տալիս կենսաբաններին և բժիշկներին հետազոտել ֆիզիոլոգիական երևույթները այնպիսի փորձարարական պայմաններում, որոնք առավելագույնս մոտ են չվնասված օրգանիզմի պայմաններին:

Այս մեթոդը կիրառելուց շատ քիչ ժամանակ հետո ստացվեցին շատ հետաքրքիր և կարևոր արդյունքներ: Կենսաբանների համար նոր էր օրգանիզմի բաղադրիչ մասերի մշտական և անընդհատ նորացման ապացույցը:

Անսպասելի էր նաև այն արագությունը, որով տեղի են ունենում նյութերի տեղաշարժը, սպիտակուցների նյութափոխանակման բարդ երևույթները: Ազոտի փոխանակումը շատ հյուսվածքներում՝ լյարդ, երիկամ, արյուն – իրականանում է մեծ արագությամբ և ավարտվում է 3-4 օրում: Մկաններում, սրտամկանում, փայծաղում փոխանակումը տեղի է ունենում ավելի դանդաղ, բայց տևում է ոչ ավել քան 1-2 շաբաթ:

Ռադիոակտիվ կալցիումով անցկացված
հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ
երիտասարդ կենդանու ոսկորներում կուտակվում է
ներմուծած կալցիումի 90%, իսկ ծեր կենդանու
ոսկորներում միայն 40%:

Ռադիոակտիվ նյութի չնչին քանակը, որը չի
խախտում մարմնում տեղի ունեցող երևույթների
հավասարակշռությունը, իզոտոպի հայտնաբերման
և կուտակման տեղի որոշման դյուրությունը, որոշ
դեպքերում հենց կենդանու վրա հետազոտություն
անցկացնելու հնարավորությունը հիմք են ծառայում
ռադիոակտիվ ինդիկատորների կիրառումը
կենսաբանության համարյա բոլոր
բնագավառներում:

Այս մեթոդով ստացված արդյունքները ներկայումս լայնորեն կիրառվում են գյուղատնտեսությունում եվ բժշկության բնագավառում:

Օրինակ, առնետներին ֆոսֆորի ենթամաշկային ներարկումից 4 ժամ հետո նրա 18,6% հայտնաբերվել է ոսկորներում, 15,4% - մկաններում և 0,16% - գանգուղեղում:

Պարզվել է որ սպիտակ առնետների կմախքում առկա ֆոսֆորի 30% նորացվում է 1 օրվա ընթացքում:

Հղի ճագարներին **ռադիոակտիվ երկաթ**
ներարկելիս արդեն **17 ժամ հետո**
ներարկած երկաթի մեկ երրորդը
հայտնաբերվեց պտղի օրգանիզմում: Ընդ
որում **պտղի լյարդի 1 գրամը**, որտեղ
հիմնականում կենտրոնանում է երկաթը,
կուտակել էր **120 անգամ ավելի շատ**
ռադիոակտիվ երկաթ, քան մոր լյարդի
նույն քանակը:

Ֆիզիոլոգիայի բնագավառում նմուշավորված
աստամների մեթոդը հնարավորություն տվեց
հետաքրքիր տվյալներ ստանալ բջջի
թաղանթների և մեմբրանների միջով, ինչպես
նաև օրգանների և հյուսվածքների միջև նյութի
տեղափոխման վերաբերյալ: Այսպես օրինակ
այս մեթոդով պարզվեց, որ մեկ րոպեում
տրիտիումով նմուշավորված արյան հոսքի ջրի
70% դուրս է գալիս այդ հոսքի սահմաններից
դուրս, և այդ նույն ժամանակում նույն քանակի
ջուր վերադառնում է արյան հոսքի արյունատար
անոթ:

Վահանաձև գեղձի ուսումնասիրության
ժամանակ պարզվեց, որ **ռադիոակտիվ**
յոդավորված կալիումը ներարկելուց մի քանի
րոպե հետո նրա խտությունը վահանագեղձում
շատ անգամ ավելի շատ է քան մյուս
օրգաններում, հյուսվածքներում և արյան մեջ:
Միաժամանակ վահանագեղձի կողմից **յոդի**
կլանող հատկությունը զգալիորեն կախված է
այդ օրգանի ֆունկցիոնալ վիճակից: Դա թույլ
տվեց մշակել վահանագեղձի ֆունկցիոնալ
հետազոտության ներկայումս կլինիկաներում
լայնորեն կիրառվող մեթոդներ:

Էնտոմոլոգիայի (միջատաբանություն)
բնագավառում տարբեր միջատների
միգրացիոն ուղիների, միջատների
ֆիզիոլոգիայի, նրանց կողմից տարբեր
հիվանդատար սնկեր, մանրէներ և վիրուսներ
տեղափոխելու մեխանիզմների
ուսումնասիրությունը նույնպես տվեց կարևոր
և հետաքրքիր արդյունքներ: Հետազոտվող
միջատներին նմուշավորում էին կամ
կերակրելիս ավելացնելով կերի մեջ
ռադիոակտիվ իզոտոպ, կամ մշակելով
նրանց մարմինը ռադիոակտիվ նյութերով:

Պարզվեց որ **տնային ճանճերի**, որոնք
հիմնական տեղափոխողն են այնպիսի
հիվանդությունների, ինչպիսինն է օրինակ
դիզենտերիան, հիմնական զանգվածը
բնակավայրերում **դուրս թռնելու տեղից**
հեռանում է մինչև 1-2 կիլոմետր, երբեմն
նույնիսկ **մինչև 10 կիլոմետր**
հեռավորություն:

Տոսֆորով նմուշավորված մեղունների
միջոցով հետազոտվել է **մեկ փեթակից**
մյուսին վարակ տեղափոխելու հարցը:

Տարբեր կենսաբանական օբյեկտների տարիքը որոշելու համար շատ մեծ նշանակություն ունի այսպես կոչված **ռադիոածխածնային մեթոդը ըստ C14 իզոտոպի**:

Երկրագնդի մթնոլորտում տիեզերական ճառագայթների ազդեցությամբ անընդհատ տեղի է ունենում ածխածնի ռադիոակտիվ **C14 իզոտոպի** ստեղծումը: Տարեկան այս ուղով առաջանում է մոտ 9,8 կգ C14: Իսկ այդ իզոտոպի ընդհանուր քանակը երկրագնդի մթնոլորտում անփոփոխ է, քանի որ նոր C14 ավելացումը կոմպենսացվում է եղածի ռադիոակտիվ տրոհումով և կազմում է մոտ 1 տոննա:

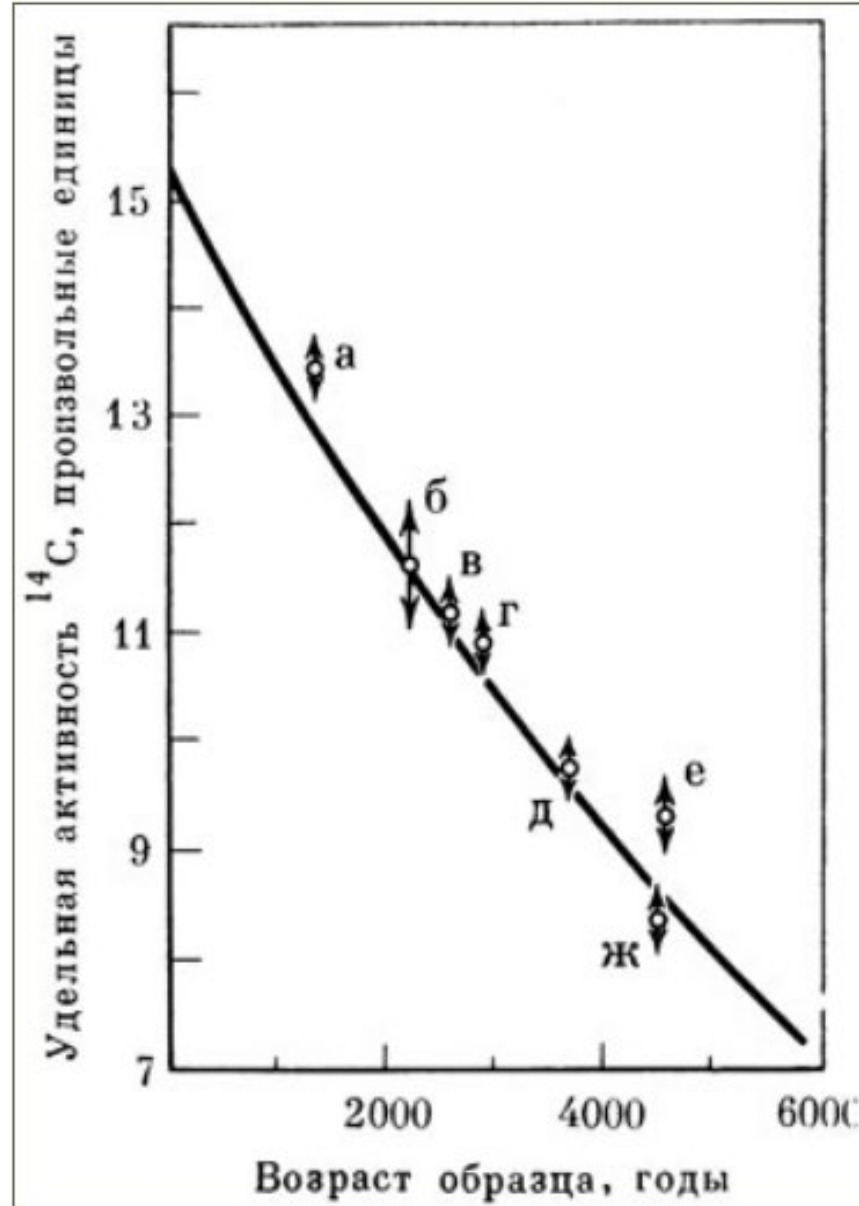
Այդ իզոտոպը միանում է մթնոլորտի թթվածնին և առաջանում է ռադիոակտիվ **ածխաթթու գազ**, որը մարսվում է **բույսերի կողմից** և այնուհետև նրանցից **անցնում** **նաև կենդանիներին**:

Առկա տվյալները ցույց են տալիս, որ վերջին **20 հազար տարում** երկրագնդի մթնոլորտում **ռադիոակտիվ C14** քանակի հարաբերությունը **ոչ ռադիոակտիվ C12** քանակին **մնացել է անփոփոխ**:

Այդ նույն հարաբերությունը պահպանվում է
բուսական և կենդանական աշխարհում
բույսերում և կենդանի օրգանիզմներում
անընդհատ տեղի ունեցող նյութափոխանակման
պրոցեսների հաշվին:

Իսկ օրգանիզմի կամ բույսի մահվան դեպքում
փոխանակման երևույթները դադարում են, նոր
ռադիոակտիվ ածխածին օրգանիզմ չի
ներմուծվում, իսկ հինը աստիճանաբար
քայքայվում է: Ուստի մահացած բուսական և
կենդանական օրգանզիզմներում նկատվում է
C14 : C12 հարաբերության անընդհատ նվազում
ռադիոակտիվ ածխածնի քանակի նվազեցման
հաշվին:

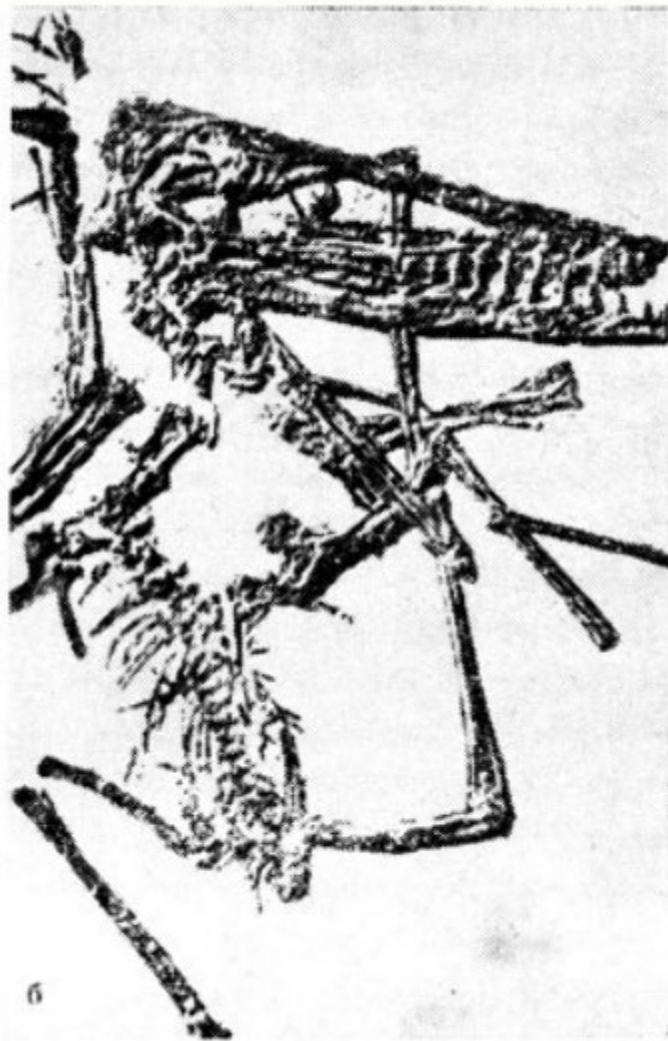
Քանի որ **C14** ռադիոակտիվ իզոտոպի տրոհման կիսապարբերությունը կազմում է **5568 տարի**, ապա մամոնտի ոսկորի մնացորդը, որը հողի մեջ մնացել է **հինգուկես հազար տարի** – կպարունակի **երկու անգամ**, իսկ **տասնմեկ հազար տարի** չորս անգամ **ավելի քիչ C14** իզոտոպ **համեմատած** **կենդանի օրգանիզմների հետ**: Այս մեթոդը շատ հարմար է **ածխածին պարունակող օբյեկտների համար**, որոնց տարիքը կազմում է **2ից մինչև 50 հազար տարի**:



C14 ռադիոակտիվ իզոտոպի տեսակարար ակտիվության կախումը նմուշի տարիքից:

Անցյալ դարի հայտնի ճանապարհորդ Տուր
Հեյերդալը ճանապարհորդություն էր
կատարել Կոն-Տիկի նավով: Երբ նա
հետաքրքրվեց Մարկիզյան կղզիների վրա
հայտնի քարե կուռքերի տարիքով՝ նա
օգտվեց այն հանգամանքից, որ նրանցից
ոմանց տակ հայտնաբերվել էր խարույկի
մոխիր: Օգտվելով ռադիոածխածնային
մեթոդից նա հայտնաբերեց, որ մոխրի
փորձանմուշներից ամենահինի տարիքը
համապատասխանում է մեր թվարկության
1300 թվականին:

Ներկայումս, բացի ռադիոածխածնային
անալիզի մեթոդից, մշակված են պեղած
աճյունների տարիքը որոշելու համար նաև
այլ մեթոդներ, որոնք հիմնված են այլ
ռադիոակտիվ տարրերի տրոհման վրա՝
կալիում, ռուբիդիում, ուրան և այլն:
Այդպիսի “ռադիոակտիվ ժամացույցները”
թույլ են տալիս որոշել միլիոնավոր
տարիների տարիք: Տես հաջորդ նկարը:



Նախապատմական կաթնասուն **ԱՐՄԻՆ-ՏԵՐԻՈՒՄԻ(ձախ)** և թևավոր մողես **ՊՏԵՐՈՂԱԿՏԻԼ (աջ)** պեղած աճյունները, որոնց տարիքը՝ **40** և **160** միլիոն տարի – որոշվել է **“ռադիոակտիվ ժամացույցի”** օգնությամբ: