

ԻԶՈՏՈՊՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԵՎ  
ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱԺԻՆ

*ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԵՏՎՈՒԹՅՈՒՆ,  
ՊԼԱՆՆԵՐ*

Բաժնի ղեկավար  
Ալբերտ Ավետիսյան

Հունիսի 1, 2019

# ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

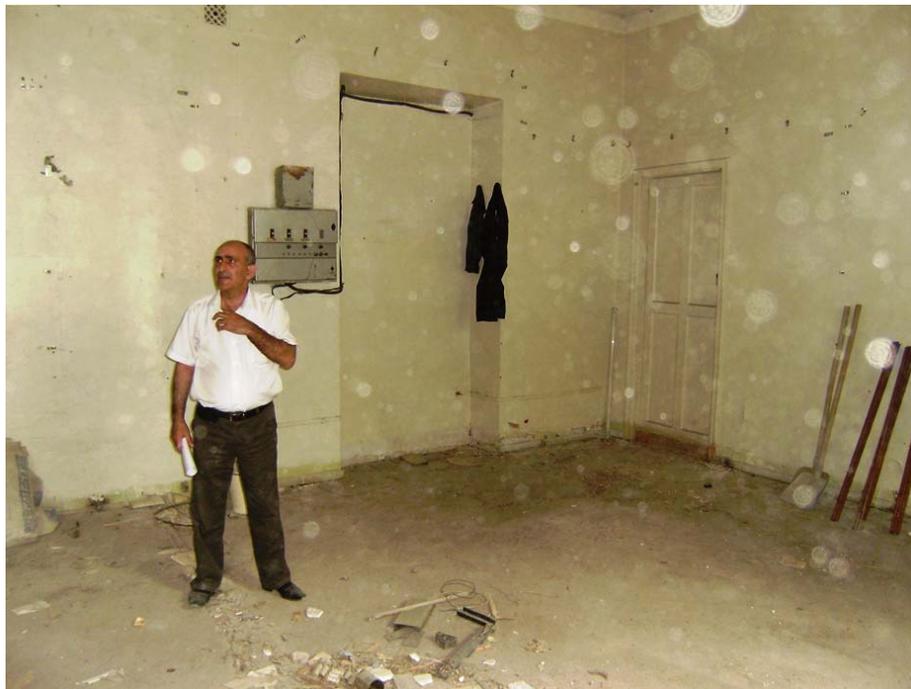
1. Բաժնի պատմությունը
2. Գործունեության ուղղությունները
3. Արդյունքները
4. Նախագծեր, համագործակցություններ,
5. Հրապարակումներ, պաշտպանություններ,  
ասպիրանտներ
6. Ուսումնական գործունեություն
7. Առաջիկա պլաններ
8. Եզրակացություն

## *Պատմություն*

Բաժինը հիմնվել է **2010** թվականին **ՄԳՏԿ A1444** նախագծի շրջանակներում կատարվող աշխատանքների հիման վրա:

Ի սկզբանե բաղկացած էր **ռադիոիզոտոպների, ռենտգենյան սարքաշինության, ցածր ջերմաստիճանների և կիրառական միջուկային ֆիզիկայի** խմբերից: Ցավոք, հետագայում ցածր ջերմաստիճանների խումբը տնօրինության որոշմամբ վերացվեց:

Բաժնին հանձնվեց **15** մասնաժեռերի կեսը՝ վթարային վիճակում: ՄԳՏԿ աջակցությամբ կատարվեց ժեռերի լրիվ վերանորոգում, ուղիացիոն անվտանգության պահանջներից ելնելով սենյակների մի մասի վերապլանավորում, կահավորում, անցկացվեց լոկալ ջեռուցում և հիմնվեց արտաֆին տեսադիտում: Անձնական միջոցներով և աշխատակիցների ջանքերով բարեկարգվել է շրջապատող տարածքը, հիմնվել է մրգատու այգի և ծաղկանոց:







**ISTC** և **CNCP** միջոցներով գնվեցին  
ժամանակակից դետեկտորներ **NaI(Tl)**  
**ORTEC** և **HP Ge**: Կահավորված է “թեժ  
սենյակ” և ինֆնուրուլյն պատրաստված են  
“թեժ խցեր” ուղիղաճի ու տեխնոլոգիաների  
բոլոր պահանջներին համապատասխան:

**Nal(Tl) detector - ORTEC produced  
type 905-4 (3" x 3" – diameter and  
length):**



## High Purity Germanium detector - ORTEC produced



## Գործունեության հիմնական ուղղություններն են՝

- Բժշկական իզոտոպներ ստանալու տեխնոլոգիաների մշակում, փորձնական արտադրության հնարավորության ուսումնասիրություն.
- Դետեկտորների հետազոտում, մասնավորապես նեյտրանային դետեկտորների ուսումնասիրություն.

## Գործունեության հիմնական ուղղություններն են՝ (շարունակություն)

- Ռենտգենյան սարքաշինության բնագավառում՝ սցինտիլյացիոն բյուրեղների ռադիացիոն կայունության հետազոտում բաղադրությունից կախված, Դեբայ-Շերերի դիֆրակտոմետրի ստեղծում.
- Ակտիվ մասնակցություն **C18** ցիկլոտրոնի թողարկմանը և հետազայում շահագործմանը:

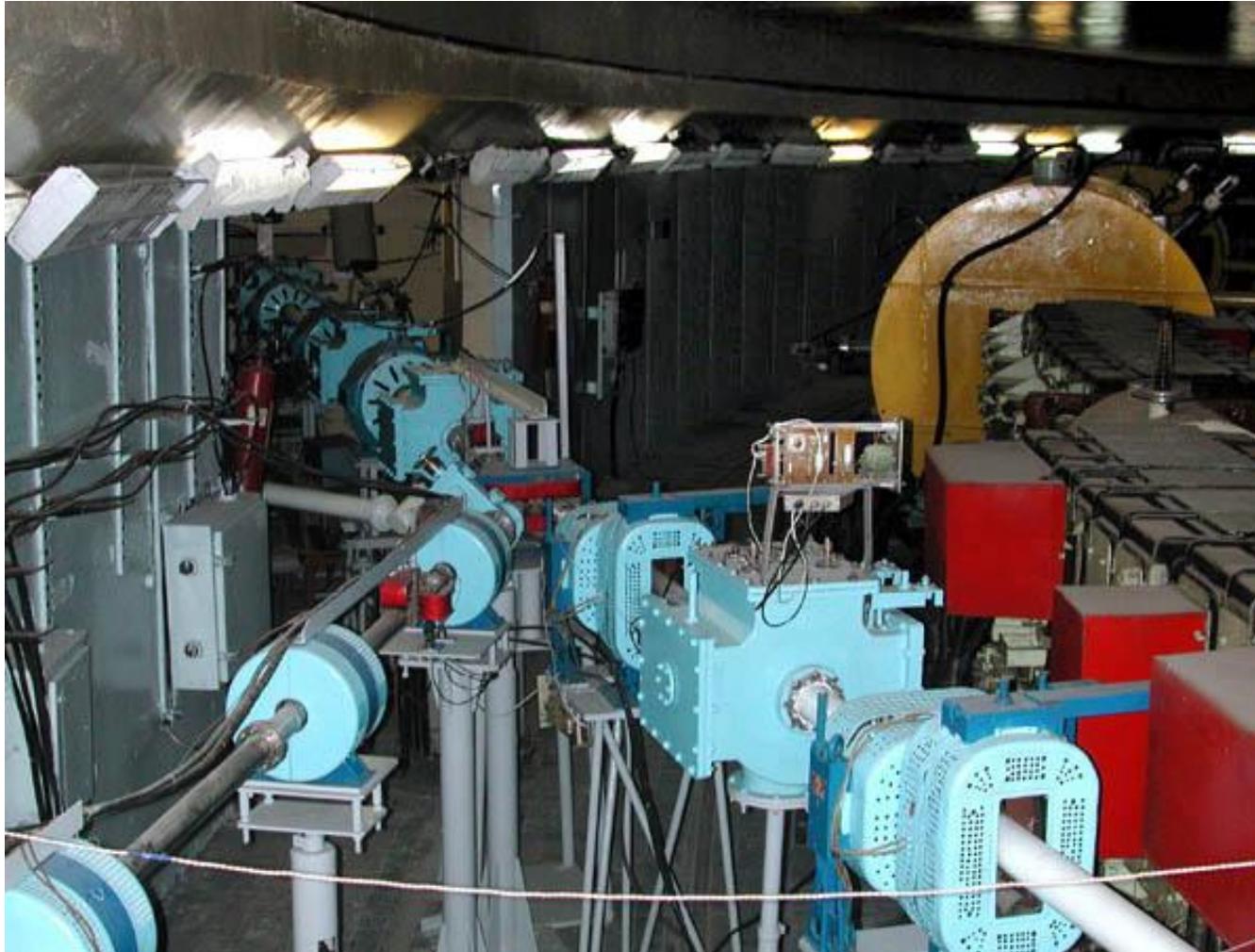
## Գործունեության հիմնական ուղղություններն են՝ (Շարունակություն)

- **C18** ցիկլոտրոնի վրա կատարվելիք հետազոտությունների նախապատրաստում և մասնակցություն.
- Ուսումնական ծրագրեր՝ ուսանողների և երիտասարդ մասնագետների պատրաստում, լաբորատոր աշխատանքների ստեղծում և իրականացում.

Առաջին փուլերում հետազոտությունները կատարվում էին գծային արագացուցչի ինժեկտորի վրա: Մշակվեց ֆոտոմիջուկային մեթոդներով  $^{99m}\text{Tc}$  ստանալու տեխնոլոգիան: Աշխատանքները հաջող ավարտվեցին, արդյունքները տպագրվեցին բարձր վարկանիշ ունեցող ամսագրում: Սակայն փնջի ոչ բավարար ինետանիվությունը թույլ չտվեց սկսել փորձնական արտադրություն:

**Technetium-99m**  $^{99m}\text{Tc}$  ( $T_{1/2} = 6\text{h}$ ;  
 $E_{\gamma} \sim 140\text{ keV}$ ) հայտնի է որպես  
ախտորոշման համար ամենա կիրառելի  
ռադիոիզոտոպ: Ռադիացիոն մեթոդներով  
աշխարհում կատարվող  
հետազոտությունների ավելի քան **80%**  
կատարվում են հենց  $^{99m}\text{Tc}$  միջոցով.

# *LUE50 LINEAR ELECTRON ACCELERATOR*

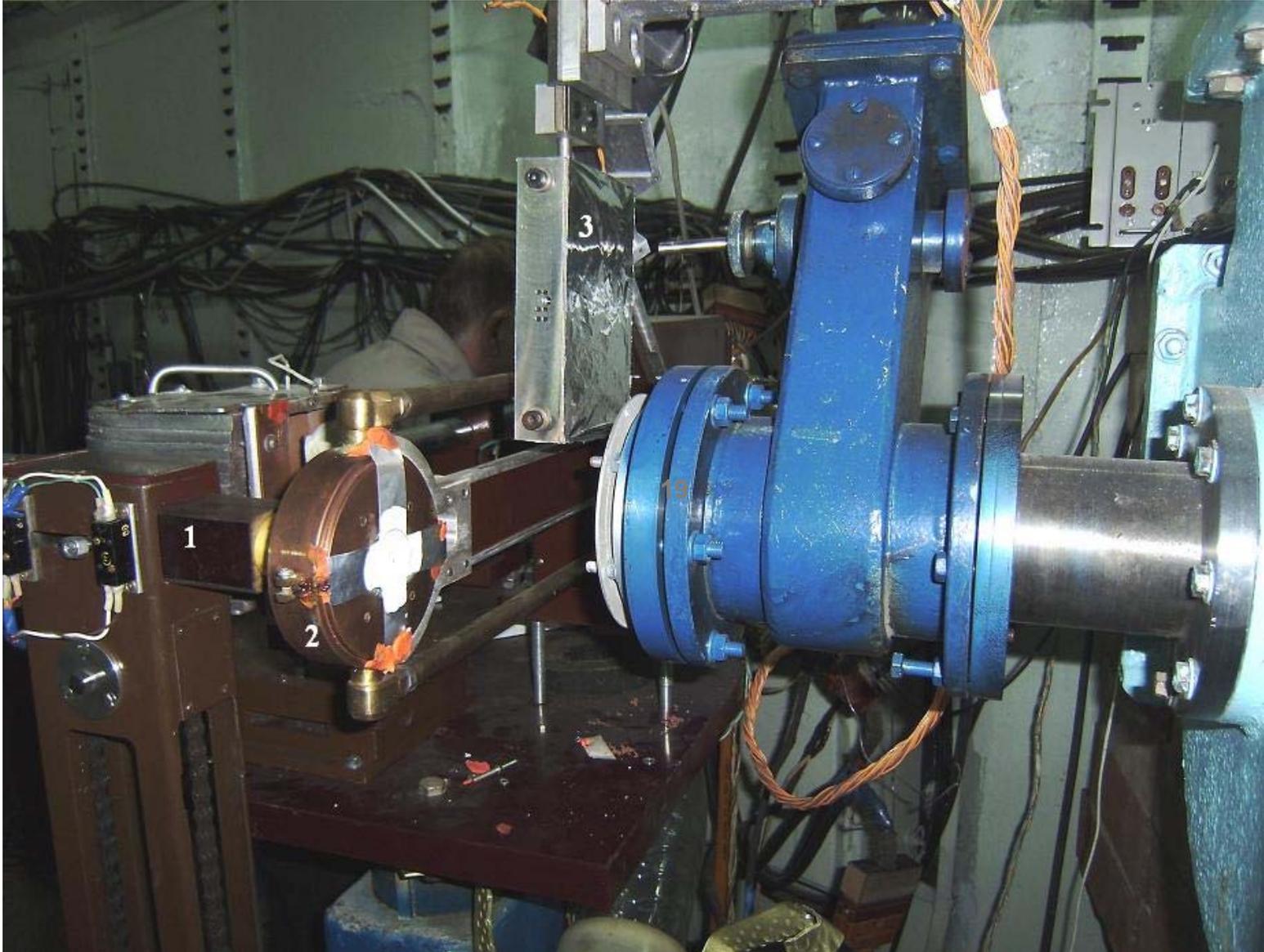


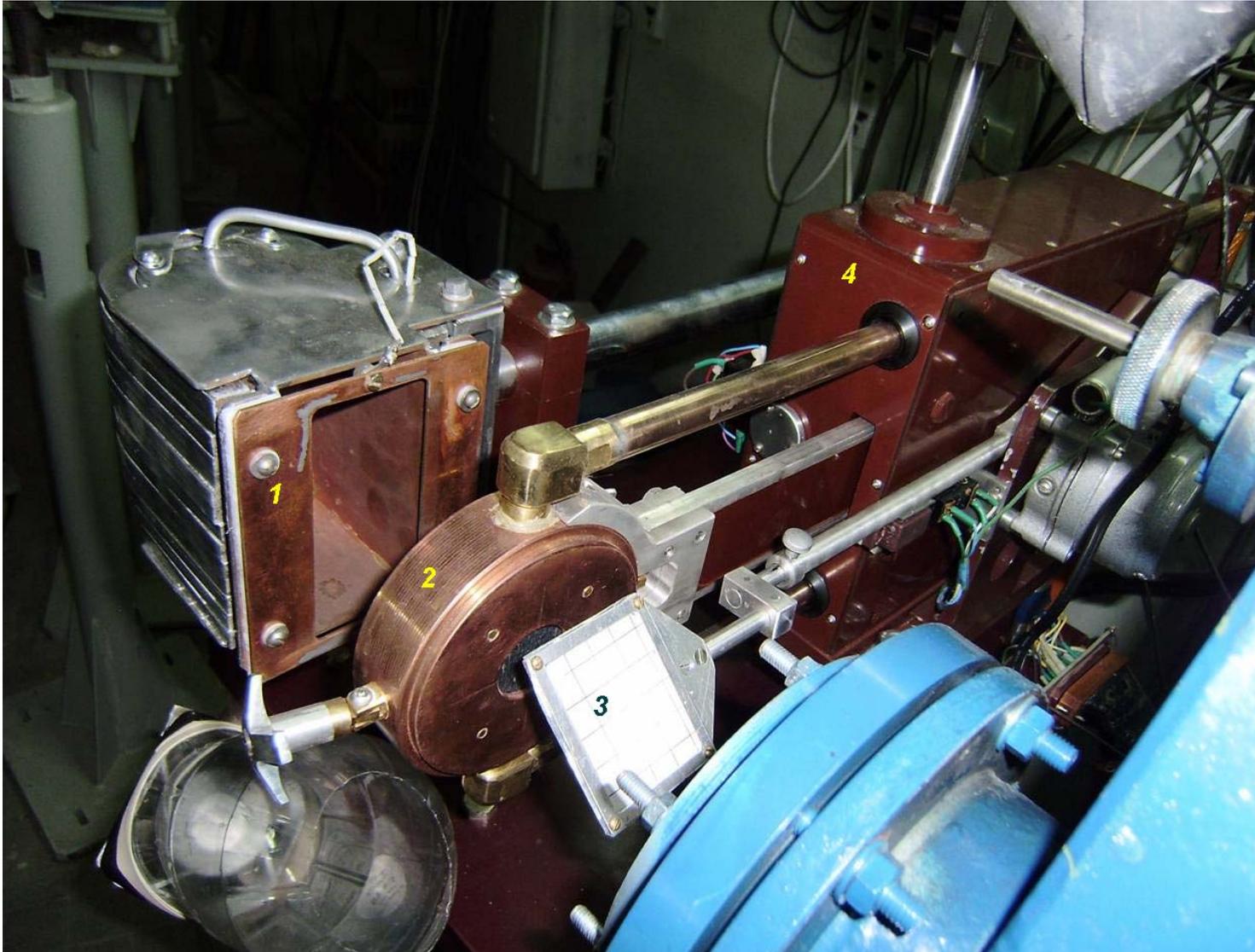
# *NEW HIGH EMISSION CATHODE IN A GUN*

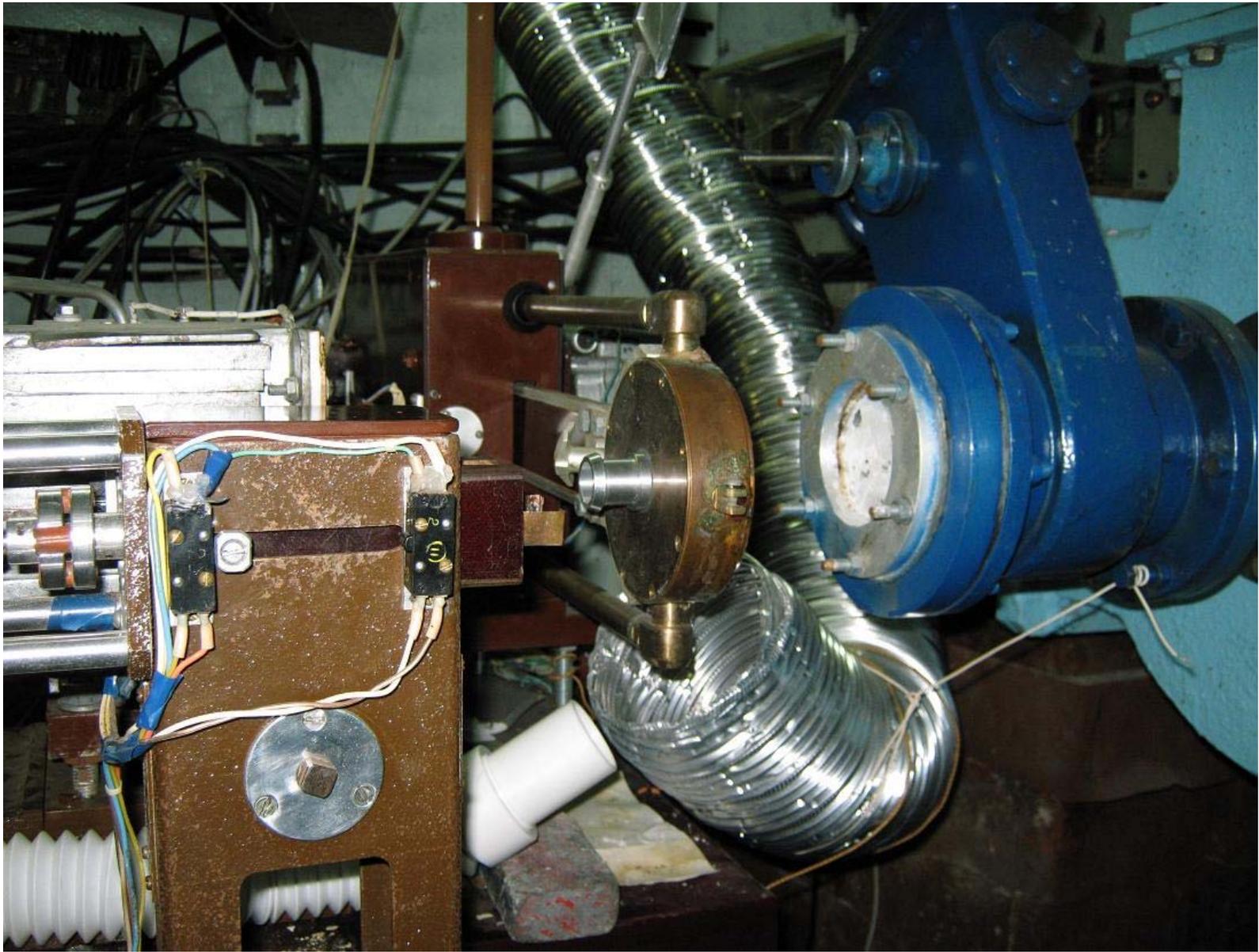


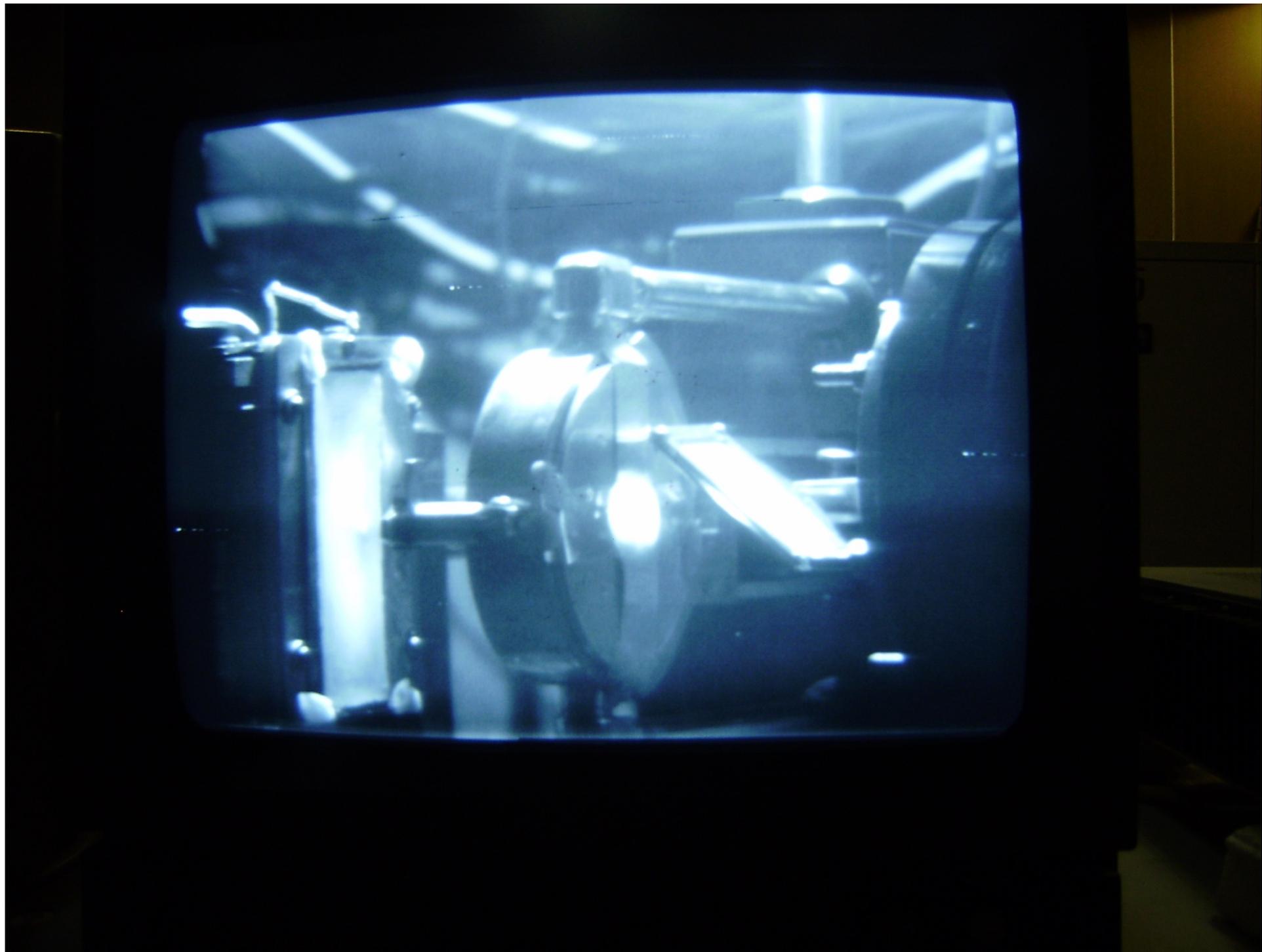
# Parameter of improved accelerator

<b>Parameter</b>	<b>before</b>	<b>after</b>
<b>Electron energy (MeV)</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
<b>Beam current, <math>\mu\text{A}</math></b>	<b>4.5</b>	<b>9.8</b>
<b>Beam size on the target, mm</b>	<b>20</b>	<b>13</b>

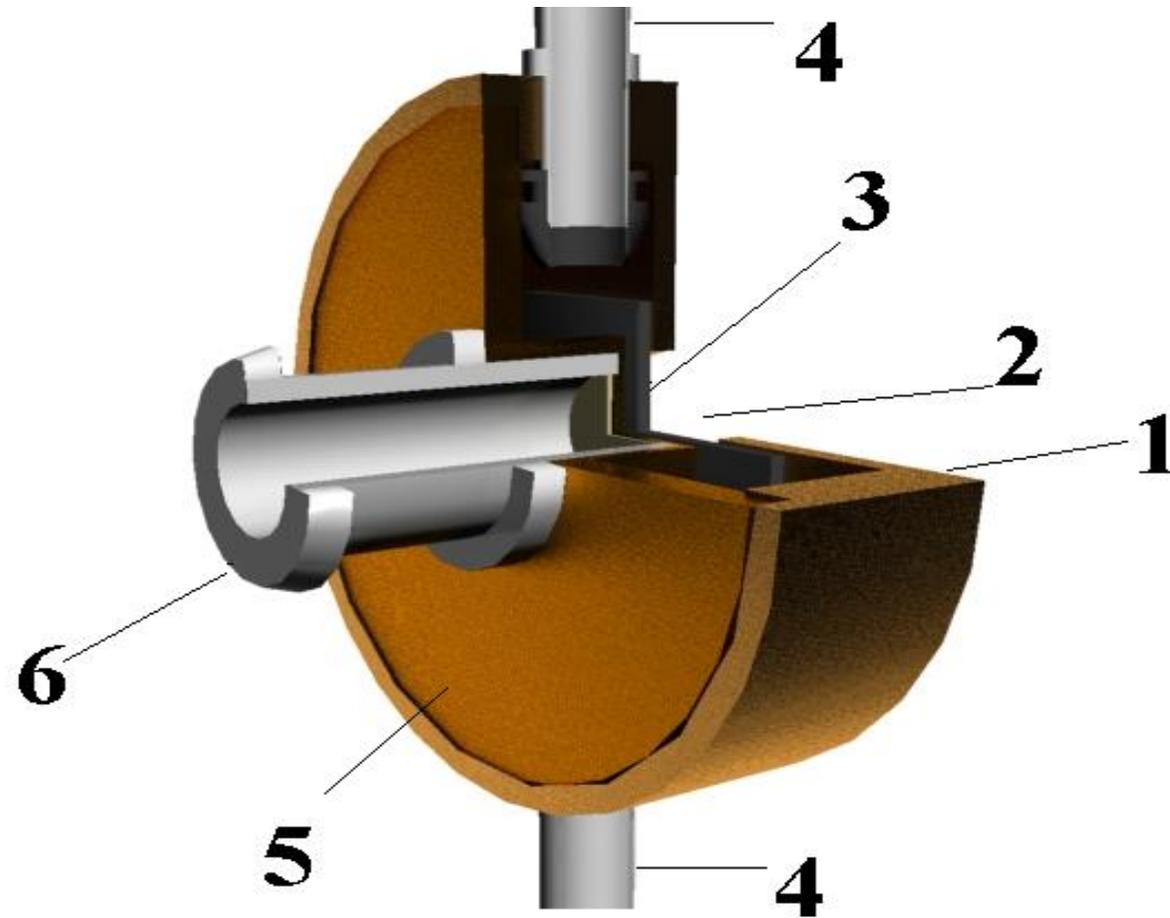








# Target module



1 - frame, 2 - beam entrance window, 3 - tantalum plate, 4 – water cooling pipe, 5 – cover plate, 6 - target capsule

***Target capsule for MoO<sub>3</sub> irradiation***



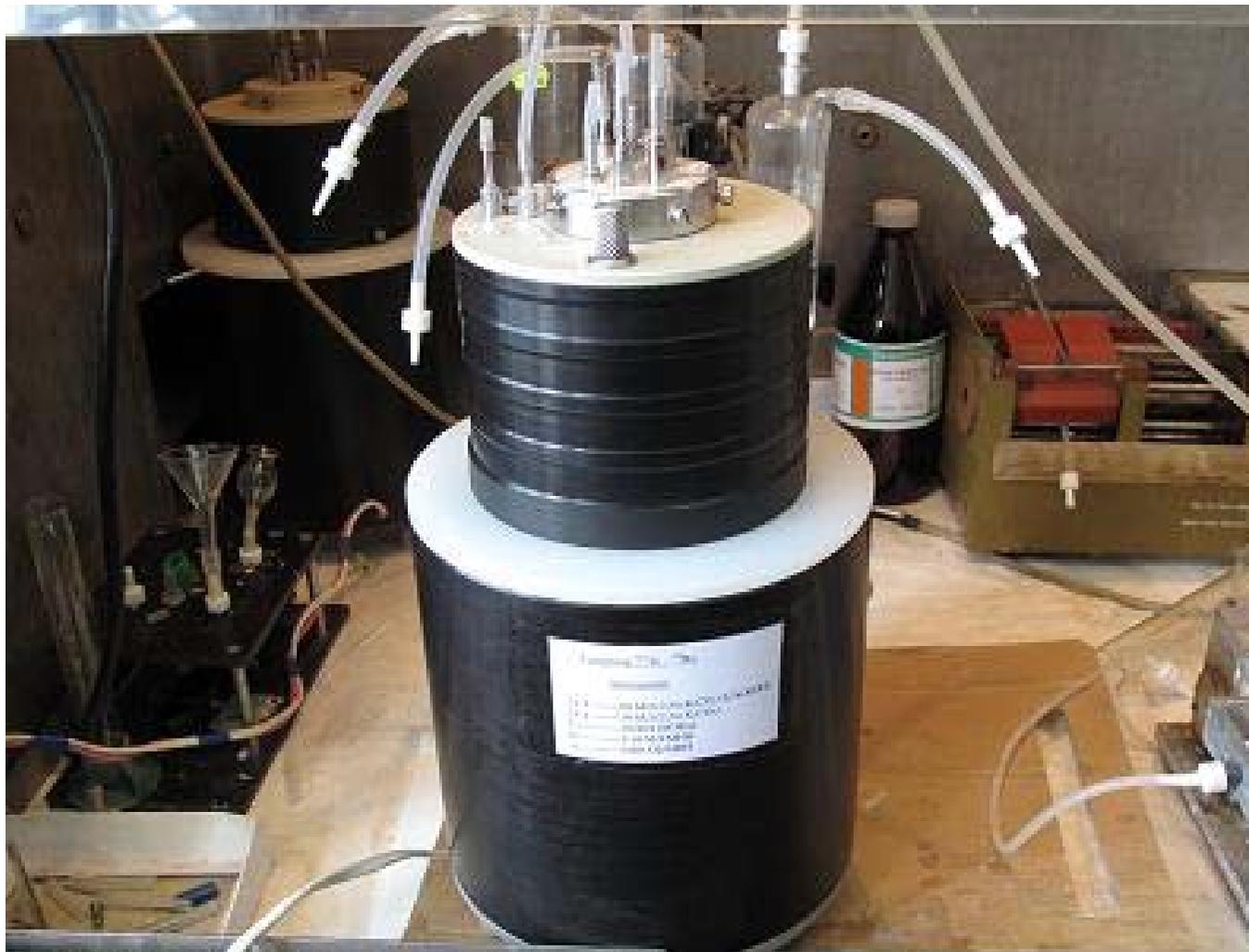
# IRRADIATION MODE

The target – natural Molybdenum trioxide, weight up to 20 g.

The electron beam energy  $E=40\pm 1$  MeV, intensity on the target entrance window was  $\sim 9.5-10.5$  mA, beam size  $< 15$  mm.

One of the main parameter by production of radioisotopes under electron beam is the specified activity normalized to mass unit of irradiated material, unit of beam current and unit of time –  $\text{Bq/mg}\cdot\mu\text{A}\cdot\text{h}$ . The data published from different experiments have very big dispersion – from **90 to 3200  $\text{Bq/mg}\cdot\mu\text{A}\cdot\text{h}$** . Results from presenting experiment is  **$\sim 3000 \text{ Bq/mg}\cdot\mu\text{A}\cdot\text{h}$**  which is in close to the maximum value of world data.

# Tc direct extraction method (MEK)

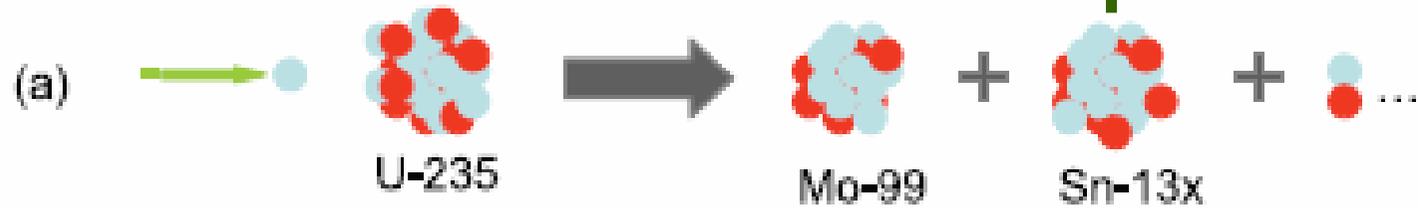






***R.Avagyan, A.Avetisyan,  
I.Kerobyan,R.Dallakyan,  
"PHOTO-PRODUCTION OF  
99Mo/99mTc WITH ELECTRON  
LINEAR ACCELERATOR BEAM",  
Nuclear Medicine and Biology,  
Vol. 41 (2014), p.p. 705-709.***

# Different methods of Mo/Tc production

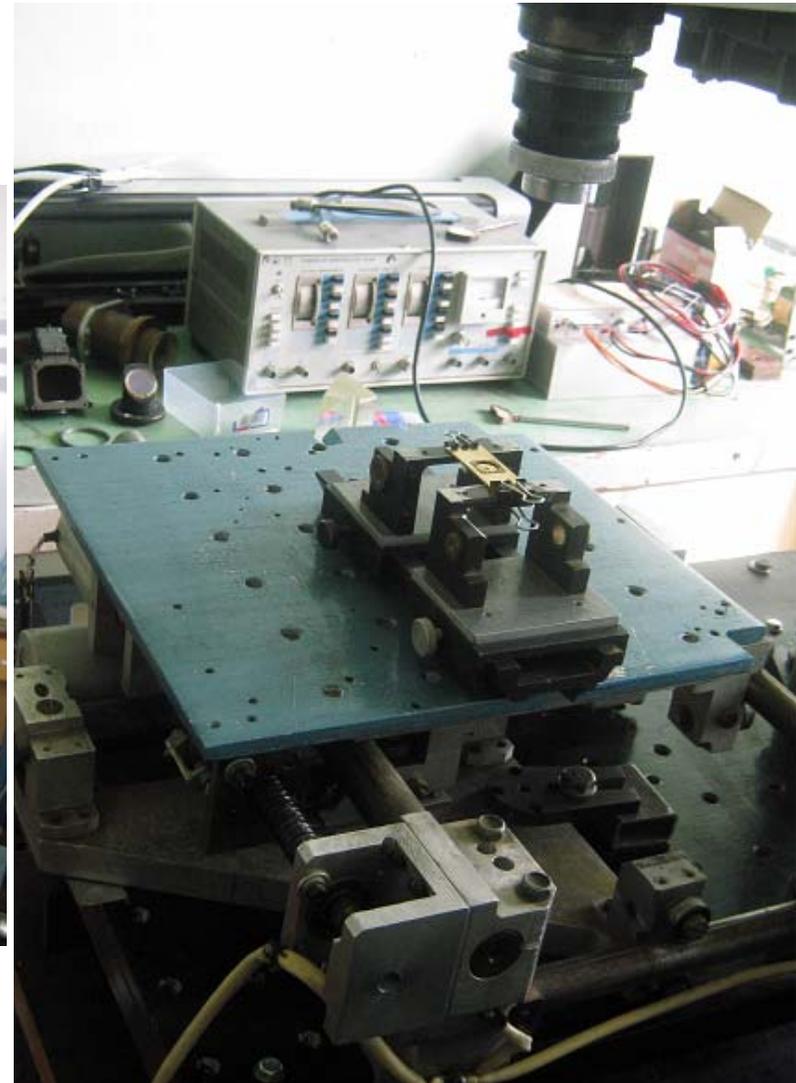


Երբ **Իզոտոպների արտադրության Կենտրոն** կառուցելու և այնտեղ **C18** ցիկլոտրոն տեղադրելու մասին որոշում ընդունվեց, բաժնի գործունեությունը ուղղվեց պրոտոնային փնջով **<sup>99m</sup>Tc** ուղղակի մեթոդով ստանալու մեթոդներին: Այդ նպատակով լրիվ ձևափոխվեց և վերամշակվեց թիրախի պատրաստման տեխնոլոգիան, մշակվեց թիրախի մշակման լազերային տեխնոլոգիան:

Մշակվել է թիրախի կրիոգեն հովացման տեխնոլոգիան պրոտոնային փնջի ավելի բարձր արժեքներով աշխատելու նպատակով:

Միժամանակ կատարելագործվում են նառագայթված թիրախից ստացված  $^{99m}\text{Tc}$  զտման տեխնոլոգիաները:

Նաև մշակվել է ճառագայթված թիրախից  $^{100}\text{Mo}$  վերականգնման տեխնոլոգիան և սարքավորումը՝ բազմակի օգտագործման համար:



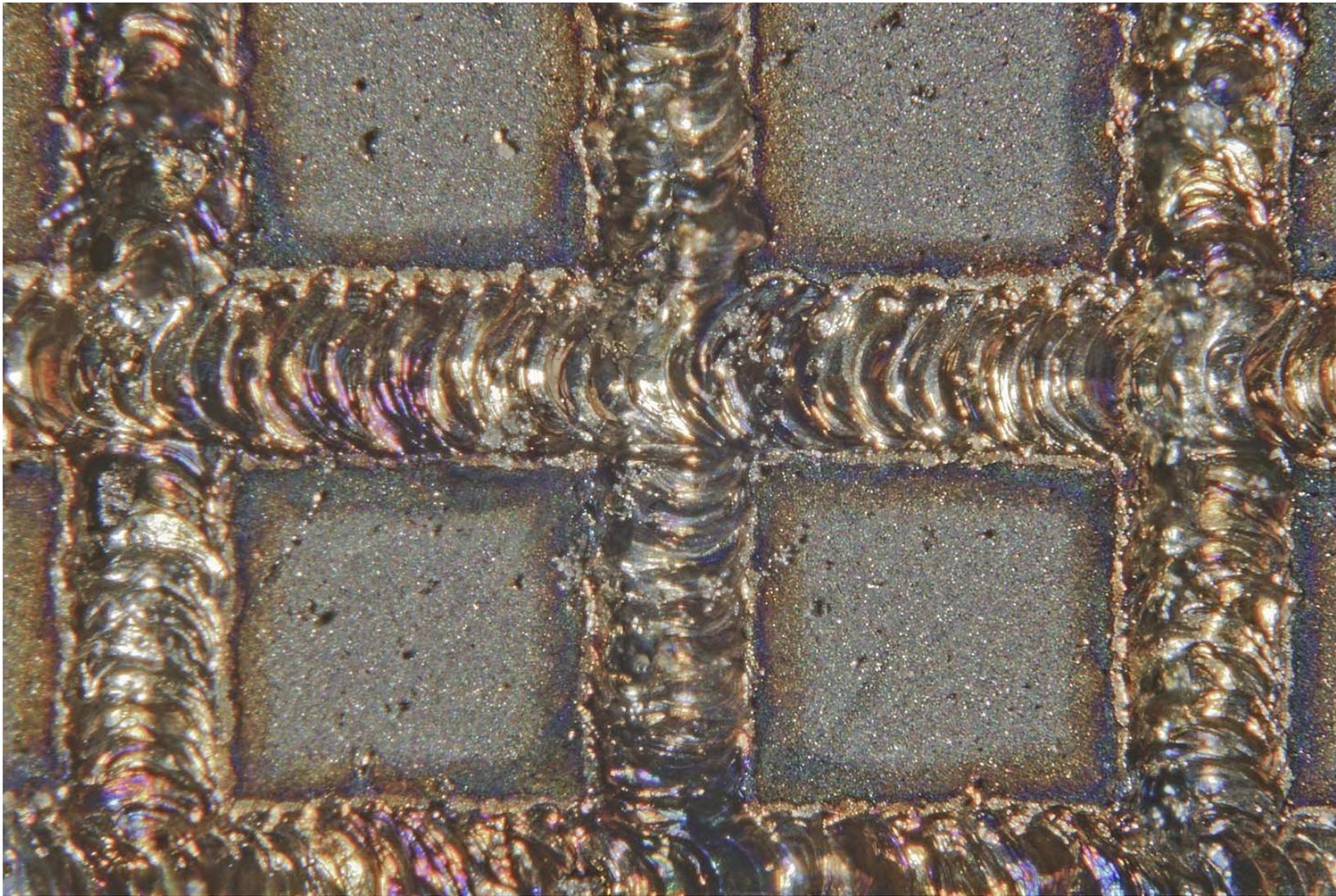
**Left - laser layout for Mo pellet processing. 1 – solid state laser, 2 – beam expander. Right - XY movable table with step motors controlled by computer.**

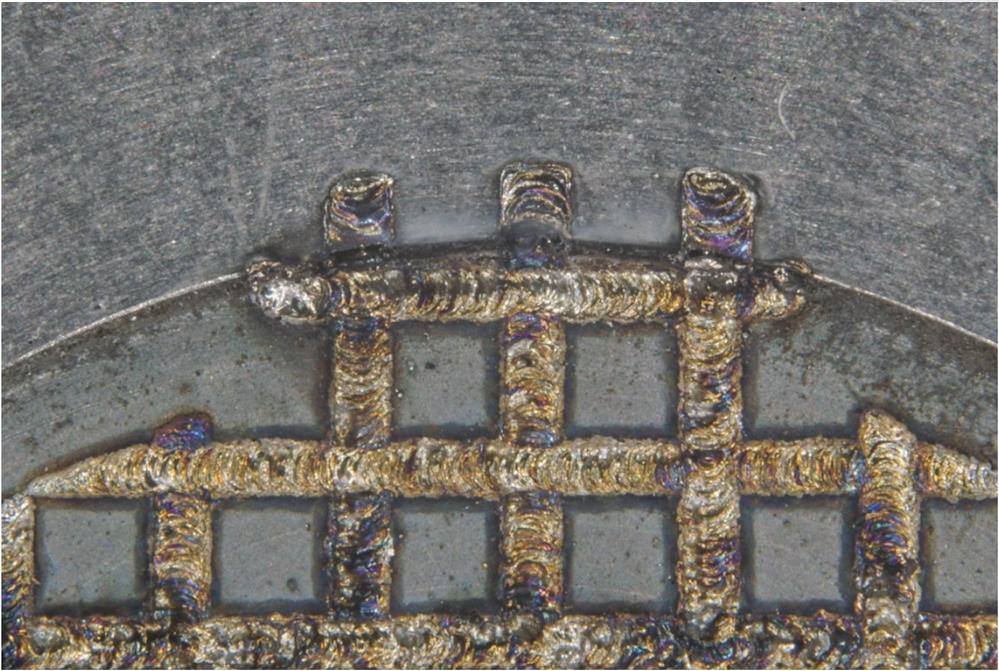
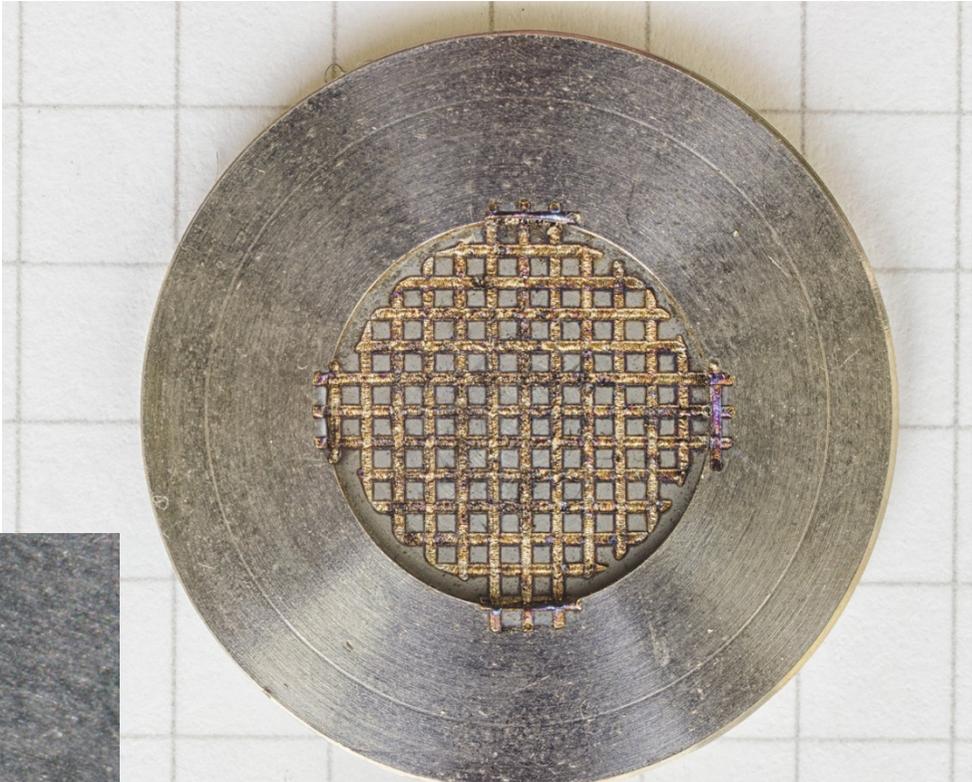
**The layout for Mo pellet processing is based on the solid state pulse-periodic laser with following parameters:**

<b>Wave length</b>	<b>1.06 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Pulse energy</b>	<b>250 mJ</b>
<b>Repetition frequency</b>	<b>40 Hz</b>
<b>Pulse length</b>	<b>200 <math>\mu\text{s}</math></b>



Then one side of that pellet was processing under **laser beam**. These grooves of the Mo powder became to **melted metallic solid state** are working **like metallic fixtures in concrete** providing enough **high mechanical strength** and **thermal conductivity**.





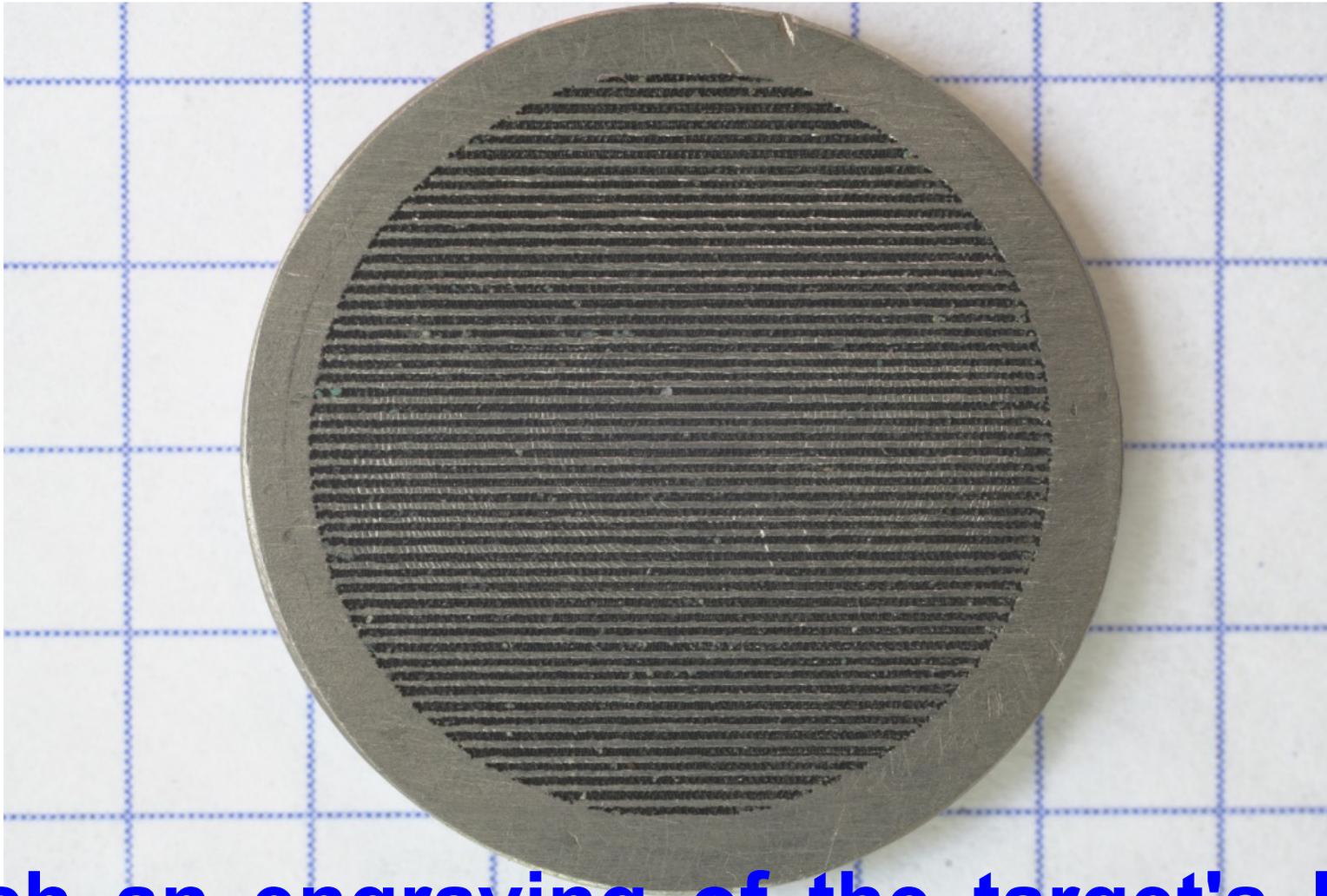
- **Material – titanium foil with ~300μm of thickness, processed by laser beam.**



**Titanium disc with structured net and pressed Mo powder**

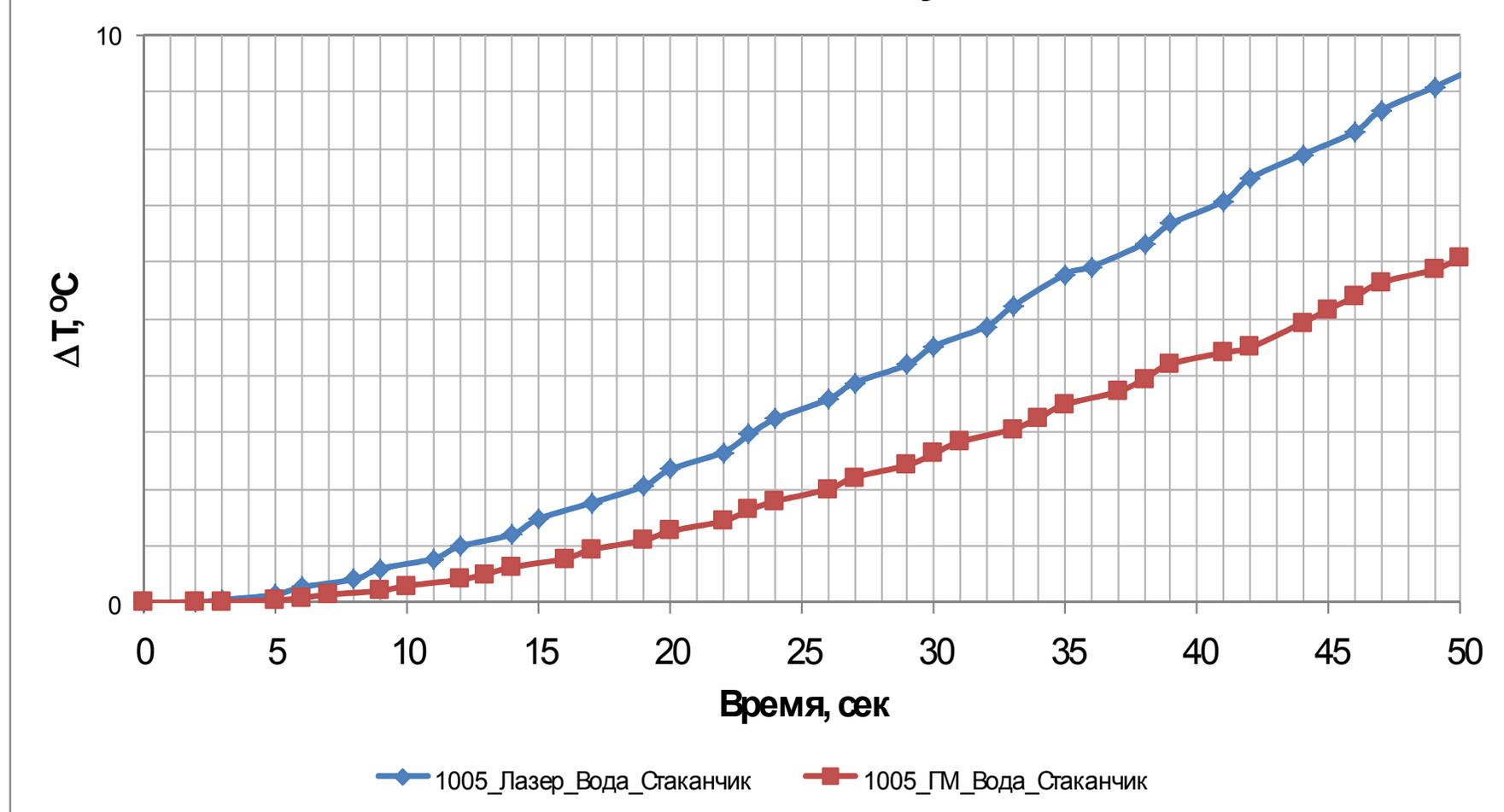


**NIRTA solid target** technology provides the target cooling by a **helium flow on the front side** and by a **water stream under a pressure of about 8 bars on the rear side** during the irradiation. That provides around **500 W thermal power utilization** which means for beam energy  **$E_p=18$  MeV** the maximum intensity  **$I_p \sim 30$  mA** while the C18 cyclotron could provide **up to 150 mA**. One of the ways to increase the cooling efficiency is to decrease the temperature of cooling element dramatically  e.g. up to liquid nitrogen temperature



**Such an engraving of the target's back dramatically increases the contact surface with cooling water and thus improves heat transfer**

## Темп разогрева воды над гладкой и гравированной мишенями. Начальный участок.



**Dependence of the heating rate of a fixed volume of water on smooth and engraved surfaces**

## ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՉԱՓՈՒՄ

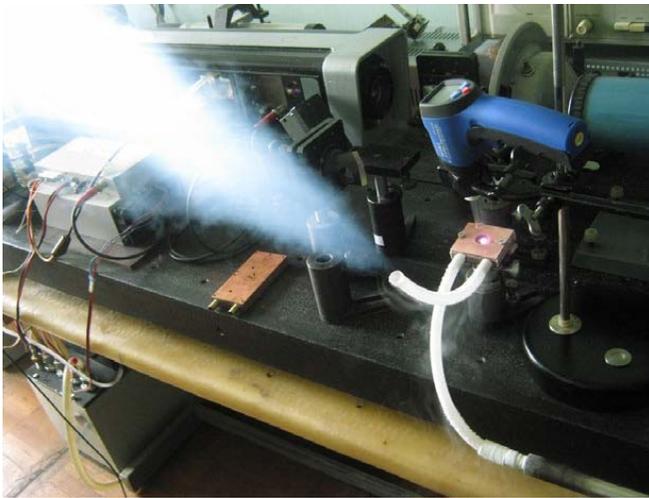
Առաջին փուլում թիրախի մակերեսի ջերմաստիճանը փորձում էինք չափել ինֆրակարմիր դիստանցիոն ջերմաչափով:

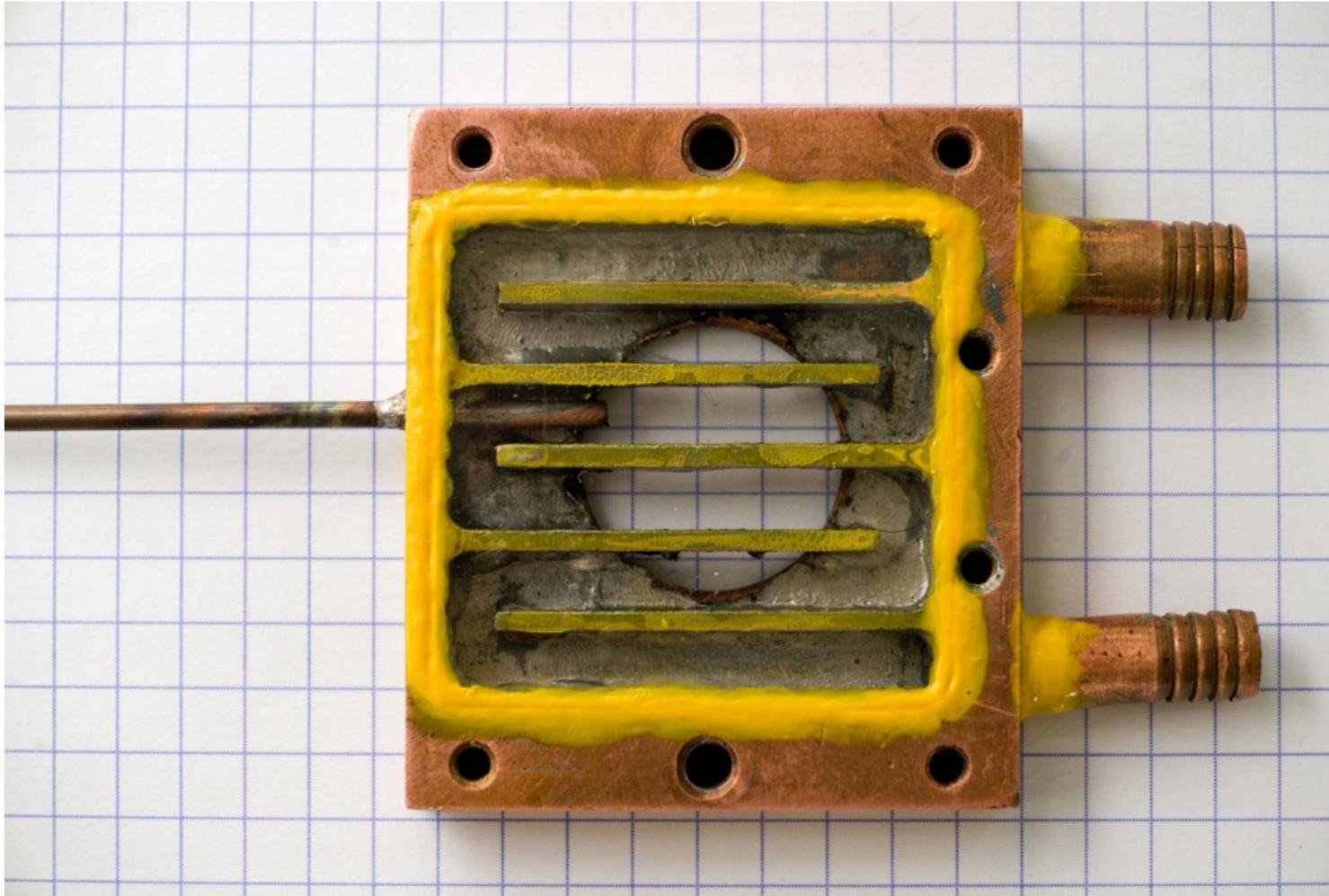
Սակայն մակերեսից անդրադարձող լույսը աղավաղում էր չափման արդյունքները: Եվ որոշվեց կատարել ուղղակի չափում՝ ջերմային գույգի – **термомпара** – միջոցով:



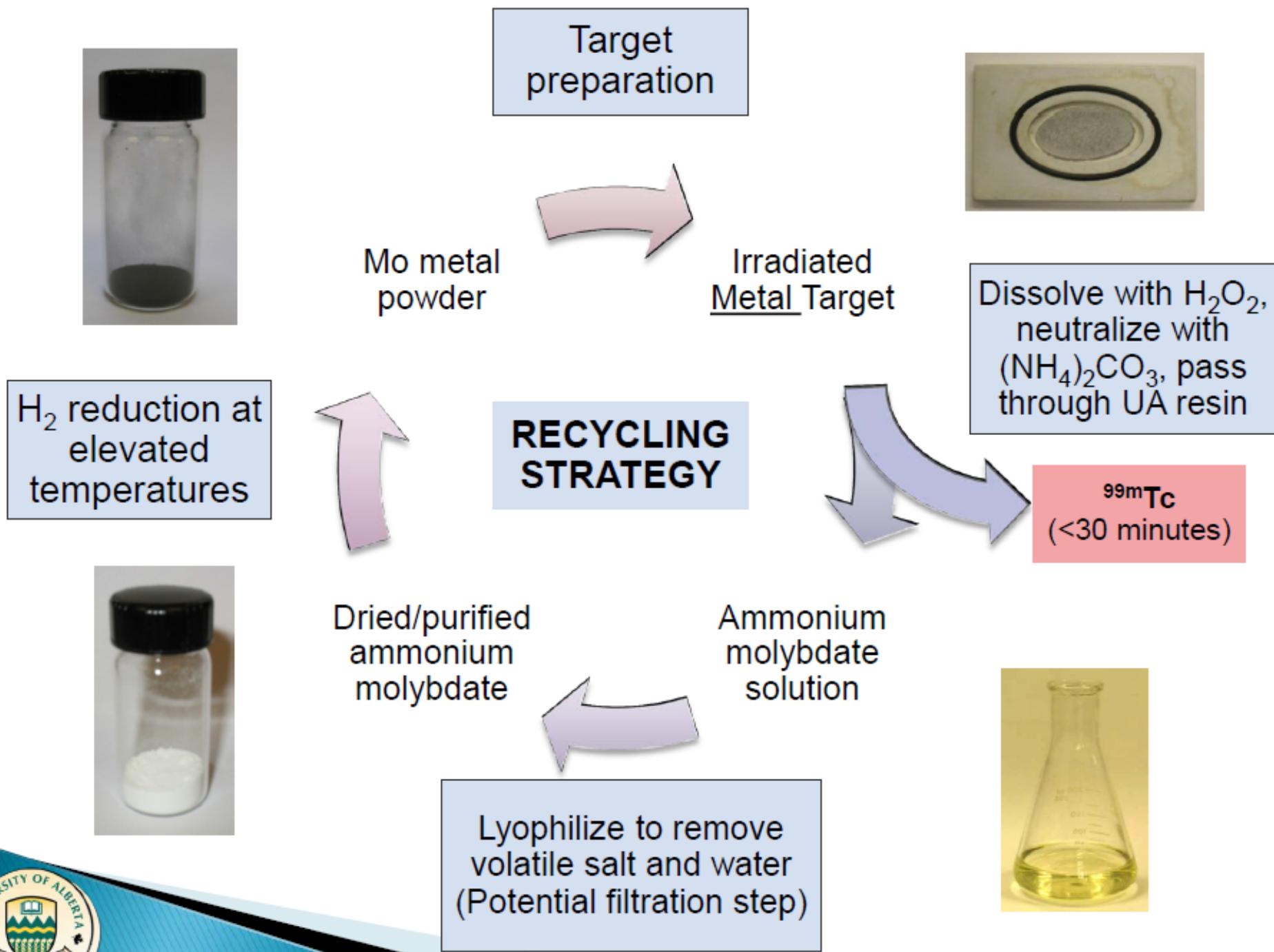


Կրիոգեն հովացման մեթոդի ստուգման համար կառուցվեց ստենդ, որում փնջի իմիտացիան կատարում էր լազերային փունջը: Պինդ մարմնային լազեր **CW 1.06** մկմ ալիքի երկարությամբ և առավելագույն **50 W** հզորությամբ նառագայթում էր թիրախի մակերեսը իբր պրոտոնային փունջն էր տախացնում այդ թիրախը: Թիրախի ջերմաստիճանը չափվում էր նախորդ նկարում բերված ջերմային գույգի միջոցով:





**Copper radiator for cooling the target with liquid nitrogen**



# Մուլիբդենի վերամշակման տեխնոլոգիայի զարգացում:



**a)**

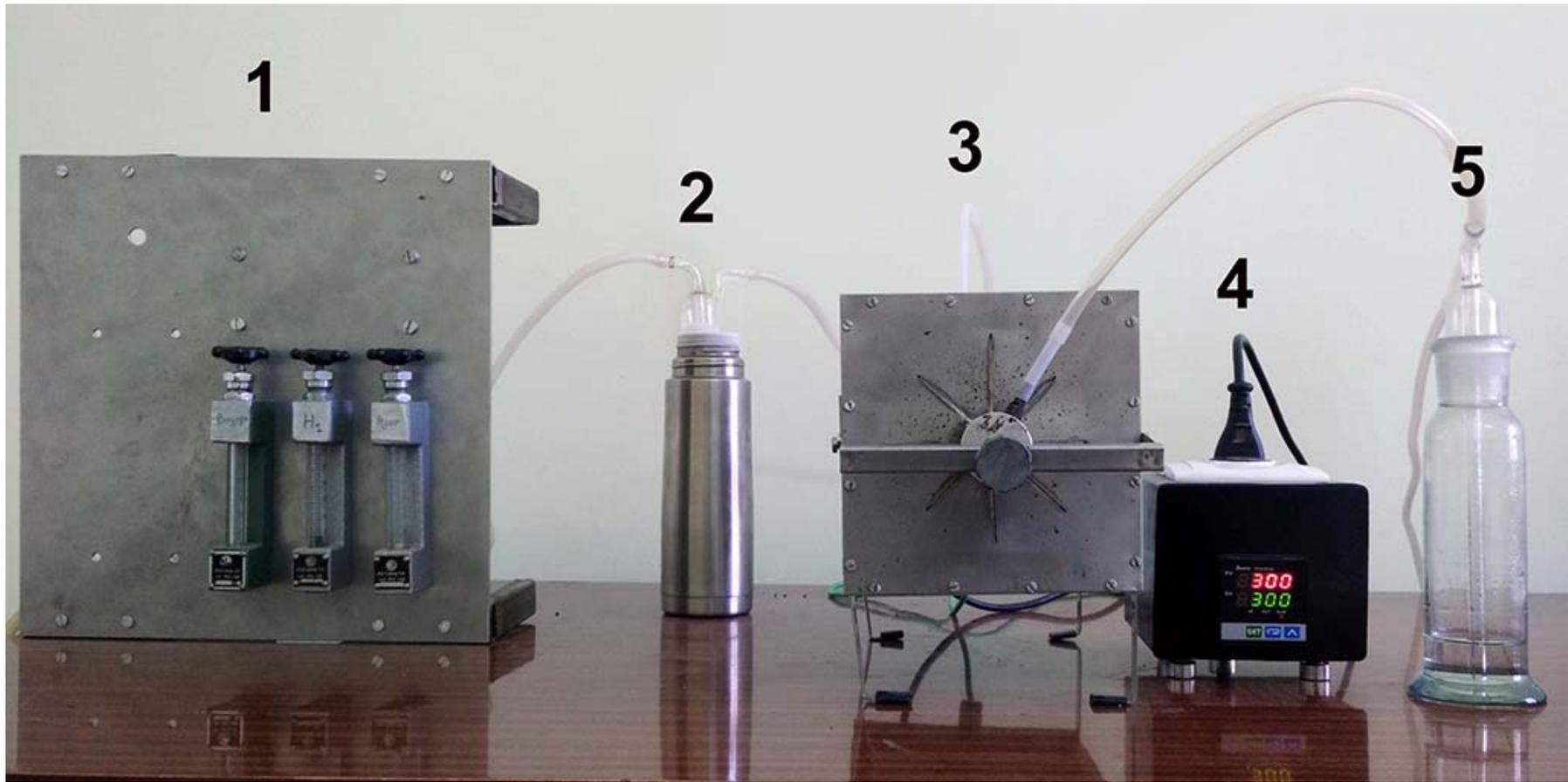


**b)**



. **a)** վառարան, **b)** ջերմաստիճանային կառավարման սարք



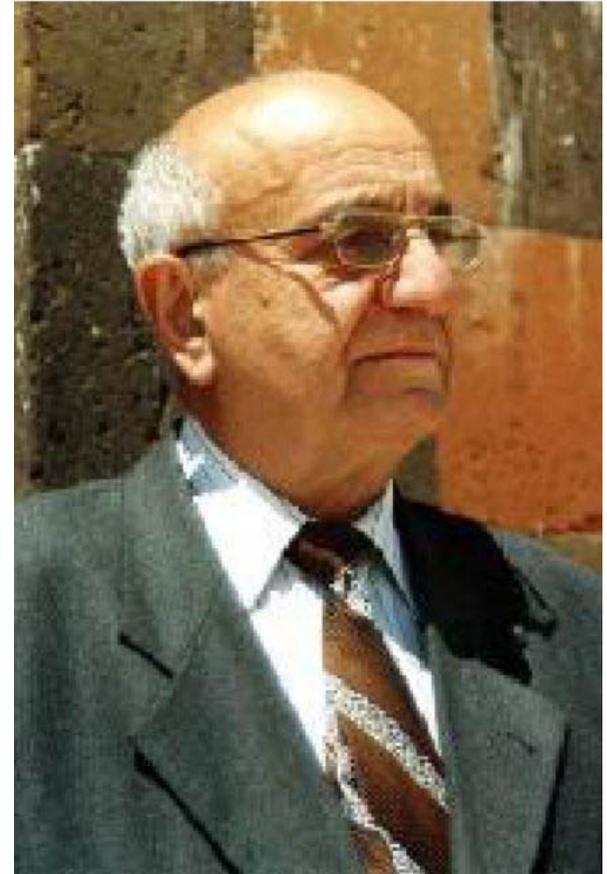


Վերականգնման երկրորդ փուլում  $\text{MoS}_3$  թրծվում էր վառարանում օդի մթնոլորտում երկու ռեժիմով՝  
 $\text{MoS}_3 = \text{MoS}_2 + \text{S} \quad t = 250-300^\circ\text{C}$  պայմանում,  
 $2\text{MoS}_2 + 7\text{O}_2 = 2\text{MoO}_3 + 4\text{SO}_2 \quad t = 500-600^\circ\text{C}$   
պայմանում.





Հարկ եմ համարում նշել և բուլոբիս հիշեցնել, որ բժշկական իգոտոպների ծրագրի ստեղծման հեղինակն է **ակադեմիկոս Ռոբերտ Ավագյանը**, և հենց ինքն է հանդիսացել առաջին փուլերի մեր ակտիվության առաջնորդն ու ղեկավարը:



**123** | ստացման  
տեխնոլոգիայի մշակումը

# $^{123}\text{I}$ ստացման արագացուցչային մեթոդ



$T_{1/2} = 2.2$  ժամ



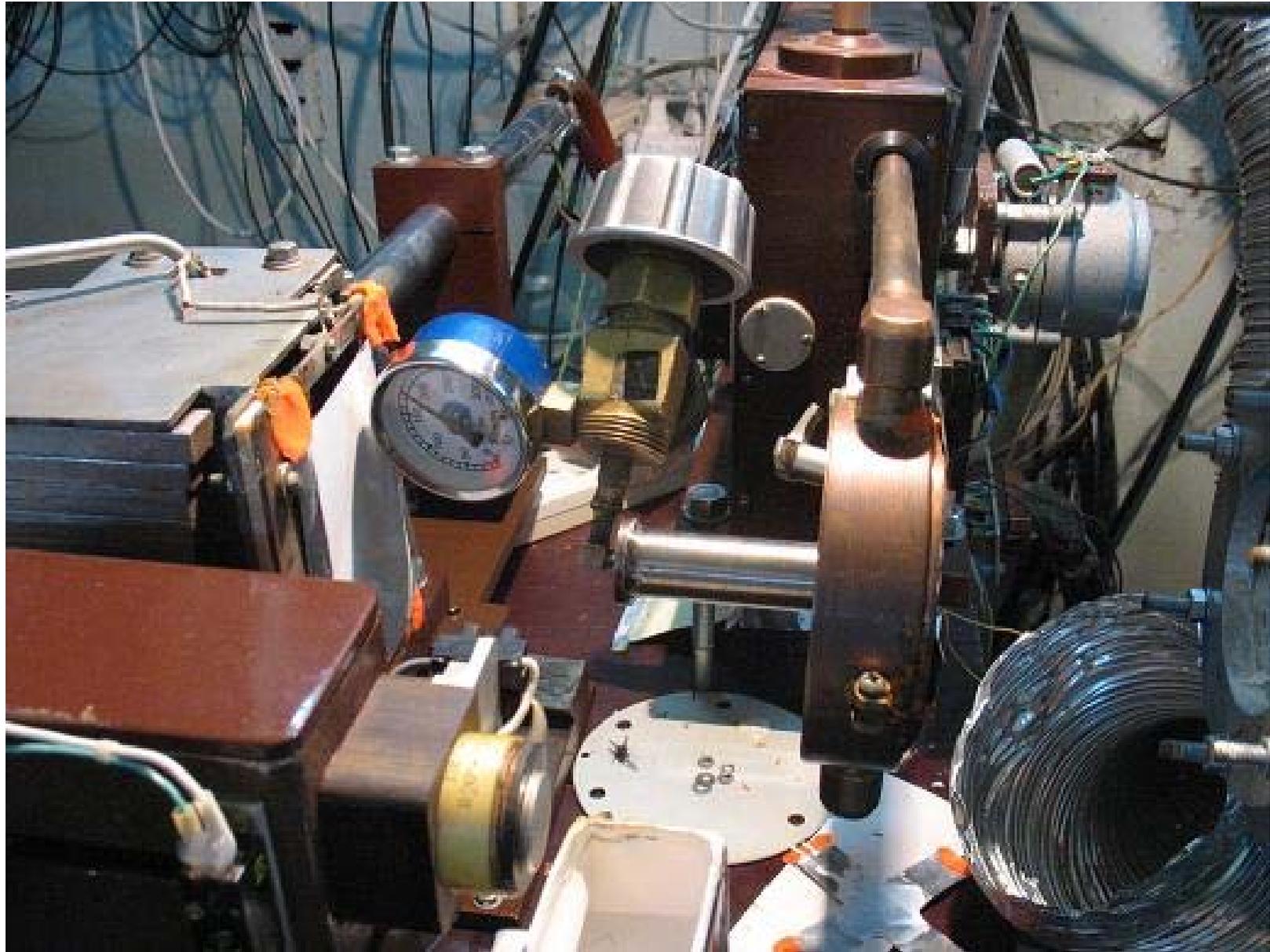
Ռեակցիայի էֆեկտիվ կտրվածքը ահագին բարձր է,

**15** ՄէՎ պրոտոնների համար կազմում է **450** մբարն:

Նշանակում է էլեկտրոնային փնջի էֆեկտիվ էներգիան կազմում է **25-35** ՄէՎ:

# *Xe target*





***Albert Avetisyan , Robert Avagyan ,  
Ruben Dallakyan, , Gohar Avdalyan  
, Nikolay Dobrovolsky , Vasak  
Gavalyan , Ivetta Kerobyan , Gevorg  
Harutyunyan***

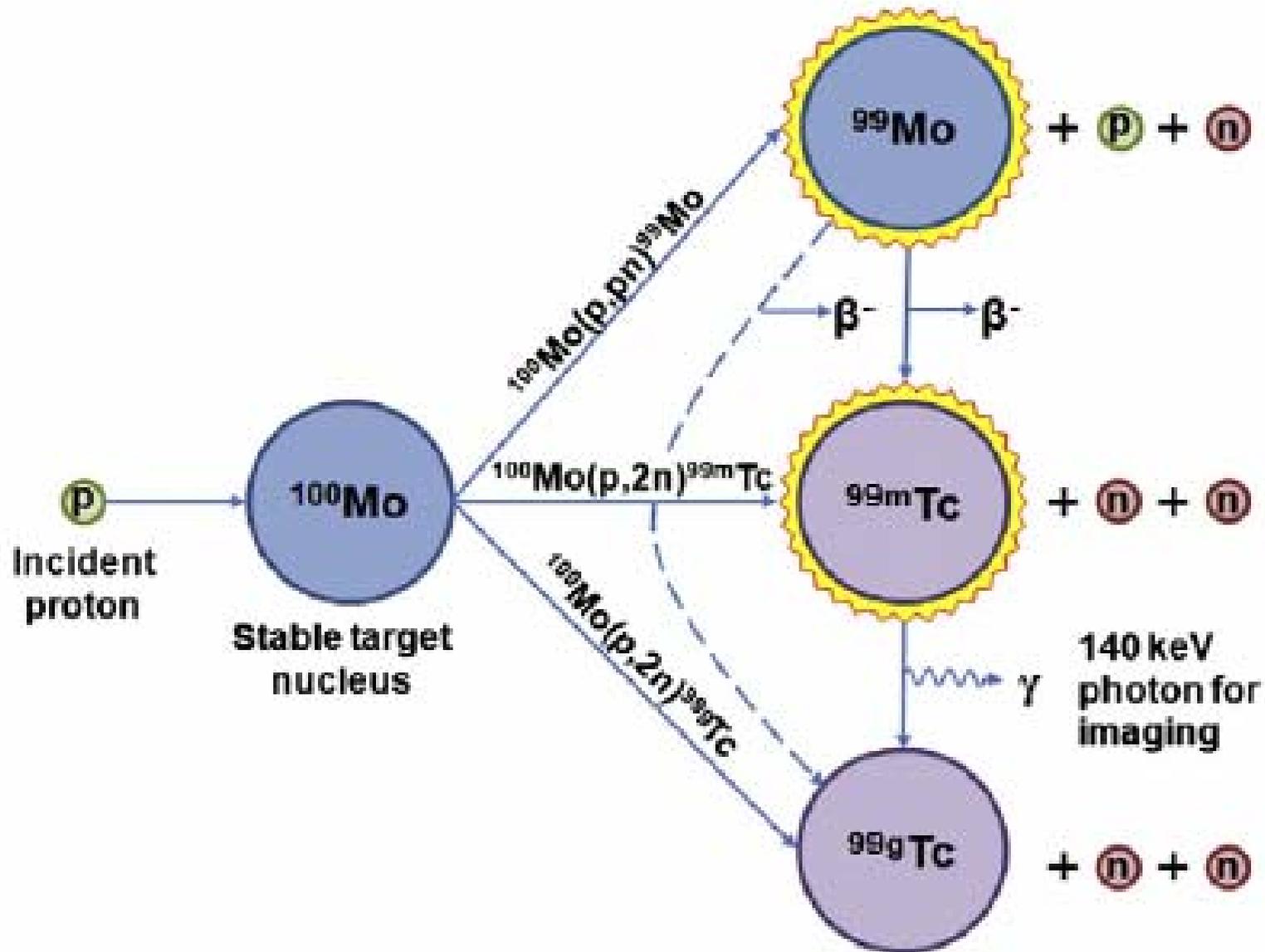
***"INVESTIGATION of  $^{123}\text{I}$   
PRODUCTION USING ELECTRON  
ACCELERATOR",***

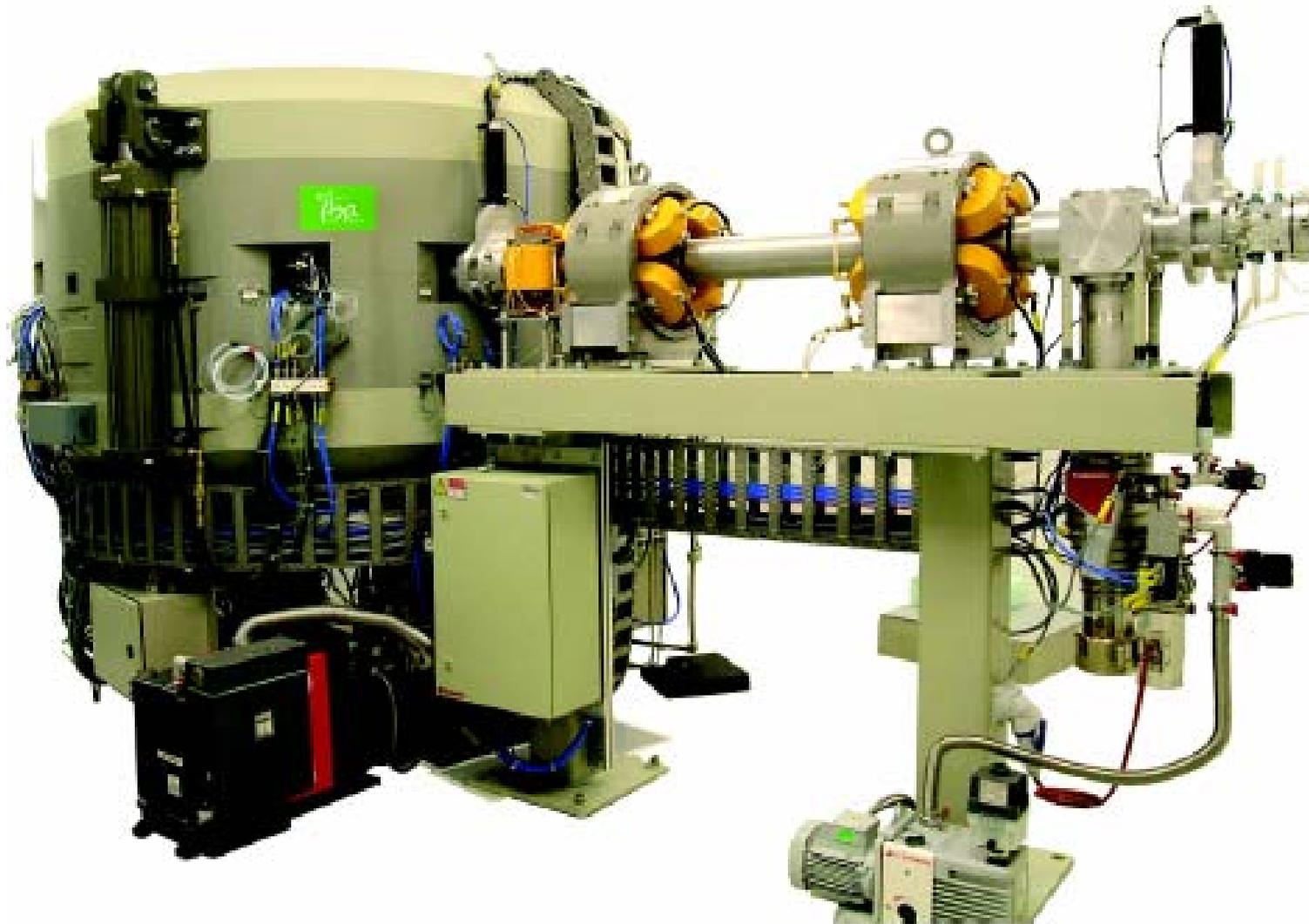
***Nuclear Medicine and Biology,  
Volume 47, April 2017, Pages 44-47.***

# Cyclotron based activity

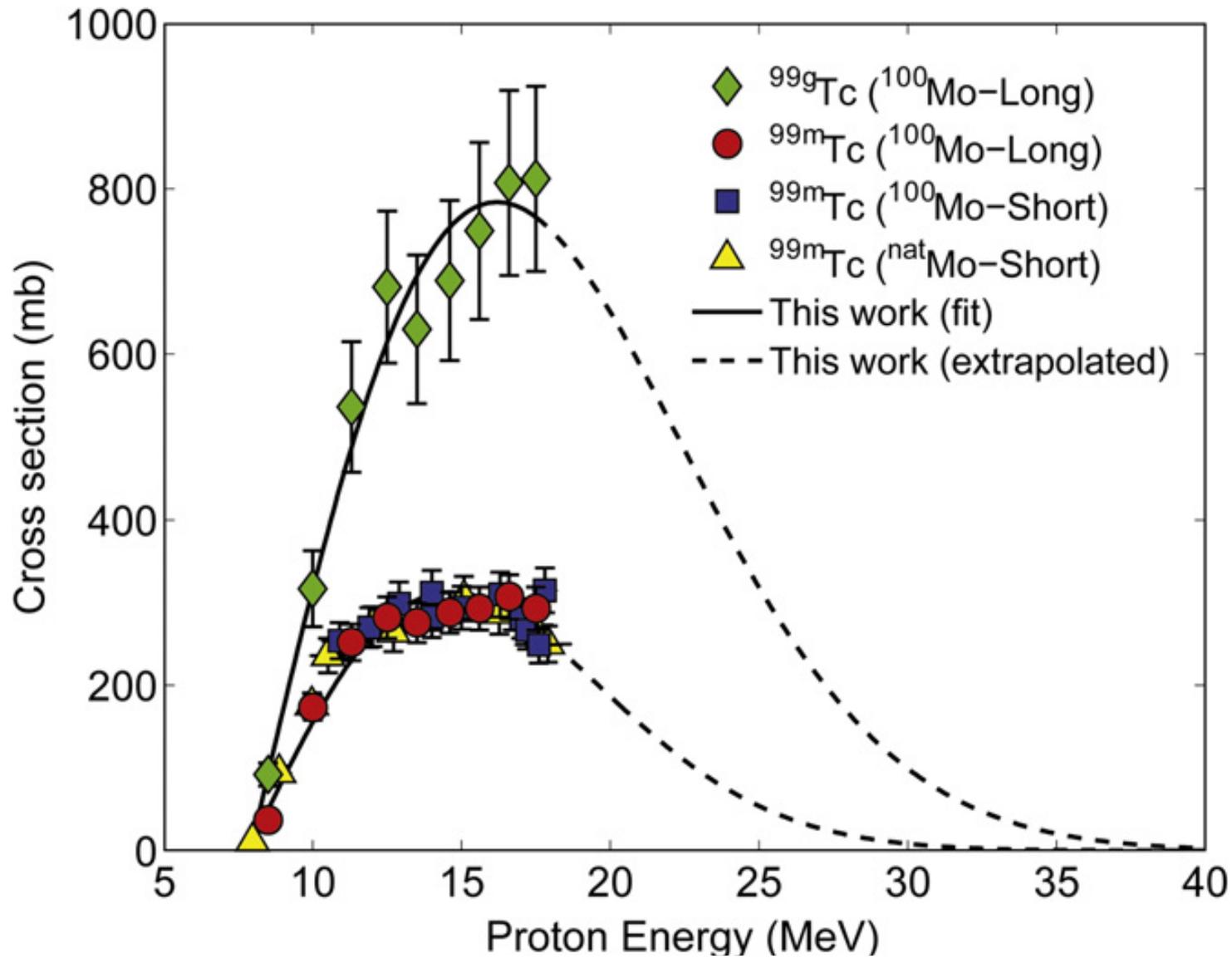
Վերջին տասնամյակին մի շարք գիտական  
կենտրոններ ակտիվորեն աշխատում են **Mo/Tc**  
ստանալու այլընտրանքային մեթոդներ  
ստեղծելու համար: Ի նկատի ունենա  
**արագացուցչային մեթոդները,** որոնք  
կփոխարինեն ռեակտորային մեթոդներին:

$^{99m}\text{Tc}$  ստանալու  $^{99}\text{Mo}$  արձանցող այլընտրանքային ուղի





C18/18



99gTc և 99mTc ստացման ռեակցիաների  
կտրվածքները

# ԵԼՔԻ ԳՆԱՀԱՏԱԿՆ

Մի շարք այլ խմբերի արդյունքներից հետևում է, որ կարելի է ստանալ **99mTc 1.6 TBq** **500μA** հոսանքով, **22→10 MeV** էներգիայով **6** ժամ նառագայթելու դեպքում: Մեր դեպքում դա կլինի **3** ժամ, **35 μA**, **17→10 MeV**, որը նշանակում է **2\*14\*1.7=47** անգամ ավելի քան,

այսինքն **1.6 TBq :47=34GBq ≈1Ci!**  
**(EOB)**

Նույնիսկ հաշվի առնելով, որ որոշ  
ժամանակ է անհրաժեշտ  $^{99m}\text{Tc}$   
գտելու և այն կլինիկաներին  
հասցնելու համար՝ այս  
ակտիվությունը ավելի քան  
բավարարում է Երևանի կլինիկաների  
օրական պահանջարկը

# ***C18 cyclotron***



# ***SPECT/CT Scanner***



# ***PET/CT Scanner***



# Experimental hall of extracted beam



*Իզոտոպների արտադրության կենտրոնի  
կարգավիճակը և մեր սպասելիքները*

Երկու շաբաթ առաջ ցիկլոտրոնը  
թողարկվեց, ապահովելով **150** մկԱ  
ներֆին հոսանք:

Մոտ օրերս **IBA** մասնագետները կգան և  
կանցնեն դուրս բերված փնջի  
թողարկմանը:

*Իգոտոպների արտադրության կենտրոնի  
կարգավիճակը և մեր սպասելիքները  
(ժարունակություն)*

Նաև իրական հառագայթում **18F**  
ստանալու նպատակով, ռադիոֆիմիայի  
կատարումը, որակի ստուգումը և այլն:

*Բզոտոպների արտադրության կենտրոնի  
կարգավիճակը և մեր սպասելիքները  
(Շարունակություն)*

**99mTc** ստանալու մեր կողմից մշակած տեխնոլոգիան լրիվ պատրաստ է իրականացման և ստուգումներից հետո փորձնական արտադրության համար:

***A.Avetisyan, R.Dallakyan, R.Sarkisyan,  
A.Melkonyan, M.Mkrtcyan,  
G.Harutyunyan, N.Dobrovolsky,  
S.Sergeeva ,***

***"TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR  
99mTc DIRECT PRODUCTION UNDER  
PROTON BEAM FROM C18 CYCLOTRON  
AT NATIONAL SCIENCE LABORATORY",***

***Final report of the coordinated research  
project "On Accelerator-based  
Alternatives to Non-HEU Production of  
Mo-99 /Tc-99m" IAEA, Pages 15-30.***

*Իզոտոպների արտադրության կենտրոնի  
կարգավիճակը և մեր սպասելիքները  
(Շարունակություն)*

Նախատեսվում է նաև  $^{67}\text{Ga}$  և  $^{68}\text{Ga}$ ,  $^{64}\text{Cu}$   
և մի քանի այլ ցիկլոտրոնային իզոտոպների  
ստացման տեխնոլոգիայի մշակում:

## Ռենտգենյան սարֆաշինություն

Կատարվում են աշխատանքներ “Բարձր էներգիաների ֆիզիկայում” ստինտիլյացիոն բյուրեղների կիրառման ուսումնասիրությունները: Ուսումնասիրվել են **GGG:Ce** մոնոբյուրեղի կլանման և ճառագայթման հատկությունները, ստացվել են բյուրեղների ֆոտոլյումինեսցենցիայի սպեկտրները **Ce<sup>3+</sup>** անցումները **5d-4f** տիրույթում: Գտնվել է լուսային ելքի կախումը **Ce<sup>3+</sup>** ֆանակից, **22.16KeV** էներգիայով ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցության տակ:

Գիտկոմի թեմայի շրջանակներում կատարվում են հետազոտություններ սցինարիլյացիոն բյուրեղների ռադիացիոն կայունության վրա ծանր մետաղների առկայության ազդեցության վերաբերյալ։

Կատարվում են աշխատանքներ “Դեբայ-Շերրերի մեթոդով դիֆրակցիոն պատկերի ստացման ավտոմատացված համակարգ – նյութի ֆիմիական բաղադրության որոշման համար” աշխատանքը։

# ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ

Ղեկավար՝ Հարությունյան Խաչիկ

Երկու աշխատակից:

**ՅՆԿ** գծային էլեկտրոնային արագացուցիչ,  
Հիմնական գործունեությունը՝ կաբելային  
արդյունաբերության համար պայմանագրային հիմունքներով  
պլաստիկ մեկուսացնող խողովակների նառագայթում:  
Արագացուցիչը Խաչիկի հերոսական ջանքերի շնորհիվ և  
երբեմն Հարությունյան Վաչիկի աջակցությամբ  
(պահեստամասերով օգնություն) դեռ գործում է, սակայն դա  
ժամ երկար չի տևի:

# ԲԱԺՆԻ ԱՆՁՆԱԿԱՂՄ

Բաժնուն աշխատուն են **24** աշխատակից

**4** գիտությունների թեկնածու (ևս մեկը պաշտպանվելուց հետո գնաց ինստիտուտից, սակայն հաճախ այցելում է մեզ և պատրաստակամություն հայտնում օգնել կարիքի դեպքում)

**3** ուսանող՝ պոլիտեխնիկ և Սլավոնական համալսարաններից

Նաև **7** երիտասարդ մասնագետ՝ **5** ֆիզիկոս և **2** ինժեներ:

Այսպիսով **24** աշխատակիցների համարյա կեսը երիտասարդ են:

# ԹԵՄԱՆԵՐ ԵՎ ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐ

Բաժնուժ ցիկլոտրոնի վրա կատարվող աշխատանքներին վերաբերվող ԳիտՊետԿոմի կողմից ընդունված թեմաներից մեկը կասեցվեց ճանապարհի կեսին ցիկլոտրոնի չգործարկվելու պատճառով:

# ԹԵՄԱՆԵՐ ԵՎ ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐ Շարունակություն

Ներկայումս մեկ թեմա կատարվում է **նադիացիոն սարքաժինության բնագավառում** իմ **ղեկավարությամբ**,  
ևս մեկ թեմա կատարվում է **փորձարարական ֆիզիկայի բաժանմունքի հետ համատեղ**, **ղեկավար՝  
Ռուբեն Դալլաբյան:**

# ԹԵՄԱՆԵՐ ԵՎ

## ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐ Շարունակություն

9 տարում հրատարակվել է 23 աշխատանք, նրանցից 5՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկա ամսագրում, 2՝ կոնֆերանսների նյութեր, մնացածը՝ բավականին բարձր վարկանիշ ունեցող ամսագրերում: Վերջին տարիներին՝

2015 – 5, 2016 – 2, 2017 – 3, 2018 – 2,  
2019 – 1:

# ԴՐԱՄԱՇՆՈՐՀԵՐ

ISTC A-1444 Manager A.Avetisyan 475000\$ 2009-2013

IAEA CRP on "Accelerator-based Alternatives to Non-HEU Production of Mo-99/Tc-99m" 14000Eu 2014-2015

# Թեզերի պաշտպանություններ, ասպիրանտներ

Հաշվետու ժամանակաշրջանում պաշտպանվել են երկու  
թեկնածուական թեզ՝ Դալլաֆայն Ռուբեն (ղեկավար՝  
Ռոբերտ Ավագյան) և

Հարությունյան Գևորգ (ղեկավար՝ Ալբերտ Ավետիսյան):  
Երկու աշխատակից ավարտել են ԱԱԳԼ մագիստրատուրան և  
ստացել երկրորդ մագիստրական աստիճան՝ Գրիգորյան  
Արմինե և Մանուկյան Անդրանիկ:

# Թեզերի պատասխանություններ, ասպիրանտներ (Շարունակություն)

Երկու աշխատակից ընդունվել են **հեռակա ասպիրանտուրա՝**  
**Էլբակյան Գուրգեն** և **Մանուկյան Անդրանիկ**, երկուսն էլ  
Ալբերտ Ավետիսյանի ղեկավարությամբ, երկուսի թեմաներն  
էլ նվիրված են ցիկլոտրոնի փնջով բժշկական իզոտոպների  
ստացման տեղնուլոգիաների մշակմանը:

# ԿՐԹԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅՈՒՆ

ԱԱԳԼ մագիստրատուրայում **ԱԼԲԵՐՏ ԱՎԵՏԻՍՅԱՆԸ** արդեն **5** տարի դասավանդում է “Գիտափորձի մեթոդներ” առարկան, իսկ վերջին տարին **Դալլաֆյան Ռուբենը** այստեղ դասավանդում է “Բժշկական իզոտոպների հետազոտություն և արտադրություն” առարկան:

**ԱԼԲԵՐՏ ԱՎԵՏԻՍՅԱՆԸ** միաժամանակ արդեն շատ տարիներ դասավանդում է ԵՊՀ ֆիզիկայի ֆակուլտետում:

# ԿՐԹԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՓՅՈՒՆ (Շարունակություն)

Բաժնում ստեղծվել և կիրառվում են **4 լաբորատոր աշխատանք** մագիստրոսների ուսուցման համար: Նրանք հիմնված են ժամանակակից դետեկտորների կիրառման վրա և իրական փորձ են տալիս ուսանողներին մասնիկների ֆիզիկա ուսումնասիրելու համար:

ԱՌԱՋԻԿԱ ՈՆԱՆՆԵՐ՝

Շարունակել այն ամենը ինչը  
կատարում էինք մինչ հիմա:

ՇՆՈՐՀԱԿԱԼՈՒԹՅՈՒՆ  
ՈՒՇԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ