

ՑԻԿԼՈՏՐՈՆԱՅԻՆ
ՌԱԴԻՈՆՈՒԿԼԻԴՆԵՐԻ
ԵՎ

ՌԱԴԻՈՊԱՏՐԱՍՏՈՒԿՆԵՐԻ
ՍՏԱՅՈՒՄԸ

Ինչպես արդեն նշվել էր,
ցիկլոտրոնները և **լիցքավորված**
մասնիկների արագացուցիչները թույլ
են տալիս արտադրել լայն
տեսականիով ռադիոնուկլիդներ,
որոնց միջուկա-ֆիզիկական
բնութագրերը առավել
համապատասխան են
ռադիոդեղագործության
պահանջներին:

Լիցքավորված մասնիկներով ռեակցիաների առանձնահատկությունն այն է, որ նրանց արդյունքում ստեղծվում են **սկզբնական թիրախ նյութից տարբերվող քիմիական նյութեր:**

Այդ հանգամանքը թույլ է տալիս ստացված ռադիոիզոտոպները **անջատել մայրական թիրախային նյութից** այս կամ այն **ռադիոքիմիական մեթոդով** և ստանալ ռադիոակտիվ իզոտոպը **“մաքուր” տեսքով,** առանց կրիչի հետքերի:

Ստորև կդիտարկվեն բժշկության
կողմից առավել պահանջարկ ունեցող
ցիկլոտրոնային ռադիոիզոտոպների
ստացման և զտման մեթոդները,
ինչպես նաև դրանց հիմա վրա
ռադիոֆարմապատրաստուկների
ստացման մեթոդները: Կդիտարկվեն
նաև պոզիտրոն ճառագայթող
գերկարճակյաց ռադիոնուկլիդների
ստացման մեթոդները:

Թալիում-201 ²⁰¹Tl իզոտոպի և “Թալիումի-քլորիդ” ռադիոֆարմապատրաստուկի ստացումը

Թալիում ռադիոնուկլիդի հիման վրա
պատրաստուկները օգտագործվում
են **սրտաբանական ախտորոշման**
համար, քանի որ **միավալենտ Tl+**
առողջ սրտամկանում **փոխարինում է**
K+ կայուն իզոտոպին.

Թալիումի 20 հայտնի 193 մինչև 210
զանգվածային թվերով ռադիոնուկլիդներից
ախտորոշման համար հիմնականում
կիրառվում է Թալիում-201 իզոտոպը ($T_{1/2}$
= 73,1 ժամ), որը տրոհվում է
էլեկտրոնային զավթման միջոցով և
ճառագայթում է ռենտգենյան քվանտներ
0,07249 ՄէՎ միջին էներգիայով:

Թալիում-201 կարելի է ստանալ կոդմնակի՝ գեներատորային – մեթոդով, օրինակ կայուն **Թալիում203** և **Թալիում205** իզոտոպներից հետևյալ ռեակցիաներով.



Կամ էլ կապարե թիրախներից մինչև **100** ՄէՎ **էներգիայով** **պրոտոններով** ճառագայթելով



Նաև ուղղակի
ռեակցիայով **անդիկային**
թիրախներ
ճառագայթելով:



(1) ռեակցիայի համար պրոտոնների սկզբնական
էներգիան պետք է լինի մոտավորապես 28,6
ՄէՎ, իսկ թիրախի ելքում՝ – 22 ՄէՎ: Եթե
թիրախը հարստացված է մինչև 95
%(մետաղական ^{201}Tl կամ նրա սուլֆատը) ,
այս ^{201}Tl միջին ելքը կկազմի մոտ
2,1մԿի/մկԱ·ժամ, իսկ հիմնական
խառնուրդների պարունակությունը կլինի
 ^{200}Tl ($T_{1/2} = 26,1$ ժամ) և ^{202}Tl ($T_{1/2} = 12,2$ օր)
չգերազանցելով համապատասխանաբար 1 և 0,2
%: Բացի դրանից, թիրախի հենարանից
(մետաղական պղինձ) առաջանում են ^{64}Cu ($T_{1/2}$
= 12,7 ժամ) և ^{65}Zn ($T_{1/2} = 244,1$ օր)
ռադիոնուկլիդներ:

(2) ռեակցիայի համար պրոտոնների
սկզբնական էներգիան պետք է լինի
մոտ 44 ՄԷՎ, որը կտրուկ
ավելացնում է ^{200}Tl խառնուրդի
պարունակությունը: Այն
պակասեցնելու համար հարկ է
ժամանակ անցնի մինչև հիմնական
իզոտոպի օգտագործելը, որն իր
հերթին բերում է հիմնական իզոտոպի
ակտիվության պակասեցմանը:

Քանի որ (1) և (2)
ռեակցիաներում ²⁰¹Tl
ստացումը անցնում է
միջանկյալ մայրական ²⁰¹Pb
ռադիոնուկլիդի տրոհման
փուլը՝ այդ ռադիոնուկլիդը
պետք է հնարավորինս արագ
զտվի և անջատվի թիրախի
նյութից:

Վապարային թիարխներից ^{201}Pb
 ստանալիս ^{201}Bi $1,77\text{ч}$ ^{201}Pb $9,4\text{ч}$ ^{201}Tl (3)
 օգտագործվում են մինչև
100 ՄէՎ էներգիայով պրոտոններ:
 Բնական կապարը ունի 4 իզոտոպ **204,**
206, 207 և 208 զանգվածներով, որոնցից
 մրցակցային ռեկացիաներով բացի
 հիմնական մայրական ^{201}Bi
 ռադիոնուկլիդից առաջանում են ^{200}Bi և
 ^{202}Bi , որոնք իրենց հերթին տրոհվելով
 առաջացնում են ^{200}Tl և ^{202}Tl
իզոտոպներ:

^{201}Tl անդիկից ուղղակի մերթոդով
ստանալու համար $^{202}\text{Hg}(\text{p}, 2\text{n})$ ^{201}Tl (4)
ռեակցիայով

օգտագործվում են թիրախներ, որոնք
 ^{202}Hg իզոտոպով հարստացված են
մինչև 95 %: Մրցակից ռեակցիայով
թալիում-202 խառնուրդից

խուսափելու համար պրոտոնների
սկզբնական էներգիան ընտրում են
 ^{202}Tl (17,3 ՄէՎ) ստանալու շեմային
էներգիային մոտ:

Իսկ **Թալիում-200** առկայությունը
նվազեցնելու նպատակով խորհուրդ է
տրվում օգտագործել բարակ թիրախներ:
201T1 ելքի ակտիվությունը այս
ռեակցիայով կազմում է 1,2 մԿի/մկԱ.Ժամ,
որը մոտ է թալիումի և կապարի
թիրախներով ռեակցիաների ելքային
արժեքներին:

2017 Ստացման մեթոդների
համեմատությունից հետևում է, այս
ռադիոիզոտոպի արտադրությունը
**հնարավոր է միայն բարձր էներգիայի
արագացուցիչներով:** Ստացված իզոտոպի
մայրական թիրախից զտումը ուղեկցվում է
մայրական թիրախի հարստացված նյութի
քայքայման հետ, և զտման
գործողությունների փուլերի քանակը
հասնում է 10, իսկ տևողությունը հասնում
է 2 օրվա:

Զտման ընթացքում առաջացող **հեղուկ**
և պինդ ռադիոակտիվ թափոնների
ակտիվությունը մի կարգ գերզանցում է
նպատակային նյութի

ակտիվությունը:

Այս բոլորը բերում է այս իզոտոպի
շատ բարձր ինքնարժեքի (1 մԿի
համար 30 և ավել ԱՄՆ դոլար).

Թալիում-199 իատոտպի հիման
վրա պատրաստուկների ստացումը
¹⁹⁹Tl իզոտոպի ստացման և օգտագործման
հարցերը որպես այլընտրանք ²⁰¹Tl
քննարկվում էին դեռ 70-ականների
սկզբում: Այս տարբերակի օգտին
հիմնական գործոնն էր միջին
էներգիաների ցիկլոտրոնների վրա նրա
ստանալու հնարավորությունը ¹⁹⁷Au
($\alpha, 2n$)¹⁹⁹Tl ռեակցիայով, ճառագայթելով
մետաղական ոսկին 19 և ավելի ՄԷՎ
էներգիայի ալֆա-մասնիկներով:

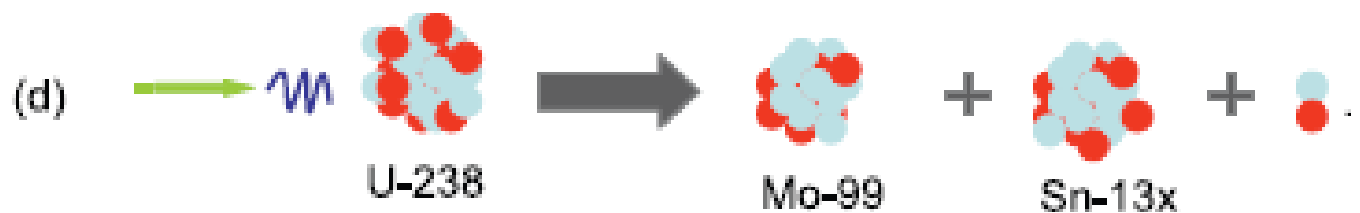
Թալիում-199 գամմա և ռենտգենյան
ճառագայթումը ունի առավել ինտենսիվ
գծեր հետևյալ էներգիաներով:

- 0,072 ՄէՎ (KX, 94,5 %)**
- 0,158 ՄէՎ (4,9 %);**
- 0,208 ՄէՎ (12,8 %);**
- 0,247 ՄէՎ (9,2 %);**
- 0,3339 ՄէՎ(1,6 %);**
- 0,455 ՄէՎ (12,3 %).**

Չնայած ^{199}Tl առկա է բավականին “կոշտ”
գիծ 455 կէՎ էներգիայով, գումարային
համարժեք դոզան այս ռադիոնուկլիդից
 2աա ավելի քիչ է, քան ^{201}Tl իզոտոպից –
կիսատրոհման ավելի ցածր
պարբերության հետևանքով: “Մաքուր”
 ^{199}Tl ստանալու հիմնական բարդությունը
մրցակցող խառնուրդների առաջացումն է,
ինչպիսիք են ^{200}Tl (α, n) ռեակցիայով և ^{198}Tl
($^{198\text{m}}\text{Tl}$, $^{198\text{g}}\text{Tl}$) ($\alpha, 3n$) ռեակցիայով:

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ստանալու հիմնական մեթոդները



Միջուկային ռեակտորներում մոլիբդեն
ստանալու համար օգտագործում են
երկու հիմնական ռեակցիաներ՝
նւրան235 ճեղքման ռեակցիան

$^{235}\text{U} (n, f) ^{99}\text{Mo}$ և ռադիացիոն զավթման
ռեակցիան $^{98}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}\text{Mo}$.

Այդ ռեակցիաների կտրվածքները
կազմում են համապատասխանաբար
582,6 և 0,136 բարն.

Ուրան235 տրոհման ժամանակ
99Մոլիբդենի ելքը կազմում է 6,1 %:
Միաժամանակ առաջանում է ավելի քան
20 երկարակյաց ռադիոնուկլիդ, որոնց
տրոհման կիսապարբերությունները
կազմում են 0,1-ից մինչև 60 օր, իսկ
զանգվածային թվերը կազմում են 72-ից
մինչև 161: Գամմա ճառագայթող
ռադիոնուկլիդների հետ համատեղ
առաջանում են նաև ալֆա ճառագայթող
տրանսուրանյան իզոտոպներ, օրինակ
²³⁹Pu:

Թափոնային քեկորային
ռադիոնուկլիդների ինտեգրալ
ակտիվությունը հարյուրավոր անգամներ
գերազանցում է նպատակային իզոտոպի
ակտիվությանը: Այսպես օրինակ
Գերմանիայի Ռոսսենդորֆի ռեակտորում
10 տարվա ընթացքում արտադրվել է 230
կԿի ^{99}Mo և միաժամանակ կուտակվել են
11000 կԿի հեղուկ ռադիոակտիվ
թափոններ, որոնց ընդհանուր ծավալը
կազմում է 26 մ³:

Թափոնների հետագա
վերամշակումը և վնասագերծումը,
ինչպես նաև կրկնակի օգտագործման
համար ուրանի գտումը բերում են
մեծ բնապահպանական խնդիրների:
Դա իր հերթին բերեց Արևմտյան
Եվրոպայի մի շարք հետազոտական
ռեակտորների փակմանը, օրինակ
Կարլսրուե և Ռոսսենդորֆ
քաղաքներում:

Այդ նույն պատճառով 2008 թվականին
Կանադայի ատոմային էներգետիկայի
նախարարությունը որոշում ընդունեց
դադարեցնել երկու նոր կառուցվող **MAPLE**
ռեակտորների հետագա կառուցումը,
չնայած դրանց կառուցման համար արդեն
ծախսվել էր **350 M\$**: Այդ ռեակտորները
նախատեսված էին գուտ բժշկական
իզոտոպների արտադրության համար:
Սակայն նրանց ռադիացիոն
անվտանգության հարցերը մինչև վերջ
լուծված չէին:

Մինչև վերջերս Մոլիբդեն99 արտադրության համաշխարհային շուկան բաժանված էր **չորս հիմնական արտադրողների միջև՝ MDS Nordion** ծանր ջրով աշխատող Կանադական **NRU** ռեակտորով, **$\geq 40\%$** ; **Mallinckrodt** (ճառագայթումը **HFR** ռեակտորում, Պետտեն, Հոլանդիա, **$\geq 25\%$** ; Ռադիոակտիվ Տարրերի ինստիտուտ **IRE**, ճառագայթումը **BR2** ռեակտորում, Բելգիա, **$\geq 15\%$** , և **NTP (Nuclear Technology Product)**, ճառագայթումը **SAFARI-1** ռեակտորում (Հարավային Աֆրիկա) **$\geq 20\%$** .

Մակայն այդ ռեակտորների **ծայրահեղ**
մաշվածության պատճառով Մոլիբդեն**99**
համաշխարհային **դեֆիցիտը** **2010**
թվականին հասավ 30 %:

Այդ խնդրի լուծման համար
Ռուսաստանում իրագործվում է նախագիծ
НИИАР ձեռնարկությունում (Դ.
Димитровград) **3** **հետազոտական**
ռեակտորներով **⁹⁹Mo** **արտադրության**
բացման համար:

Առաջին հերթի հզորությունը կկազմի
շաբաթական 900 ԿԻ, իսկ երկրորդ
հերթը շահագործման հանձնելուց
հետո արտադրության ընդհանուր
ծավալը կհասնի շաբաթական 2700
ԿԻ, որը թույլ կտա լուծել խնդիրը մոտ
սպազայի համար:

“Բեկորային” ^{99}Mo ստանալու համար
որպես կանոն օգտագործում են
թիրախներ **հարստացված ^{235}U** այլ
մետաղների հետ համաձուլվածքի
տեսքով, օրինակ **$^{235}\text{U}-\text{Al}_x$**), կամ **ուրանի**
երկօքսիդի փոշու տեսքով (UO_2), կամ
(U_3O_8) խառնած ալյումինի կամ ցինկի
օքսիդի հետ 1:5

հարաբերությամբ:

Մեկ անգամվա **5-10** օրվա ճառագայթման
ընթացքում **^{235}U** ծախսը կազմում է **ոչ**
ավելի քան 1 %:

Թիրախը մի քանի օր
“սառեցումից” հետո լուծում են
ազոտային կամ ծծմբային թթվում
և հետագայում գտում են ⁹⁹Mo
տարբեր քիմիկատներով: Վերջին
փուլերում կատարվում է նուրբ
գտում քրոմատոգրաֆիայի և/կամ
սուբլիմացիայի մեթոդներով:

Ուրանային տեխնոլոգիաները
հնարավորություն են տալիս ստանալ
 ^{99}Mo , որի տեսակարար ակտիվությունը
կազմում է ավելի քան 1000 Ci/g , ընդ
որում գրեթե լրիվ բացակայում են կրիչի
հետքերը մոլիբդենի YAMBI ստոմների
տեսքով ուրանի ճեքման ժամանակ
առաջացող ^{95}Mo , ^{97}Mo ^{100}Mo ստոմների
գումարային քանակը չի գերազանցում 18,1
%:

Այդ հանգամանքը նպաստում է
մոբիլ և փոքրածավալ **99mTc**
գեներատորների ստեղծմանը,
հետագայում բժշկության մեջ
կիրառելու համար:
Միաժամանակ, անկախ զտման
մեթոդներից, ի վերջո
պահանջվում է **վերամշակում և**
թափոնների վնասազերծում:

Ռադիացիոն զավթման ռեակցիա
 $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$.

^{99}Mo արտադրելու համար ռադիացիոն
զավթման (n,γ) ռեակցիան
օգտագործելիս թափոններ գրեթե չեն
առաջանում: Այստեղ հիմնական
խնդիրը ստացվող իզոտոպի ցածր
տեսակարար ակտիվությունն է:

Այսպես օրինակ $24,13\%$ ^{98}Mo
պարունակող բնական Մոլիբդենը
ջերմային նեյտրոնների $1 \cdot 10^{14}$ ն/սմ²·վ
հոսքով **100 ժամ** ճառագայթելիս ^{99}Mo
ելքը չի գերազանցում **0,35** Կի/գ:
Համեմատենք ռեակտորային մեթոդով
ստացված **1000** Կի/գ ցուցանիշի հետ:
Նույն պայմաններով **հարստացված**
 ^{98}Mo ճառագայթելիս հաշվարկային
տեսակարար ակտիվությունը կկազմի
 $8,47$ Կի/գ:

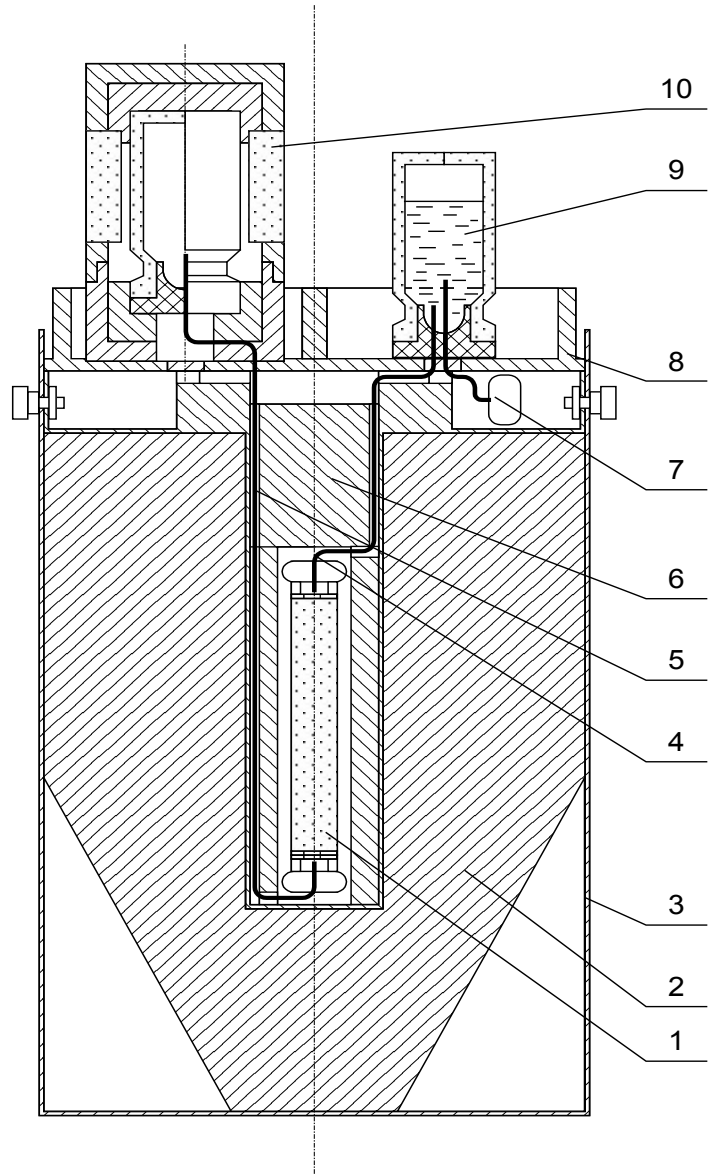
Անհամեմատ ավելի մեծ ակտիվություն
(200 Կի/գ կարգի) կարելի է ստանալ
ջերմային նեյտրոնների $5 \cdot 10^{15}$ ն/սմ²·վ
հոսքով, սակայն այդպիսի
ռեակտորների աշխարհում շատ քիչ են
և նրանց կառուցումը շատ մեծ
ծախսերի հետ է կապված:

^{99m}Tc մայրական ^{99}Mo -ից անջատելու
համար օգտագործում են հատուկ
սարքեր, որոնք կոչվում են
ՏԵԽՆԵՑԻՈՒՄԻ **ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ**:

Կախված անջատման մեթոդից, այդ
գեներատորները բաժանվում են երեք
տեսակի՝ **սորբցիոն** (կլանային,
քրոմատոգրաֆիկ), **սուբլիմացիոն** և
էքստրակցիոն:

^{99m}Tc քրոմատոգրաֆիկ
գեներատորներ

Արտադրության ծավալներով և
կիրառության աստիճանով
համաշխարհային բժշկության
բնագավառում այս գեներատորները
գրավում են առաջատար դիրքեր, որը
պայմանավորված է նրանց փոքր
չափսերով և արտադրության վայրից մեծ
հեռավորությունն տեղափոխելու
հնարավորությամբ: Բացի դրանից նրանք
առանձնանում են ^{99m}Tc մեծ ելքով՝ 80–
90% կայուն մակարդակով, ինչպես նաև
շահագործման պարզությամբ:



1 – սյունյակ; 2 – ռադիացիոն
 պաշտպանիչ, 3 –
 գեներատորի մարմինը, 4 –
 էլյուենտի գիծ, 5 – էլյուատի
 գիծ, 6 – պաշտպանիչ խցան,
 7 – ֆիլտր, 8 – գեներատորի
 ֆլանկը, 9 – էլյուենտով
 սրվակ, 10 – պաշտպանված
 բժշկական կադապար
 վակուումացված սրվակով:

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ գեներատորային զույգի համար
իրականացվում է հետևյալ հարաբերությունը

$$(N_2)_t = \frac{0,875\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (N_1)_0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$(A_2)_t = \frac{0,875\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (A_1)_0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

որտեղ N_1 , N_2 և A_1 , A_2 – միջուկների քանակները և
ակտիվություններն են համապատասխանաբար
 ^{99}Mo և **$^{99\text{m}}\text{Tc}$** համար; λ_1 և λ_2 – **^{99}Mo** **$^{99\text{m}}\text{Tc}$** տրոհման
հաստատունները; t – տրոհման տևողությունը, $(A_1)_0$
– **^{99}Mo** սզբնական ակտիվությունը:

Քրոմատոգրաֆիկ գեներատորը ստեղծել է
Tucker D. 1958 թվականին: Այն
բաղկացած է **քրոմատոգրաֆիկ**
սյունյակից, որը լցված է սորբենտով
(կլանիչ) կամ **իոնփոխանակիչ խեժով**, և
դրան միացված **էյուենտ ներարկելու և**
էյուատ հանելու խողովակներով, և այդ
բոլորը ռադիացիոն պաշտպանության
համար տեղադրված է **պաշտպանիչ**
կոնսեյներում:

Սյունյակը “լիցքավորում են” **99Մոլիբդեն**
պարունակող լուծույթով: Այնուհետև
սյունյակով անց են կացնում **ֆիզիոլոգիական**
լուծույթ: Սորբենտը ուժգին կլանում է
մոլիբդենին, իսկ նրա տրոհման հետևանքով
առաջացած **^{99m}Tc** **լուծվում է ֆիզիոլոգիական**
լուծույթում և դուրս հոսում նրա հետ
գեներատորից: Այդ երևույթը կոչվում է
էյուացում, դուրս հոսող հեղուկը կոչվում է
էյուատ, իսկ քիմիական տեսակետից նա
իրենից ներկայացնում է **ՊԵՐՏԵԽՆԵՏԱՏ:**

ՍՈՐԲԵՆՏՆԵՐ

(ԿԼԱՆԻԶՆԵՐ)

Տեխնեցիումի զենքատորներում
որպես **սորբենտ** հիմնականում
օգտագործում են ալյումինի
ակտիվացրած օքսիդ, որն իրենից
ներկայացնում է ալյումինի
բյուրեղային եռահիդրօքսիդի $\text{Al}(\text{OH})_3$
և **ալյումինի օքսիդի (Al_2O_3)**
կոմպոզիցիա:

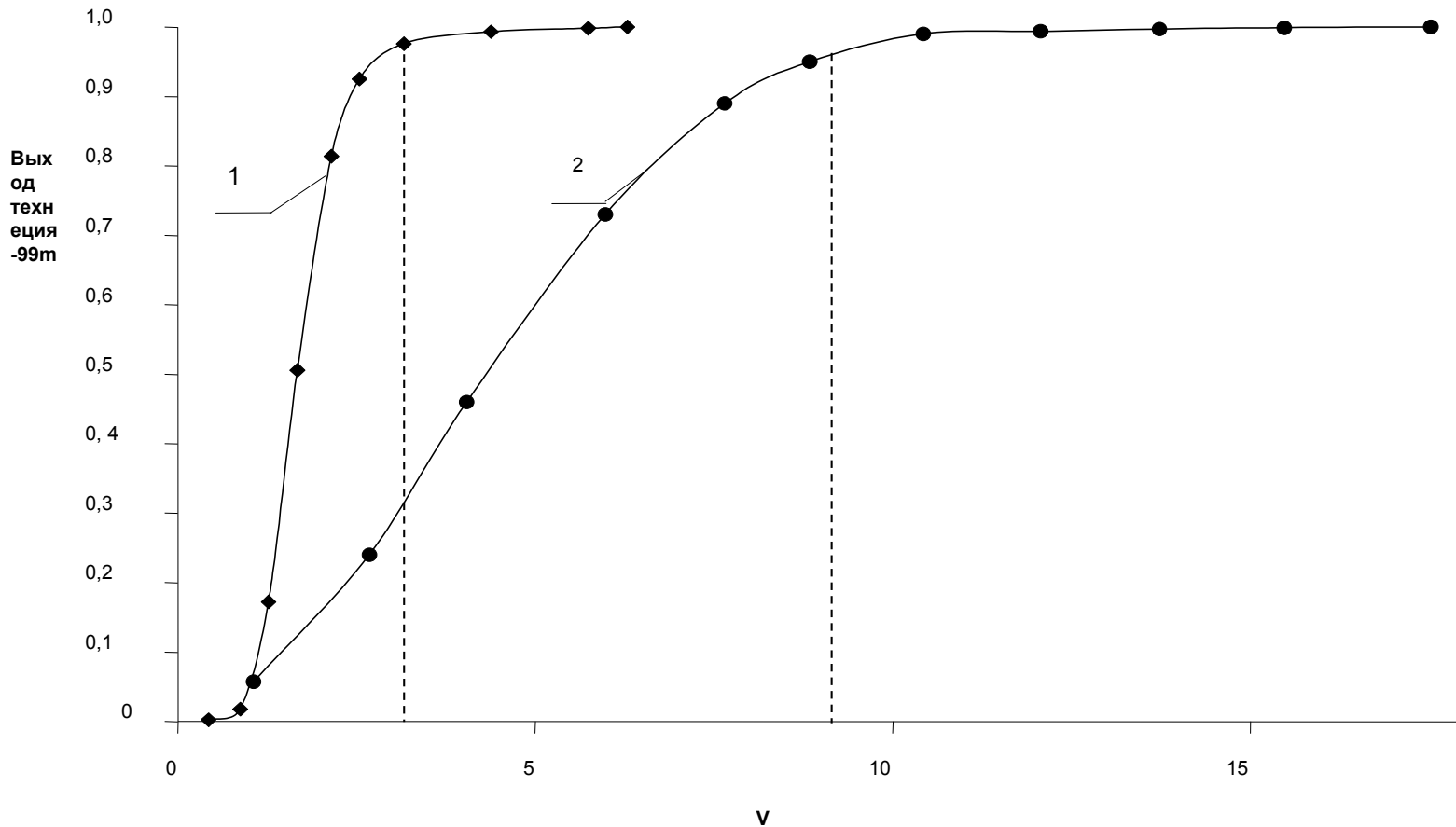
Ալյումինի օքսիդի **ակտիվացումը**
կատարվում է 300°C մինչև 850°C
տաքացումով, մինչև կառաջանա
բյուրեղային ԲՅՈՄԻՏ, որն ըստ իր
բաղադրության մոտ է **AlOOH $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$** :
Տաքացման հետևանքով առաջանում է
ծակոտկեն կառուցվածք մինչև **5–10** նմ
տրամագծով խոռոչներով և **մի քանի մ²/գ**
մինչև 100 մ²/գ և ավելի տեսակարար
մակերեսով:

^{99m}Tc առավելագույն կուտակման
տևողությունը այս համակարգում
կազմում է $t_{max} = 22,89$ ժամ, որով
և պայմանավորված է նրան
մայրական իզոտոպից անջատելու
պարբերականությունը:

Գեներատորում $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Տեխնեցիումի
 առավելագույն կուտակման պահին
 ($t = t_{\text{max}} = 22,89$ ժամ) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ և ^{99}Mo
 ակտիվությունների միջև առաջանում է
 կայուն հավասարակշռություն

$$A(\text{Tc}) = 0,875 \cdot A(\text{Mo}) = 0,875 \cdot L_0 \cdot m_{\text{Mo}},$$
 որտեղ L_0 – ^{99}Mo տեսակարար
 ակտիվությունն է, a m_{Mo} –
 գեներատորի սյունյակում կլանված
 մոլիբդենի ընդհանուր զանգվածն է:

Իրականում գտված ^{99m}Tc ակտիվությունը միշտ ավելի քիչ է քան նախորդ բանաձևով հաշված արժեքները, քանի որ գեներատորի **էյուացիոն էլքը**, որը բնութագրվում է **տված քանակի էյուենտով(այս դեպքում՝ ֆիզիոլոգիական լուծույթ)** ^{99m}Tc գտման գործակիցը **միշտ փոքր է 1-ից**: Սովորաբար նա լինում է **80–90 % սահմաններում** և կախված է մի շարք գործոններից՝ կլանող սյունյակի կոնստրուկտիվ առանձնահատկություններից, նրա երկրաչափական չափսերից, սորբենտի կառուցվածքից և այլն:



^{99m}Tc էլքի կախումը էլուենտի ծավալից **1** – “բեկորային” ^{99}Mo գեներատոր Al_2O_3 սորբենտի $\sim 1,5$ գ զանգվածով, **2** – $(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ ռեակցիայից ստացված նյութի համար, սորբենտի զանգվածը 7 գ:

Ինչպես տեսնում ենք, երկրորդ
դեպքում ռադիոնուկլիդի լիարժեք
զտման համար անհրաժեշտ է **մոտ**
երեք անգամ ավելի ֆիզլուծույթ: Ի
հետևանք դրա նվազում է
պատրաստուկի **ծավալային**
ակտիվությունը, որը **ի վերջո**
վատացնում է գեներատորի
կիրառական բնութագրերը:

Էյուացման (զտման) արդյունավետության նվազեցմանը, իսկ երբեմն լրիվ դադարեցմանը, այսինքն գեներատորից ^{99m}Tc դուրս բերման դադարեցմանը կարող է բերել պերտեխինետատի վերականգնումը մինչև մետաղական Տեխնեցիում, որը խիստ կլանվում է սյունյակի սորբենտով: Ենթադրվում է, որ ^{99m}Tc վերականգնումը սյունյակի ալյումինի օքսիդի վրա տեղի է ունենում ջրի ռադիոլիզի արդյունքում, որը տեղի է ունենում ^{99}Mo բետա-ճառագայթման հետևանքով: Պերտեխինետատի վերականգնումը սկսվում է ^{99}Mo նույնիսկ 250 մԿի սկզբնական ակտիվության դեպքում: Այդ իսկ պատճառով խորհուրդ է տրվում “կթելու” ընդմիջումներում գեներատորը պահել ֆիզլուծույթից ազատ, այսինքն չոր:

Ինչ վերաբերվում է ^{99m}Tc էյուլաստի
խառնուրդային բաղադրությանը, ապա
առևտրային արդյունաբերական
գեներատորների էյուլաստում, որոնք
օգտագործում են “բեկորային” ^{99}Mo ,
ռադիոակտիվ ^{134}Cs առկայությունը
կարող է առաջացնել ճառագայթման
դոզա, որը կազմում է ^{99m}Tc դոզային
50–85 %:

Բացի դրանից հայտնաբերվում են **Zr**
ցիրկոնիում 95, **Ծարիր(сурьма) Sb-**
124, **Յոդ I131** և երբեմն էլ **I132**,
Լանթան(лантан) La140,
Ռութենիում(рутений)Ru103 և **Արծաթ**
Ag110m. Այս տեսակետից
հարստացված մոլիբդենի հիման վրա
գեներատորներից ստացված էլուստը
զգալիորեն ավելի մաքուր է:

Սորբցիոն գեներատորների մի առանձնահատուկ տեսակ է **Գելային (гелевый) գեներատորը**: Դրանում կլանող մատրիցայի դերը խաղում է **Ցիրկոնիումի օքսիդը**, որը ստացվում է նատրիումի պոլիմոլիֆոսֆատի քլորային ցիրկոնիլի լուծույթի խառնուրդով (**ZrOCl₂ · 8H₂O**): Արդյունքում ստացված գելը ֆիլտրում են, վրան լցնում են ջուր և խառնելուց մեկ օր հետո գտնում են **99mTc**.

Այս մեթոդով ռադիոնուկլիդի **էլքը կազմում է 91–94%.** Այս մեթոդի հիմնական առավելությունն այն է, որ բացի ռադիոակտիվ թափոնների ակտիվության նվազեցումից, առկա է **նաև խտացնող հատկությունը:** Դա թույլ է տալիս օգտագործել այս գեներատորը **ցածր ակտիվության 99Mo** զտման համար, որը ստացվել է ռադիացիոն զալթման եղանակով: Հաջորդ մասում քննարկվող **սուբխիացիոն** և **էքստրակտային** մեթոդները նունպես ակտիվություն խտացնող մեթոդներ են:

ՍՈՒԲԼԻՄԱՑԻՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐ

Սուբլիմացիոն գեներատորի աշխատանքի սկզբունքը հիմնված է ^{99m}Tc և ^{99}Mo սուբլիմացիայի (ВОЗГОЖКА) ջերմաստիճանների տարբերության վրա (թռուցիկություն): Ընդհանուր առմամբ սարքավորումը իրենից ներկայացնում է շիկացող խողովակ, որում տեղադրված է ճառագայթած մոլիբդենի թիրախը: Խողովակով անց են կացնում կրիչ գազ (խոնավ օդ, թթվածին և այլն): Խողովակի ելքում տեղադրված է սառեցվող կոնդենսոր տեխնեցիումի գոլորշիները զավթելու և կուտակելու համար:

Այս մեթոդի պարզությունը և որևէ այլ քիմիական ռեագենտի մասնակցության կարիքի բացակայությունը հատկապես օրգանական քիմիկատների նվազեցնում է ^{99m}Tc որևէ վերականգնված կամ կոմպլեքս միացությունների առաջացումը, որոնք հատուկ են քրոմատոգրաֆիական տեխնոլոգիաներին:

Սուբլիմացիոն մեթոդի հիմնական
թերությունն է ^{99m}Tc զտման ավելի
ցածր արդյունավետությունը
համեմատած այսօր կիրառվող բոլոր
մնացած մեթոդների հետ:

ԷՔՍՏՐԱԿՅԻՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐ

99mTc Էքստրակցիոն գեներատորները
տարբեր ժամանակաշրջաններում
օգտագործվել են (կամ փորձվել են
օգտագործվել) Մեծ Բրիտանիայում, ԱՄՆ,
Ֆրանսիա, Չեխոսլովակիա, Հնդկաստան,
Իրան, Ավստրալիա և այլուր: Նրանք
որպես կանոն իրենցից ներկայացնում են
ստացիոնար սարքեր, որոնք ի վիճակի են
բավարարել մեծ քաղաքների **99mTc**
պահանջարկը:

Էքստրակտորային մեթոդի
աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է.

Ճառագայթված թիրախի նյութը
լուծվում է KOH հիմքում, որում
լուծվում է MoO_3 եռօքսիդը:
Ստացված լուծույթին ավելացվում է
ՄեթիլէթիլԿետոն (MEK) անվանվող
եթերը, որում լուծվում է միայն
 ^{99m}Tc :

Ստացվում է երկու լուծույթների խառնուրդ,
որոնցից մեկում **լուծված է ՄԻԱՅՆ Mo,**
իսկ մյուսում **ՄԻԱՅՆ ^{99m}Tc :** Եվ այդ
լուծույթները ունեն **խիստ տարբեր**
խտություններ:

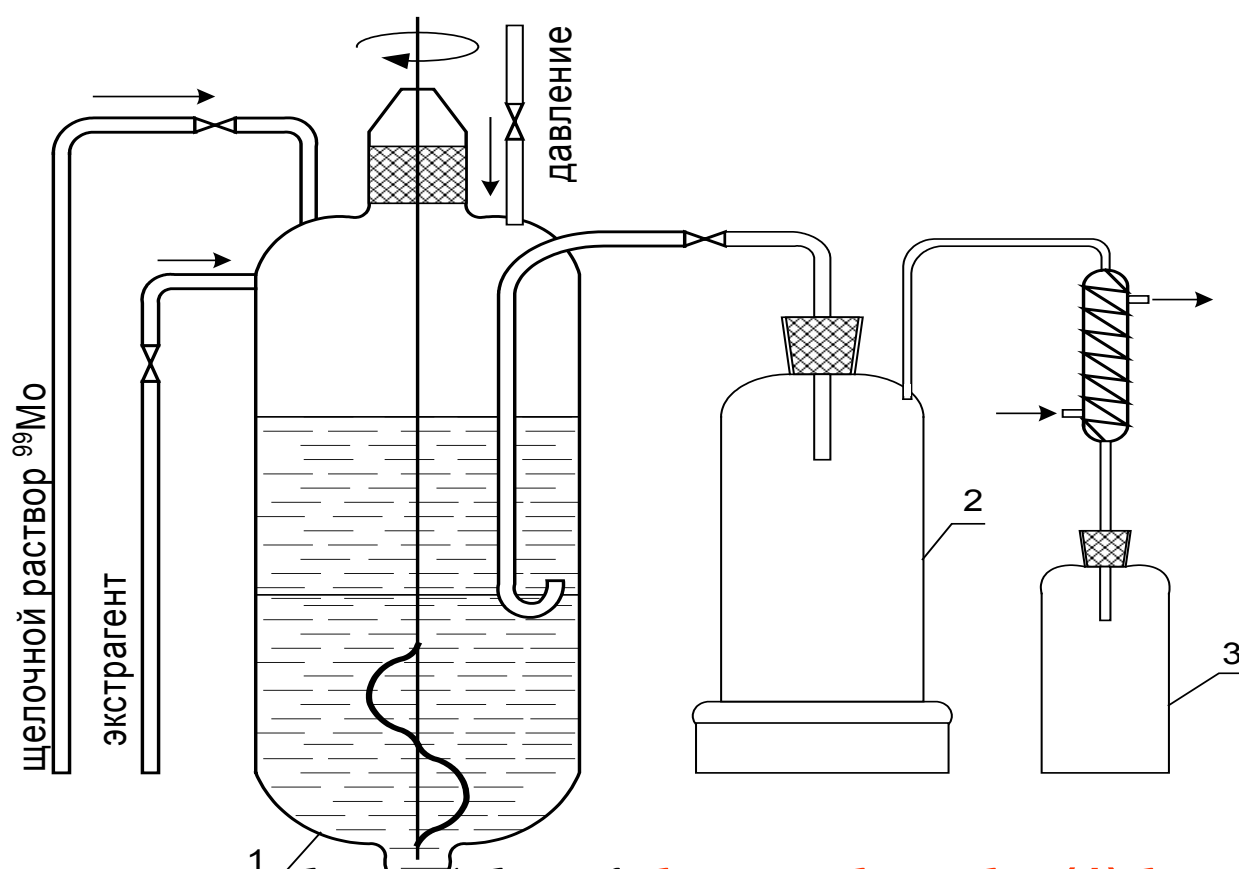
Էքստրակտորի մեջ պատվող
կենտրոնախույս սարքը բաժանում է
նրանց իրարից, և **ՄեթիլԷթիլԿետոնը**
(ՄԷԿ) իր մեջ **լուծված ^{99m}Tc** գտվում է և
տեղափոխվում մեկ այլ ծավալ:

Այդ ծավալում նշված եթերային լուծույթը
տաքացվում է, որի հետևանքով ինքը
ՄերիլԷթիլԿետոնը գոլորշիանում է, իսկ
 ^{99m}Tc մնում է պատերին նստած:

Հաջորդ փուլում այդ ծավալով անցնում է
ֆիզիոլոգիական լուծույթ, որն իրենից
ներկայացնում է սովորական կերակրի
աղի NaCl լուծույթը ջրում: Այդ լուծույթում
 ^{99m}Tc լուծվում է, ստացվելով այսպես
կոչված նատրիումի Պերտեխնետատ
 NaTcO_4 :

Այդ միացությունը իրենից արդեն
ներկայացնում է պարզագույն
ռադիոֆարմապատրաստուկ, քանի որ
արդեն կարելի է նրան օգտագործել
զննվողին ներարկելու կամ խմեցնելու
համար: Կամ իրեն միացնելով տարբեր
այլ քիմիական միացությունների հետ՝
ստանալ տարբեր օրգանների զննման
համար ռադիոֆարմապատրաստուկներ:

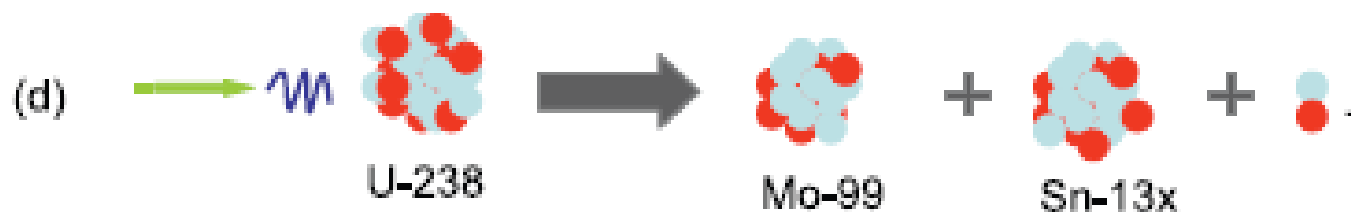
Որպես էքստրագենտ՝ այսինքն մեզ
անհրաժեշտ նյութը իր հետ դուրս
բերող նյութ - ^{99m}Tc համար
սովորաբար օգտագործվում է
ՄեթիլէթիլԿետոն (ՄԵԿ), որի
թորման ջերմաստիճանը կազմում է
 $76-78^{\circ}\text{C}$ և համեմատաբար հեշտ
ենթարկվում է մաքրման կրկնակի
օգտագործման համար:



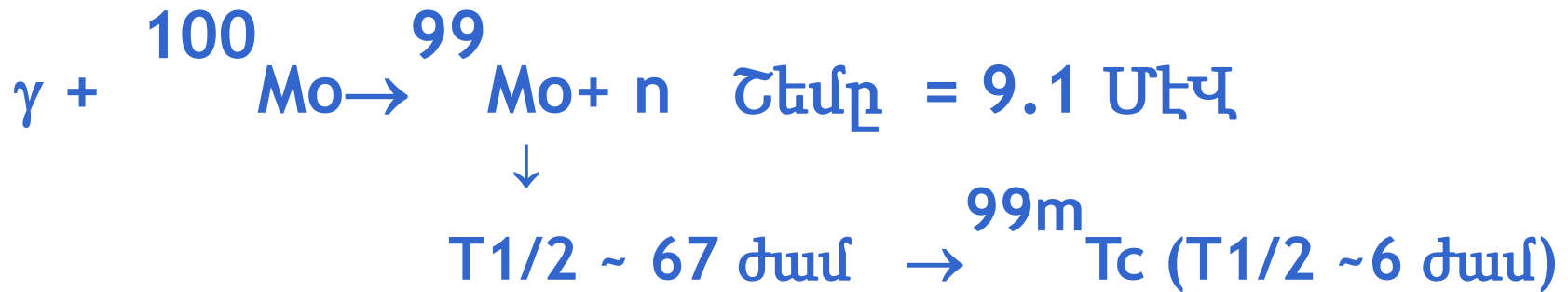
Սարքը բաղկացած է բուն **էքստրակտորից (1) խառնիչով**, ուր տրվում է **^{99}Mo** հիմքային լուծույթը և էքստրագենտը: Այդ խառնուրդը խառնելուց հետո տեղի է ունենում **օրգանական բաղադրիչի անջատումը**, որին տեղափոխում են **գոլորշացնող սրվակ (2)** խողովակով, որի ծայրը երկու հեղուկների բաժանման հենց սահմանի մոտակայքում է: **էքստրագենտը տաքացնելով գոլորշացնում են և տեղափոխում (3) հավաքածու անոթ**: Իսկ **գոլորշացնող սրվակին տալիս են ֆիզլուծույթ**, որը **լուծում է պատերին մնացած ^{99m}Tc .**, առաջացնելով **ռադիոֆարմատրաստուկ նատրիումի պերտեխնետատ տեսքով**:

**^{99m}Tc ստանալու
արագացուցչային
մեթոդներ**

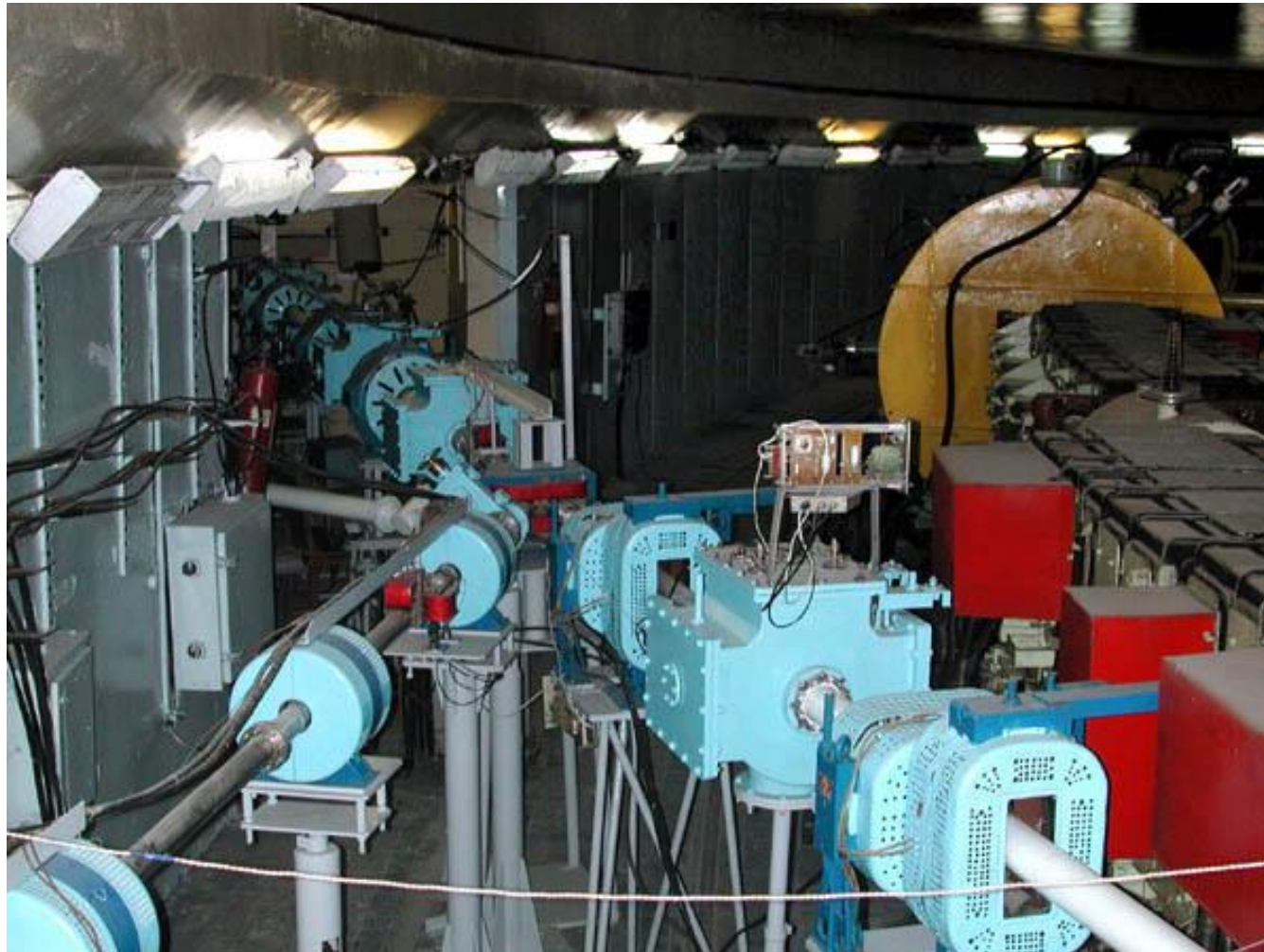
$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ստանալու հիմնական մեթոդները



Մետաստաբիլ ^{99m}Tc կարելի է ստանալ
ֆոտոմիջուկային ռեակցիայով, ճառագայթելով
 ^{100}Mo ինտենսիվ ֆոտոնային փնջով



LU E50 գծաձիվ
էփեփՏՐՈՆԱՅԻՆ
ԱՐԱԳԱՅՈՒՑԻՉ

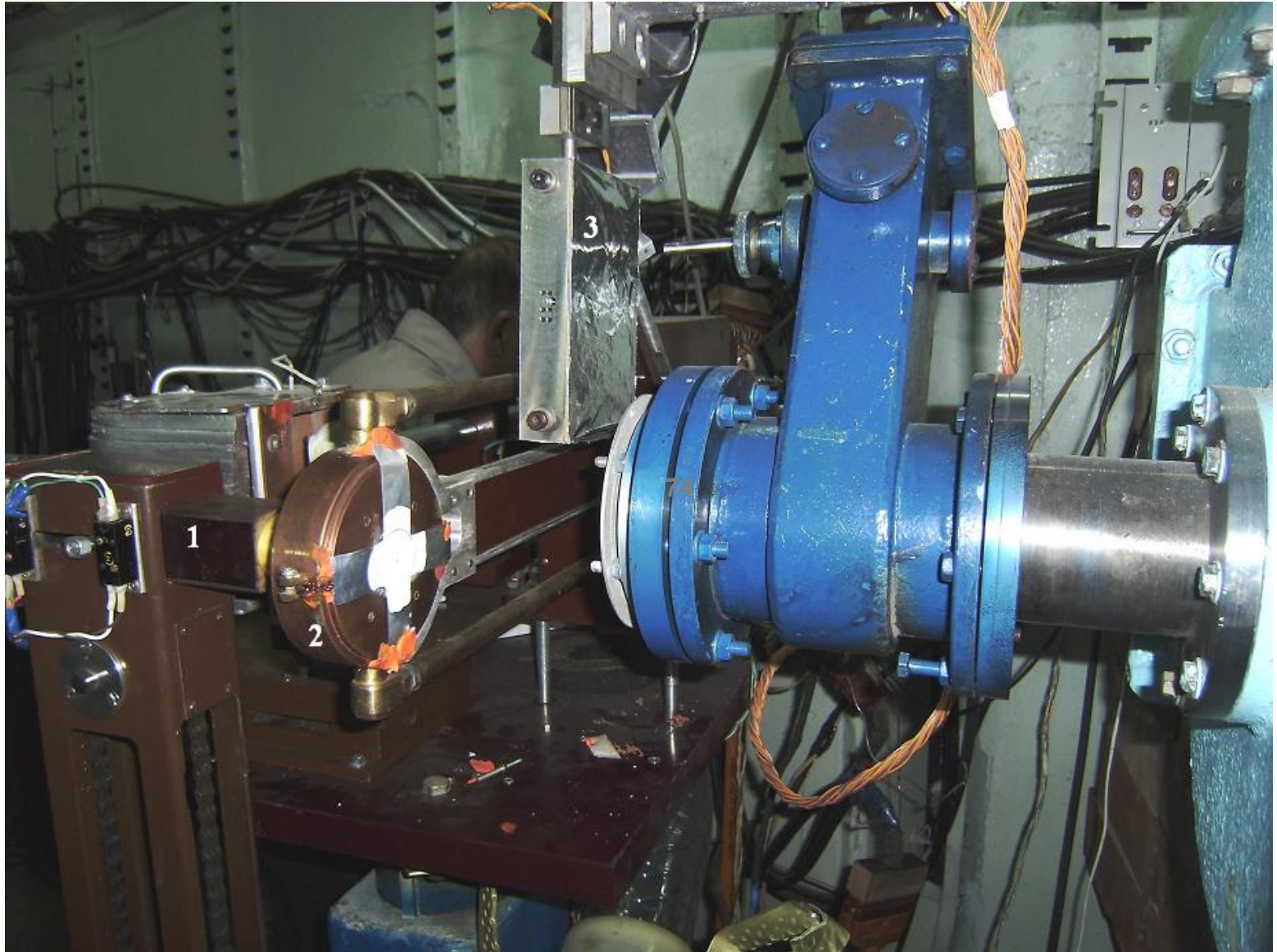


ՆՈՐ ԲԱՐՁՐ ԷՄԻՍՍԻԱՅՈՎ ԿԱՏՈՂ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ԹՆԴԱՆՈԹՈՒՄ

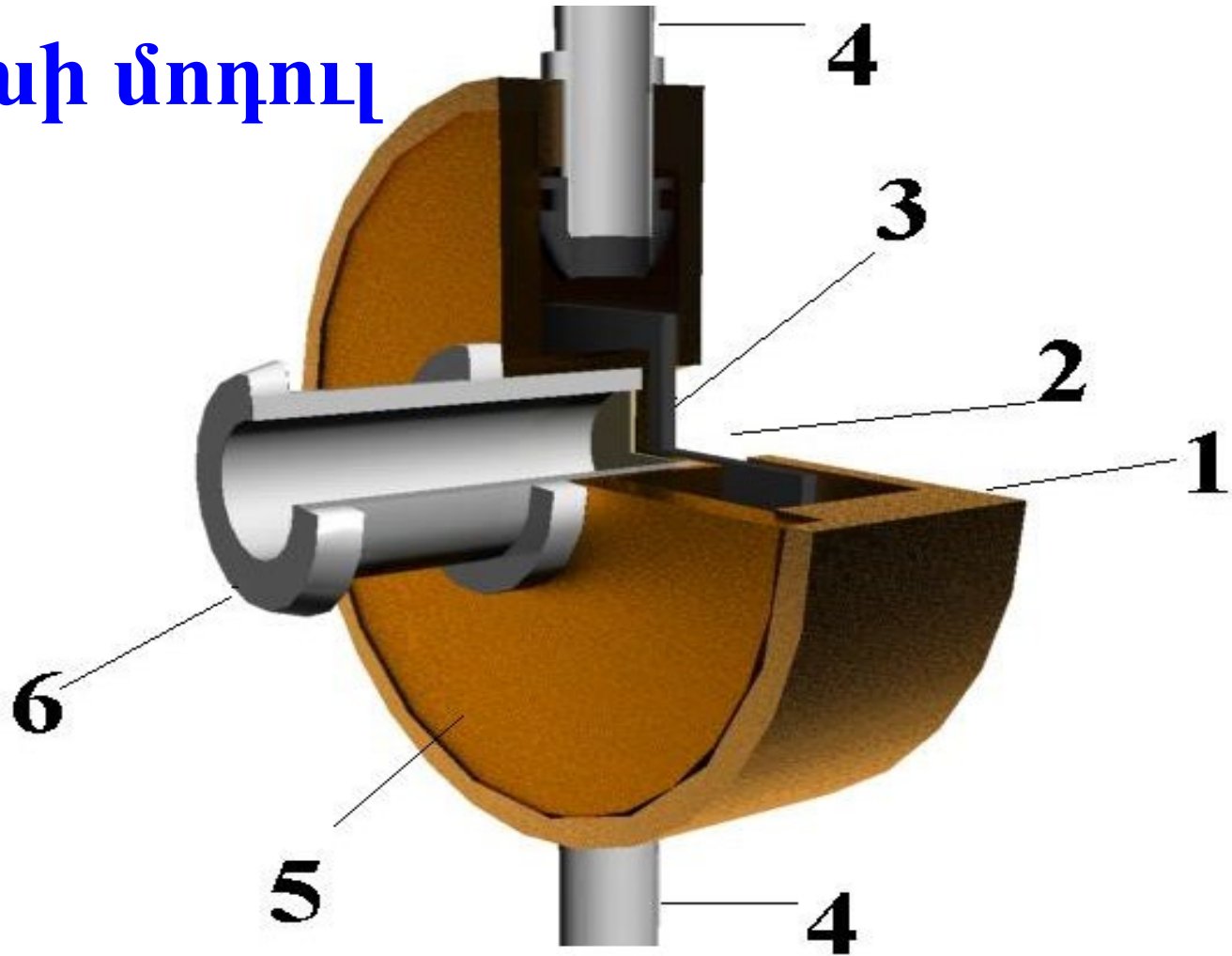


Արագացուցչի ձևափոխված բնութագրերը

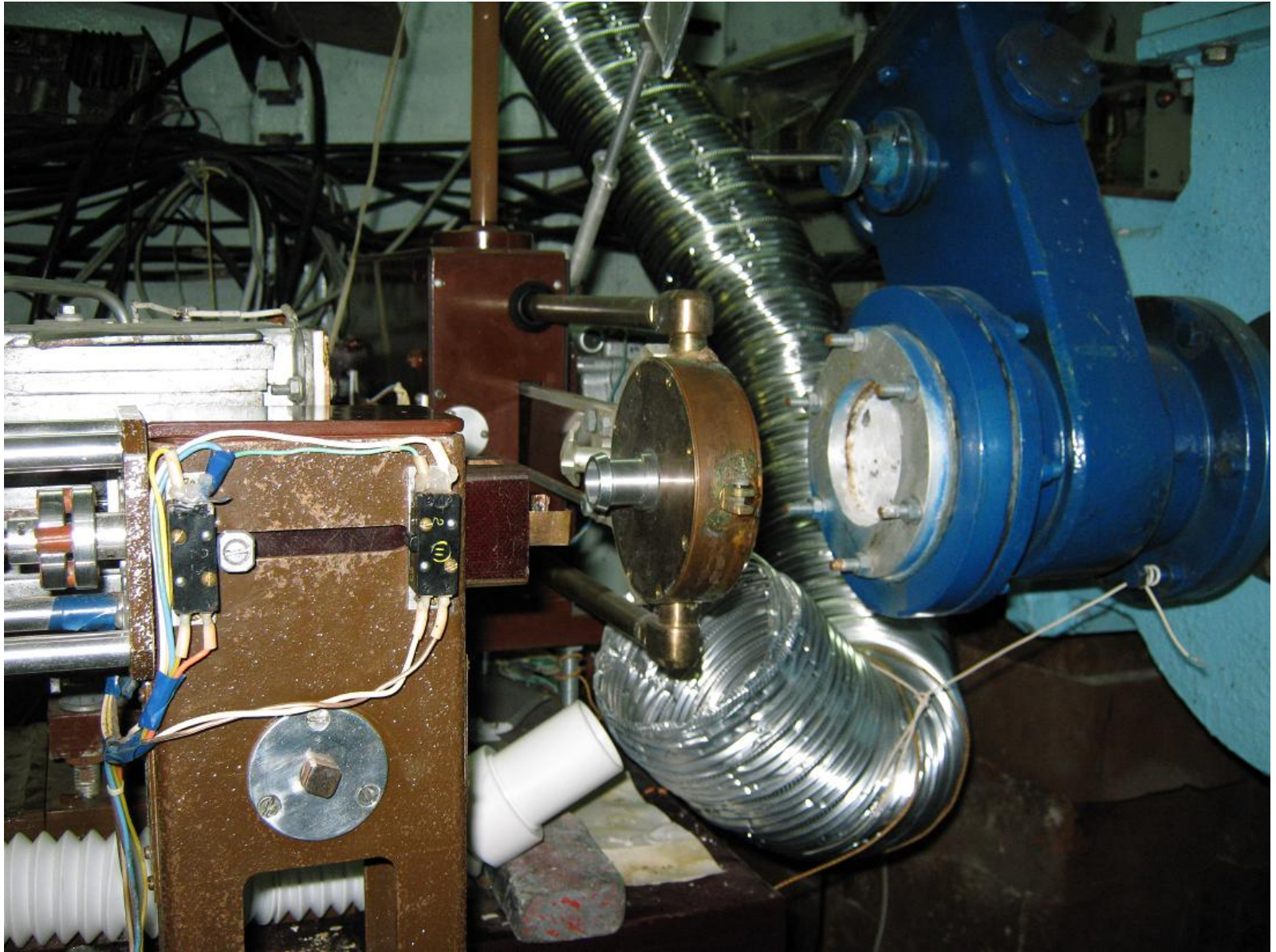
Բնութագիրը	առաջ	հետո
Էլեկտրոնի էներգիան (ՄԷՎ)	20	40
Փնջի հոսանքը, մկԱ	4.5	9.8
Փնջի չափսը թիրախի վրա, մմ	20	13

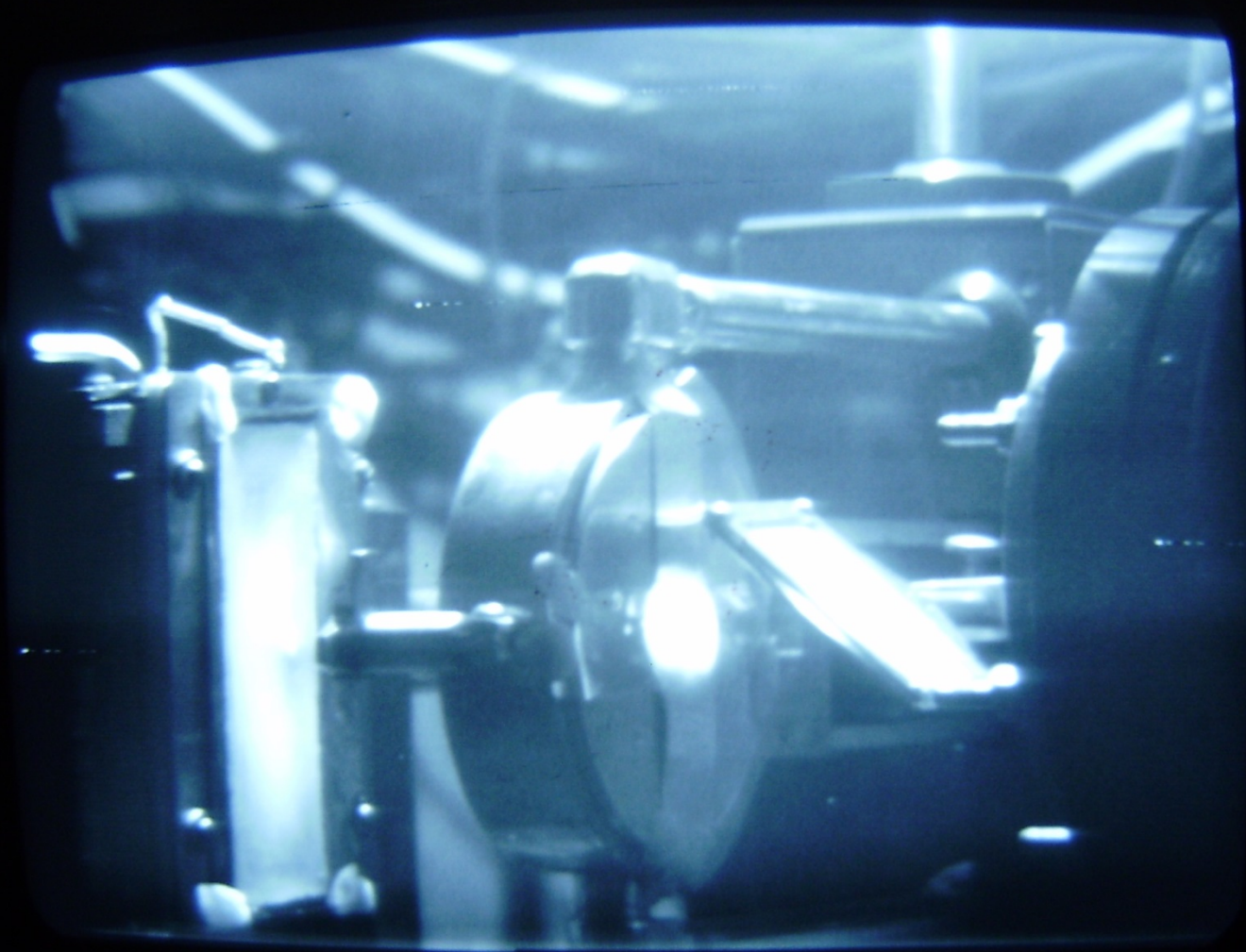


Թիրախի մոդուլ



1 - մարմինը, 2 – փնջի մուտքի պատուհան, 3 – տանտալի թիթեղ, 4 – ջրի հովացման խողովակներ, 5 – կափարիչ, 6 – թիրախի պարպուճ





ՀԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ

ՌԵԺԻՄԸ

Թիրախը՝ բնական Մոլիբդենի
էոօքսիդ, քաշը մինչև 20 գ:

Էլեկտրոնային փնջի էներգիան
 $E=40\pm 1$ ՄԷՎ,

Փնջի ինտենսիվությունը թիրախի
մուտքային պատուհանին $\sim 9.5-10.5$
մկԱ,

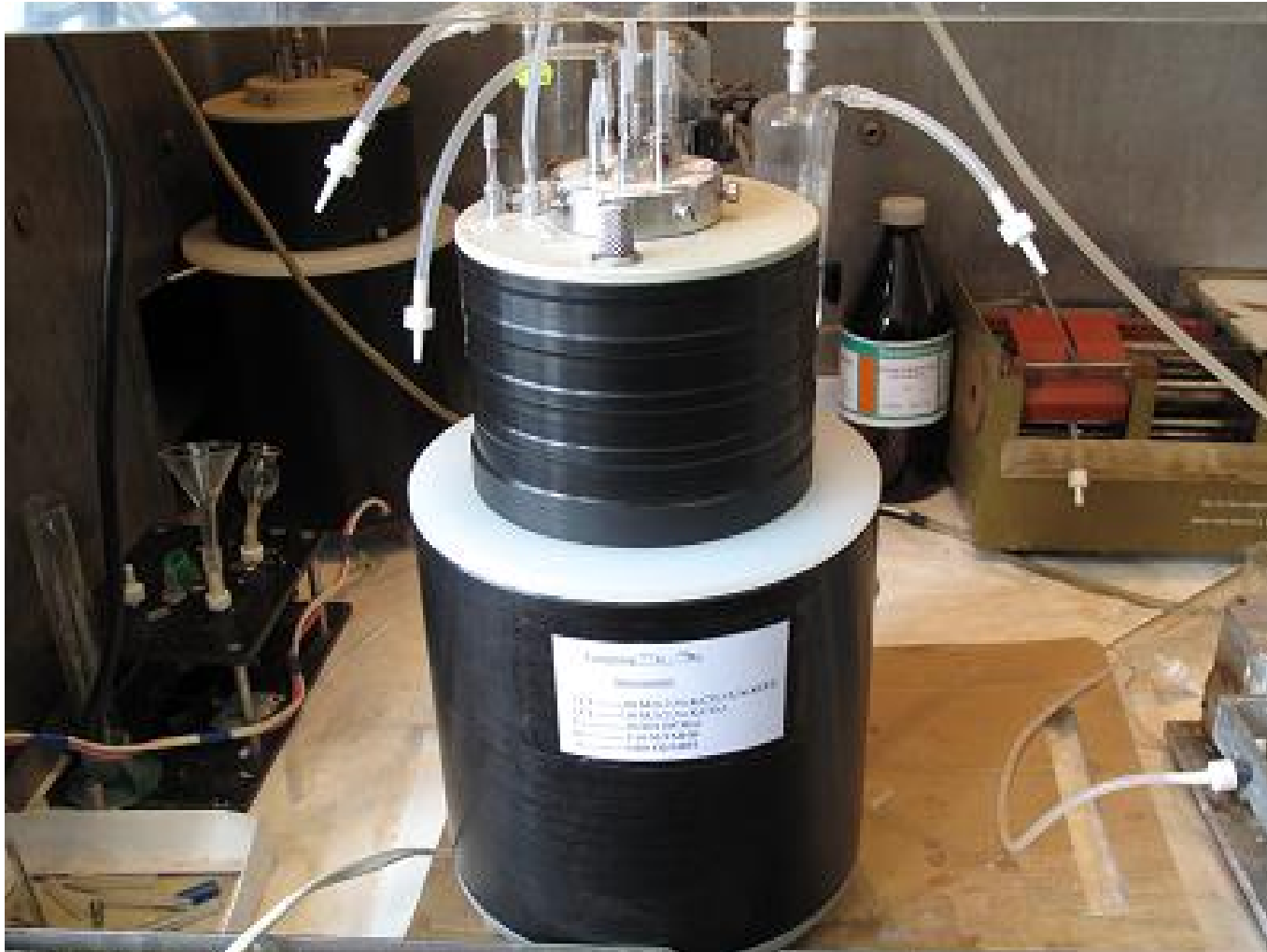
Փնջի չափսը < 15 մմ.

Էլեկտրոնային փնջով ռադիոիզոտոպի արտադրության կարևոր բնութագրերից մեկն է ստացված ակտիվությունը՝ նորմավորված ճառագայթվող նյութի զանգվածին, փնջի հոսանքին և ճառագայթման տևողությանը

Բք/մգ·մկԱ·ժամ: Տարբեր գիտափորձերի տպագրված արդյունքները ունենին բավականին մեծ տարամիտում՝ **90 մինչև 3200**

Բք/մգ·մկԱ·ժամ: Ներկայացվող փորձի արդյունքում նշված բնութագրի արժեքը ստացվել է **~3000 Բք/մգ·մկԱ·ժամ**, որը մոտ է համաշխարհային տվյալների **առավելագույն արժեքին:**

Տեխնեցիումի զտման ուղղակի մեթոդ (ՄԷԿ)





Էքստրակտորային մեթոդի
աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է.

Ճառագայթված թիրախի նյութը
լուծվում է KOH հիմքում, որում
լուծվում է MoO_3 եռօքսիդը:
Ստացված լուծույթին ավելացվում է
ՄեթիլէթիլԿետոն (MEK) անվանվող
եթերը, որում լուծվում է միայն ^{99m}Tc :

Ստացվում է երկու լուծույթների խառնուրդ,
որոնցից մեկում **լուծված է ՄԻԱՅՆ Mo,**
իսկ մյուսում **ՄԻԱՅՆ ^{99m}Tc :** Եվ այդ
լուծույթները ունեն **խիստ տարբեր**
խտություններ:

Էքստրակտորի մեջ պատվող
կենտրոնախույս սարքը բաժանում է
նրանց իրարից, և **ՄեթիլԷթիլԿետոնը** իր
մեջ **լուծված ^{99m}Tc -ով** զտվում է և
տեղափոխվում մեկ այլ ծավալ:

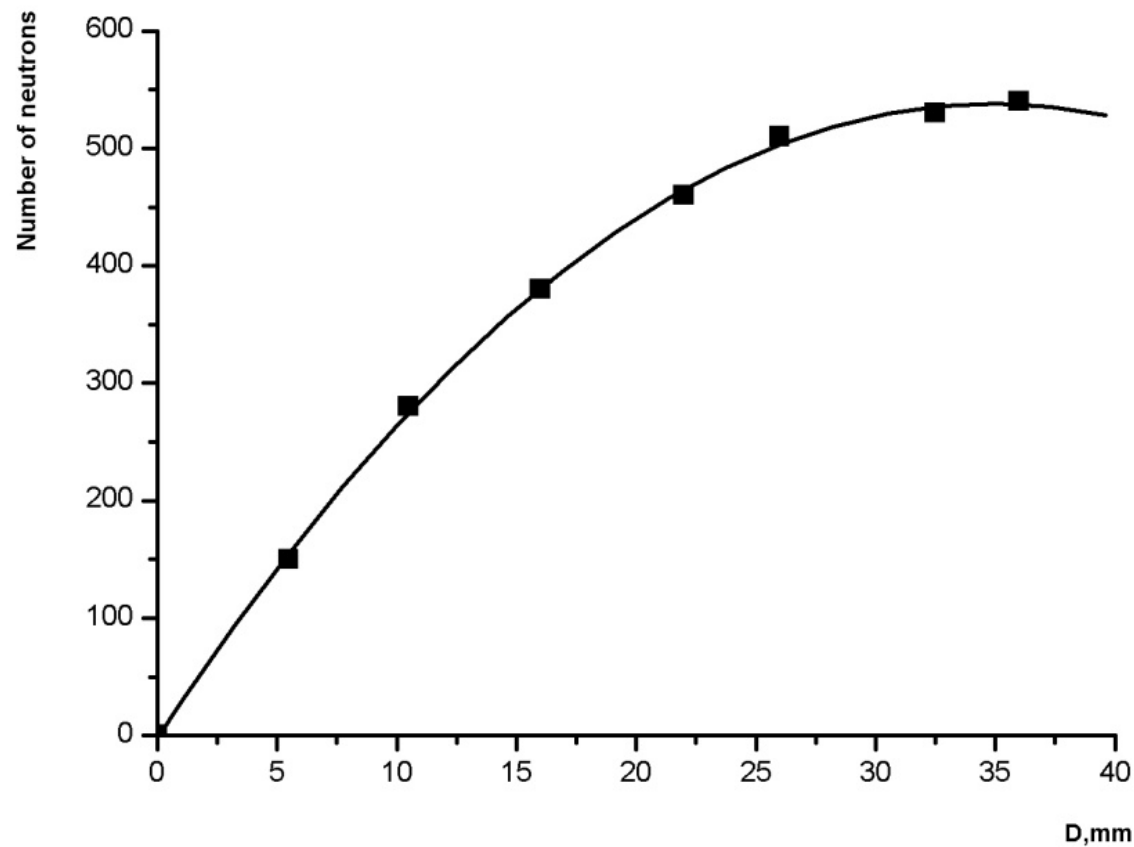
Այդ ծավալում նշված եթերային լուծույթը
տաքացվում է, որի հետևանքով ինքը
ՄերիլԷթիլԿետոնը գոլորշիանում է, իսկ
 ^{99m}Tc մնում է պատերին նստած:

Հաջորդ փուլում այդ ծավալով անցնում է
ֆիզիոլոգիական լուծույթ, որն իրենից
ներկայացնում է սովորական կերակրի
աղի NaCl լուծույթը ջրում: Այդ լուծույթում
 ^{99m}Tc լուծվում է, ստացվելով այսպես
կոչված Պերտեխնետատ NaTcO_4 :

Այդ միացությունը իրենից արդեն
ներկայացնում է պարզագույն
ռադիոֆարմապատրաստուկ, քանի որ
արդեն կարելի է այն օգտագործել
զննվողին ներարկելու կամ խմեցնելու
համար: Կամ իրեն միացնելով տարբեր
այլ քիմիական միացությունների հետ
ստանալ տարբեր օրգանների զննման
համար ռադիոֆարմապատրաստուկներ:

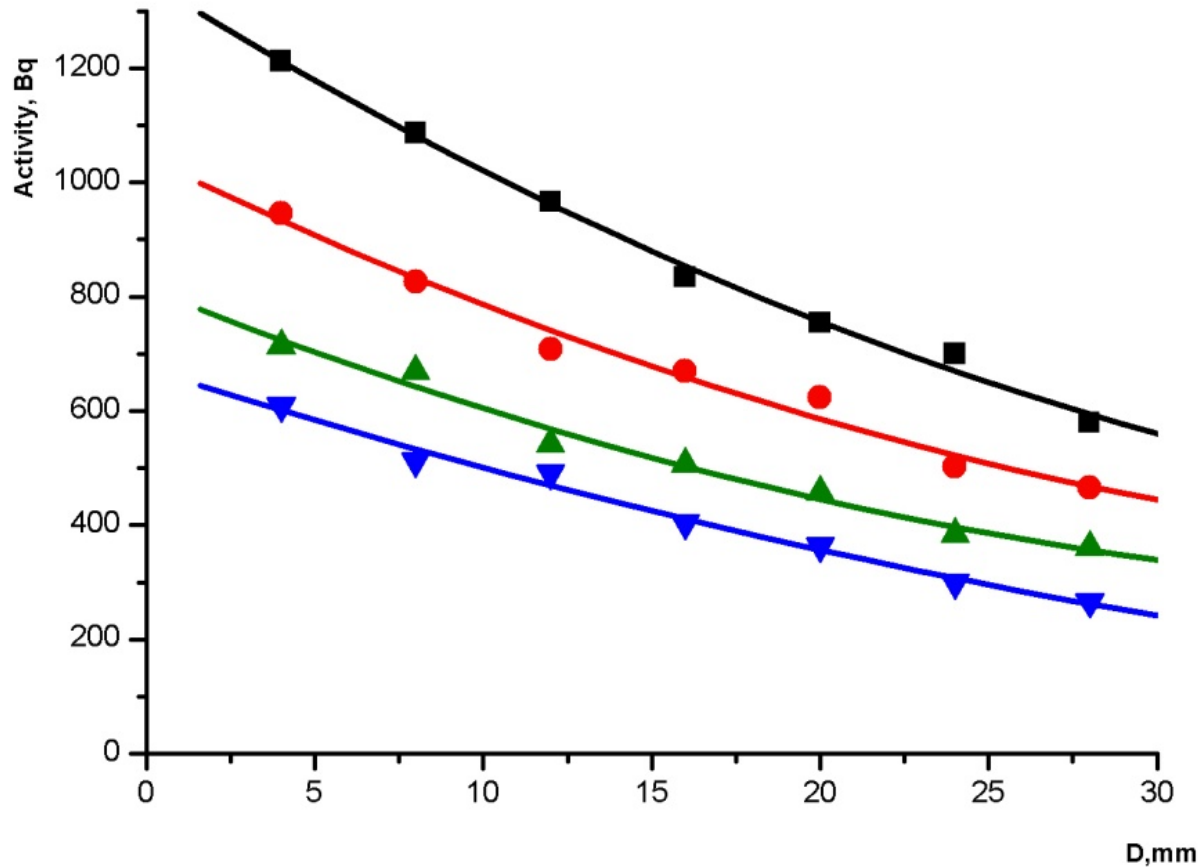
Այս էքստրակտորը հավաքվել է
Ա.Տրումկինի անվան ֆիզիկական
քիմիայի և էլեկտրաքիմիայի
ինստիտուտում, իսկ ողջ
սարքավորումը
“ՄեդՌադիոՊրեպարատ”
գործարանում:

Թիրախի խորության հաշվարկը



MoO₃ ճառագայթման համար թիրախի պարկուճը





Չափված ակտիվության կախումը MoO_3 թիրախի խորությունից, ճառագայթումից տարբեր ժամանակամիջոց անց: ■ – 15.7 ժամ, ● - 37.8 ժամ, ▲ - 62.7 ժամ, ▼ - 84.3 ժամ.

Այսպիսով MoO_3 թիրախի
օպտիմալ երկարությունը
փնջի ուղղությամբ
կազմում է **~15-20 մմ.**

Կոմերցոն գործունեք

- Ներկայումս Հայաստանում 3 կլինիկա օգտագործում են **Mo/Tc** գեներատորներ, ներմուծելով դրանք արտերկրից;
- 3 կլինիկան էլ գտնվում են մայրաքաղաք Երևանում;
- Մի շարք պատճառներով հետազոտությունների քանակը բավարար մեծ չէ;
- Պատճառներից մեկն է՝ նրանք ստանում են գեներատորներ 1-1.5 ամիսը մեկ, օգտագործվում է 6-10 օրում: Այսպիսով հիվանդները երբեմն ստիպված են բավականին երկար սպասել զննմանը, որն անրնդունելի է:

Կոմերցիոն գործունեւեր՝ շարունակութիւն

- Բեռնափոխադրման և մաքսային ծախսերը առնվազն երկու անգամ ավելացնում են գէներատորի գինը;
- Այսպիսով իզոտոպների “տնային” արտադրութիւնը կնվազեցնի զննման գինը՝ լուծելով նաև սոցիալական խնդիր:

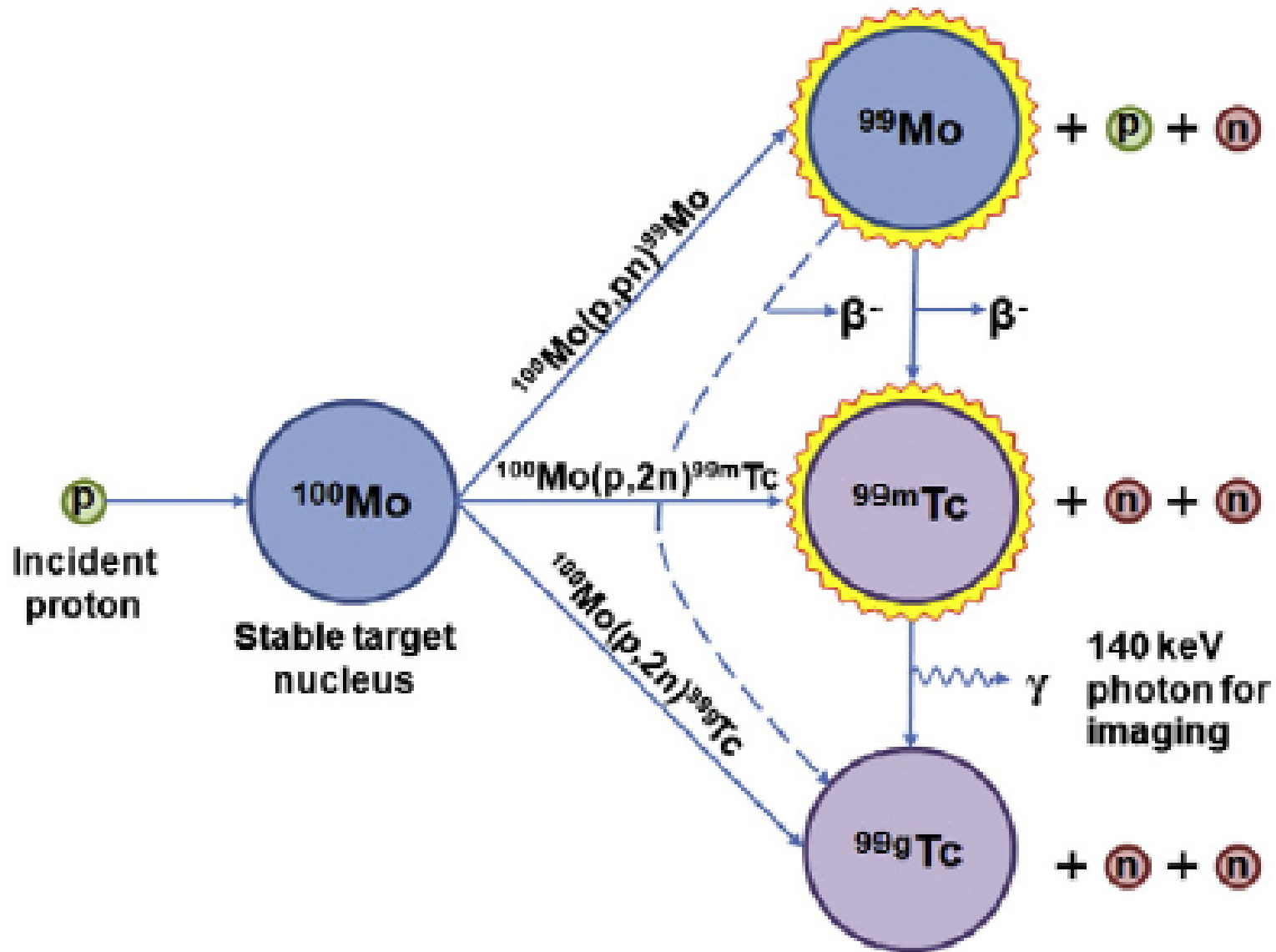
ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՄԵՐՑԻՈՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ

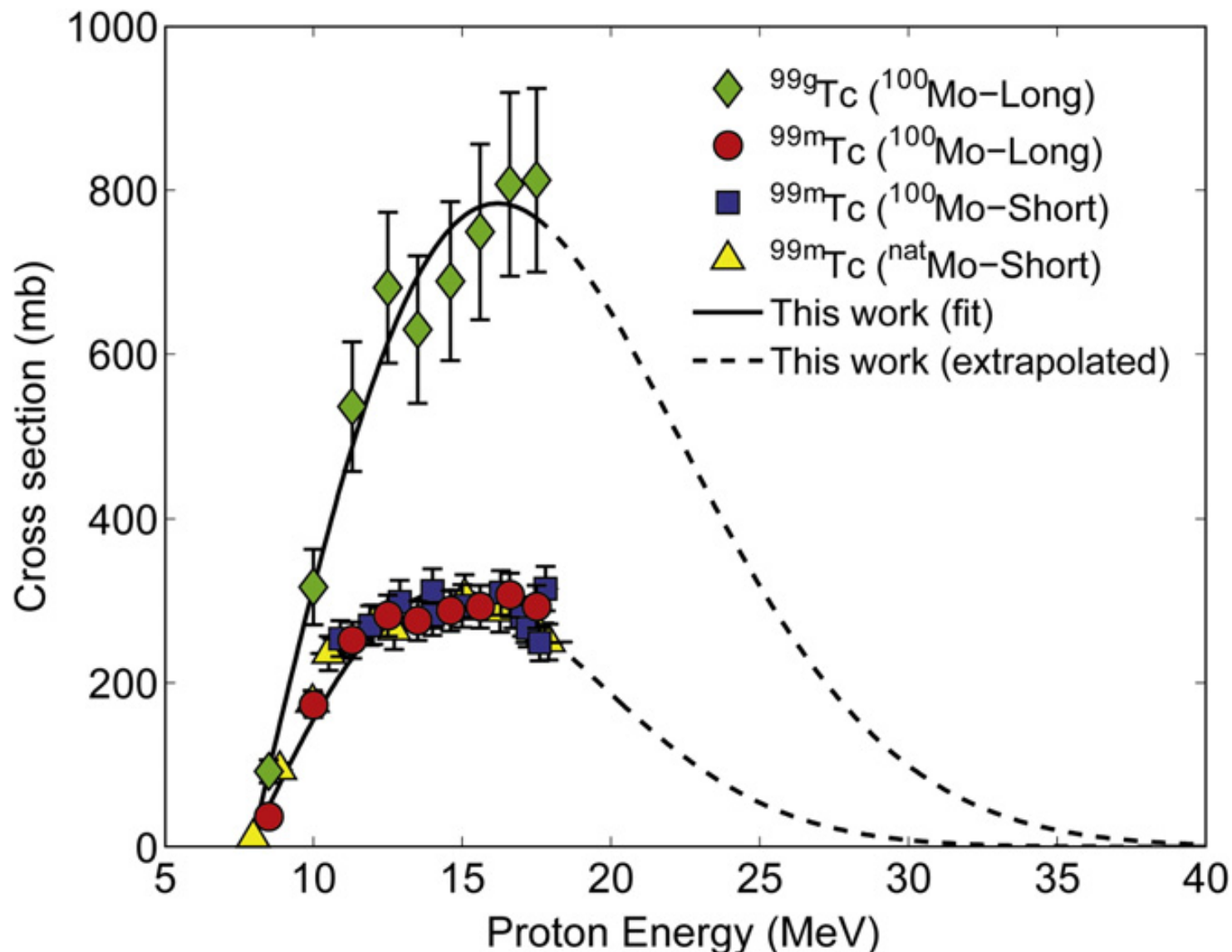
Ճառագայթվող նյութի զանգվածը	20g
Ճառագայթվող նյութի տեսակը	$^{100}\text{MoO}_3$
Ճառագայթման տևողությունը	100 ժամ
Փնջի ինտենսիվությունը	10 մկԱ

$$(3000 \text{ Բք/մկԱ} \cdot \text{մգ} \cdot \text{ժամ}) \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ մգ} \cdot 10 \text{ մկԱ} \cdot 10^2 \text{ Ժ} = 6 \cdot 10^{10} \text{ Բք} = 1.6 \text{ Կի Ճառագայթման վերջում:}$$

- Զտելով ^{98m}Tc ճառագայթված նյութից **6-7 օրվա** ընթացքում՝ հնարավոր է կենտրոնախույս գտիչով գտել՝ “կթել” մինչև **2-3 Կի** ակտիվություն: Դա նշանակում է **ամսեկան ~9-12 Կի**:
- Այդ ակտիվությունը կարող է **լրիվ փակել առկա և մոտ ապագայում Հայաստանի կլիմայականների լրիվ պահանջարկը** նույնիսկ հաշվի առնելով պահանջարկի կանխագուշակվող լուրջ աճը:

^{99m}Tc ստանալու այլընտրանքային մեթոդ՝
շրջանցելով ^{99}Mo





Cross-sections of ^{99g}Tc and ^{99m}Tc production

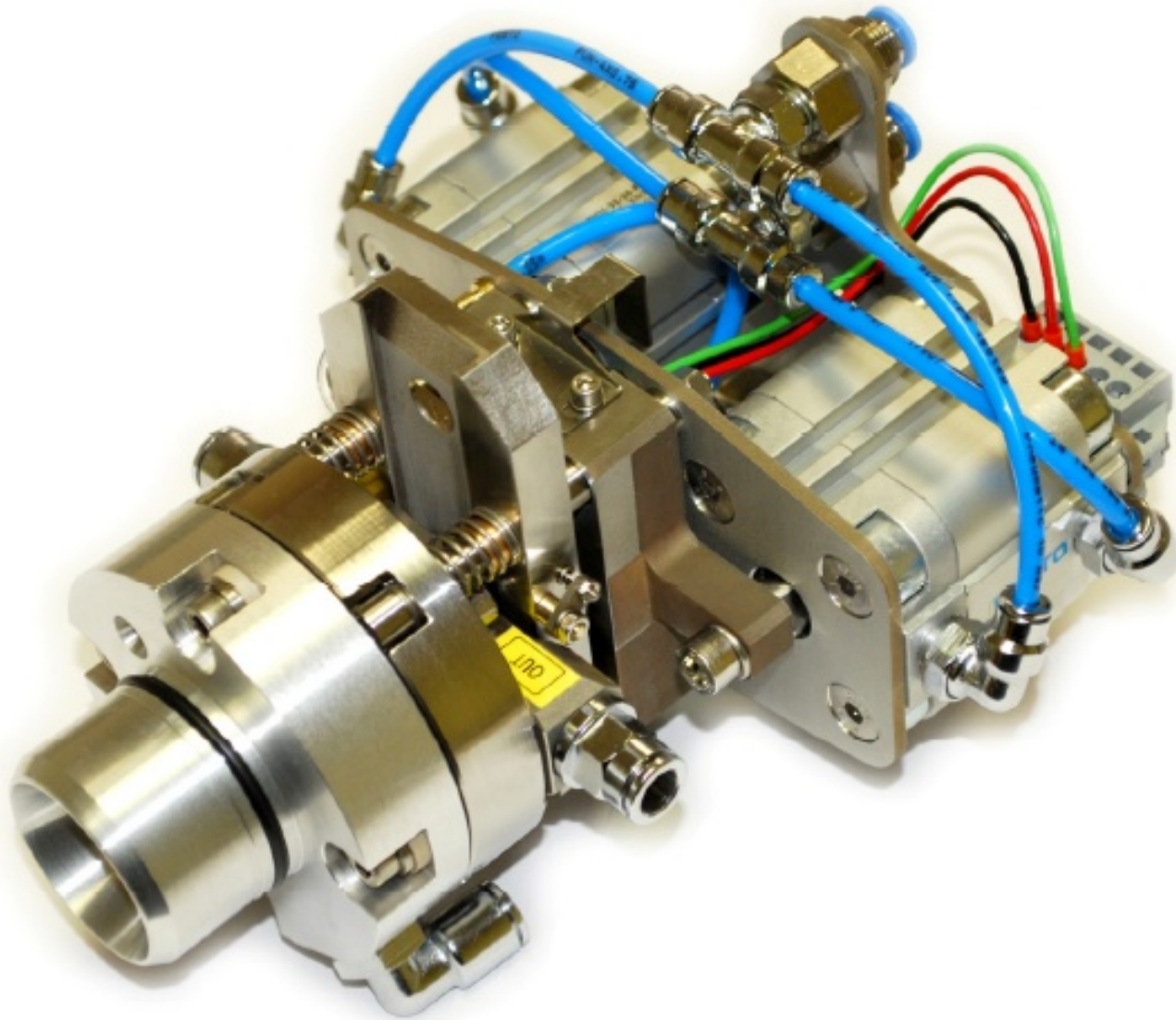
Ելքի գնահատականը

Այլ փորձարական խմբերի ստացած արդյունքները վկայում են, որ օրինակ ^{99m}Tc 1.6 TBq ելքային ակտիվությունն կարելի է ստանալ 6 ժամ, 500մկԱ, $22 \rightarrow 10$ ՄէՎ փնջով ճառագայթելիս: Մեր դեպքում դա կլինի 3 ժամ, 35 մկԱ, $17 \rightarrow 10$ ՄէՎ, այսինքն $2 \cdot 14 \cdot 1.7 = 47$ անգամ պակաս, որը նշանակում է

$$1.6 \text{ TBq} : 47 = 34 \text{ GBq} \approx 1 \text{ Ci! (EOB)}$$

Նույնիսկ հաշվի առնելով ^{99m}Tc
զտման և սպառողին հասցնելու
համար անհրաժեշտ
ժամանակը՝ այս
ակտիվությունը ավելի քան
բավարար է Հայաստանի
կլինիկաների օրական
պահանջարկը փակելու
համար:

Nirta Solid Compact (CCompact Solid Target Irradiation System)



Cooling jet
driving cylinders

Helium
cooler

Collimator

Target
guiding plate

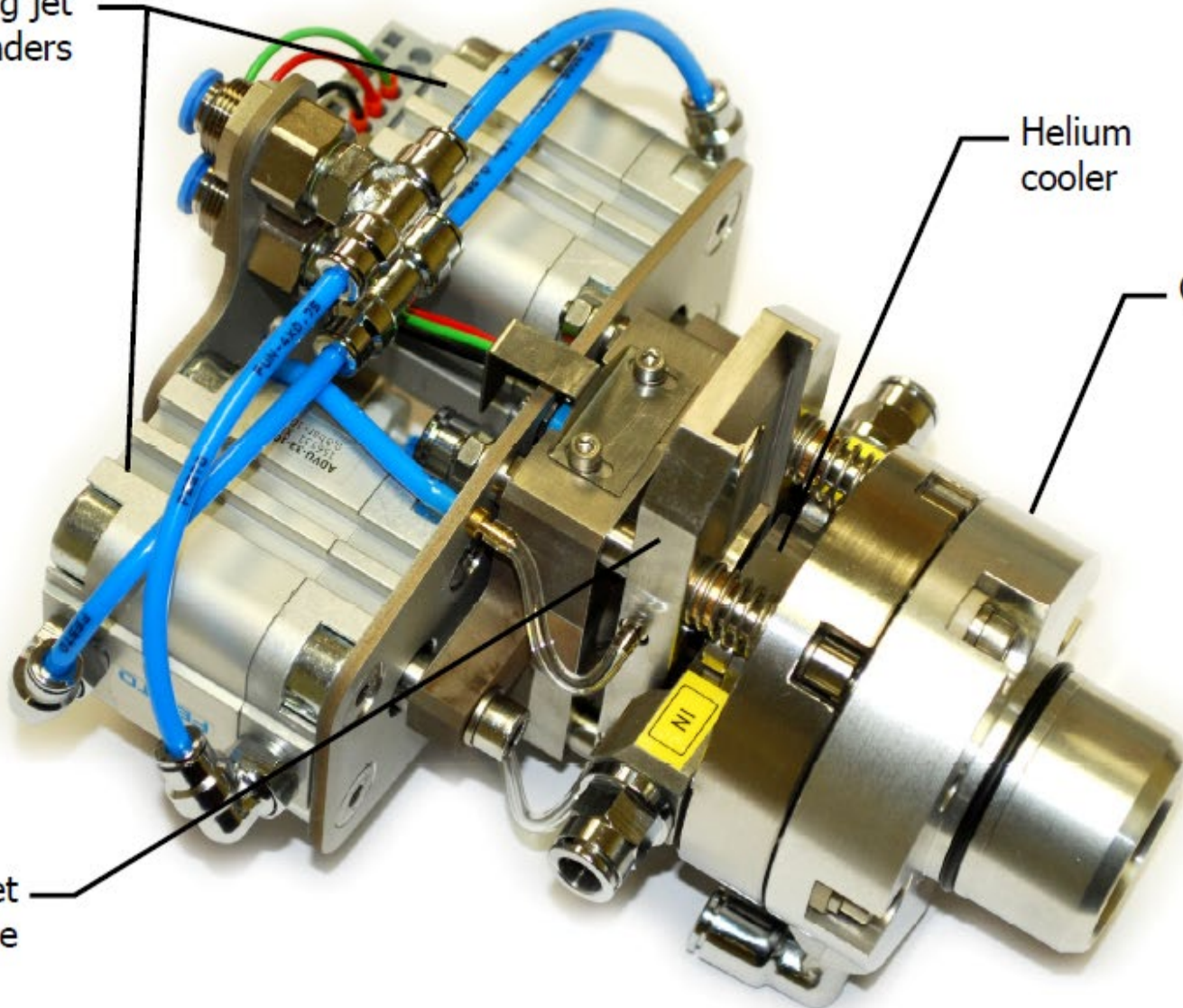
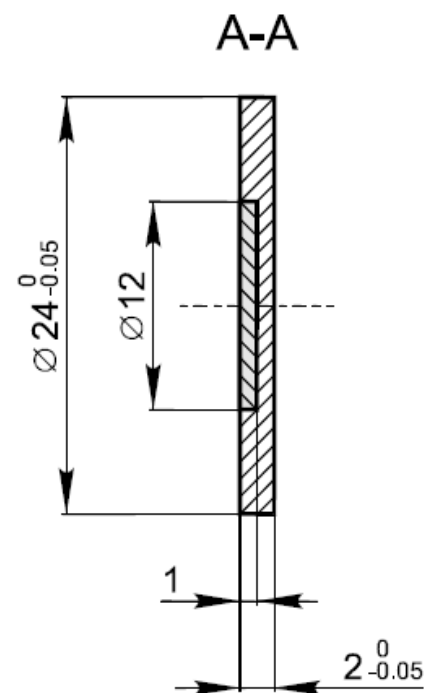
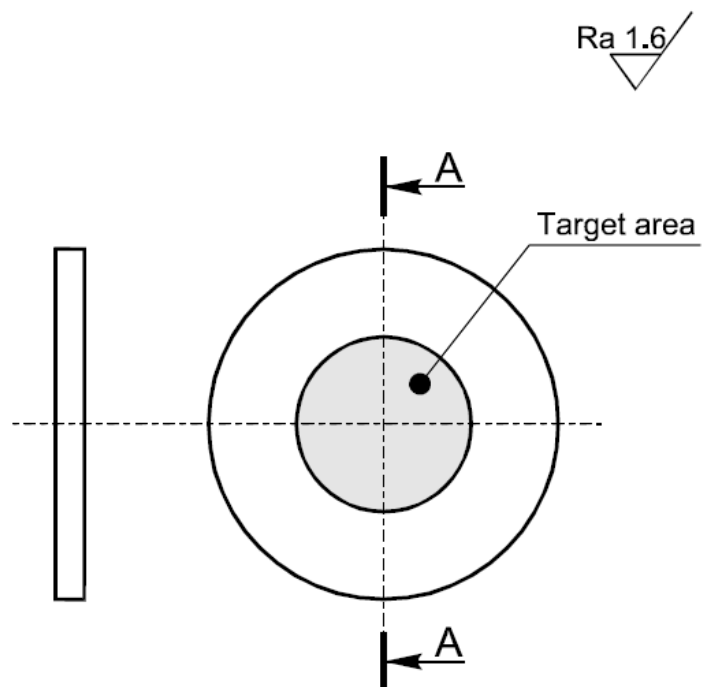


Table 1.1. Summary of technical characteristics.

Specifications
Height: 126 mm
Width: 175 mm
Length: 194 mm
Mass: 3.0 kg
Performance
Max. beam power: 500 W
Min. beam spot: 8 mm FWHM
Target disk size: $\varnothing 24 \times 2 \text{ mm}^2$
Effective target spot: $\varnothing 12 \text{ mm}$
Cooling fluids consumption
Helium: $60 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ @ 0.2 MPa
Deionized water: $16 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Coolant pressure: 0.5 MPa
Compressed air
Oil-free clean air @ 0.5 MPa
Operating conditions
Temperature: from +15 to +30 °C
Humidity: from 0 to 75 % RH



Tolerances:
ISO 2768-f

Scale 2:1