

# ԱՌԿԱՅԾՉԱՅԻՆ (ՍՑԻՆՏԻԼՅԱՑԻՈՆ) ԴԵՏԵԿՏՈՐՆԵՐ

Առաջին սցինտիլյացիոն դետեկտորը կոչվում էր **սպինտարիսկոպ**: Իրենից ներկայացնում էր **ZnS** աղով պատած էկրան: Առկայծումները, որոնք առաջանում էին լիցքավորված մասնիկները էկրանին հարվածելիս, գրանցվում էին մանրադիտակի միջոցով: Հենց այդպիսի դետեկտորով **Հեյզերը** և **Մարտենը** 1909 թվականին կատարեցին հայտնի գիտափորձը, որում **ալֆա-մասնիկները** ցրվում էին ոսկու ատոմների վրա: Դա բերեց **ատոմային միջուկի հայտնագործմանը**:

1944 թվականից սկսած սցինտիլյաստորի լուսային առկայծումները գրանցվում են **Ֆոտոէլեկտրոնային Բազմապատկիչներով ՏԷԲ – PhotoMultiplier Tube PMT – ФотоЭлектронный Умножитель ФЭУ:**

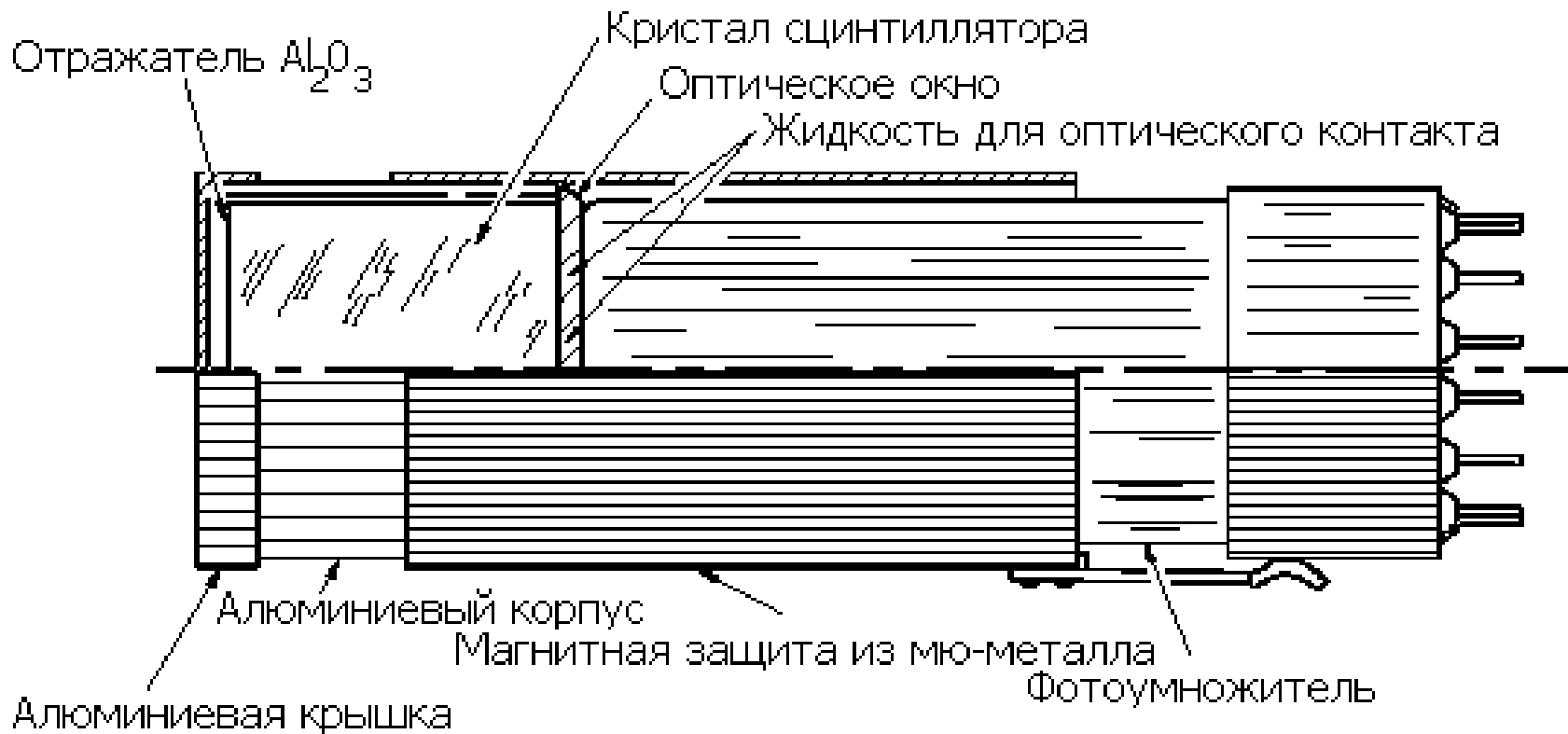
Ավելի ուշ այդ նպատակով սկսեցին օգտագործել նաև տարբեր տեսակի **ֆոտոդիոդներ:**

Սցինտիլյատորները կարող են լինել **օրգանական** (բյուրեղներ, պլաստիկ կամ հեղուկ) կամ **անօրգանական** (բյուրեղներ կամ ապակիներ): Կիրառվում են նաև **գազային սցինտիլյատորներ:**

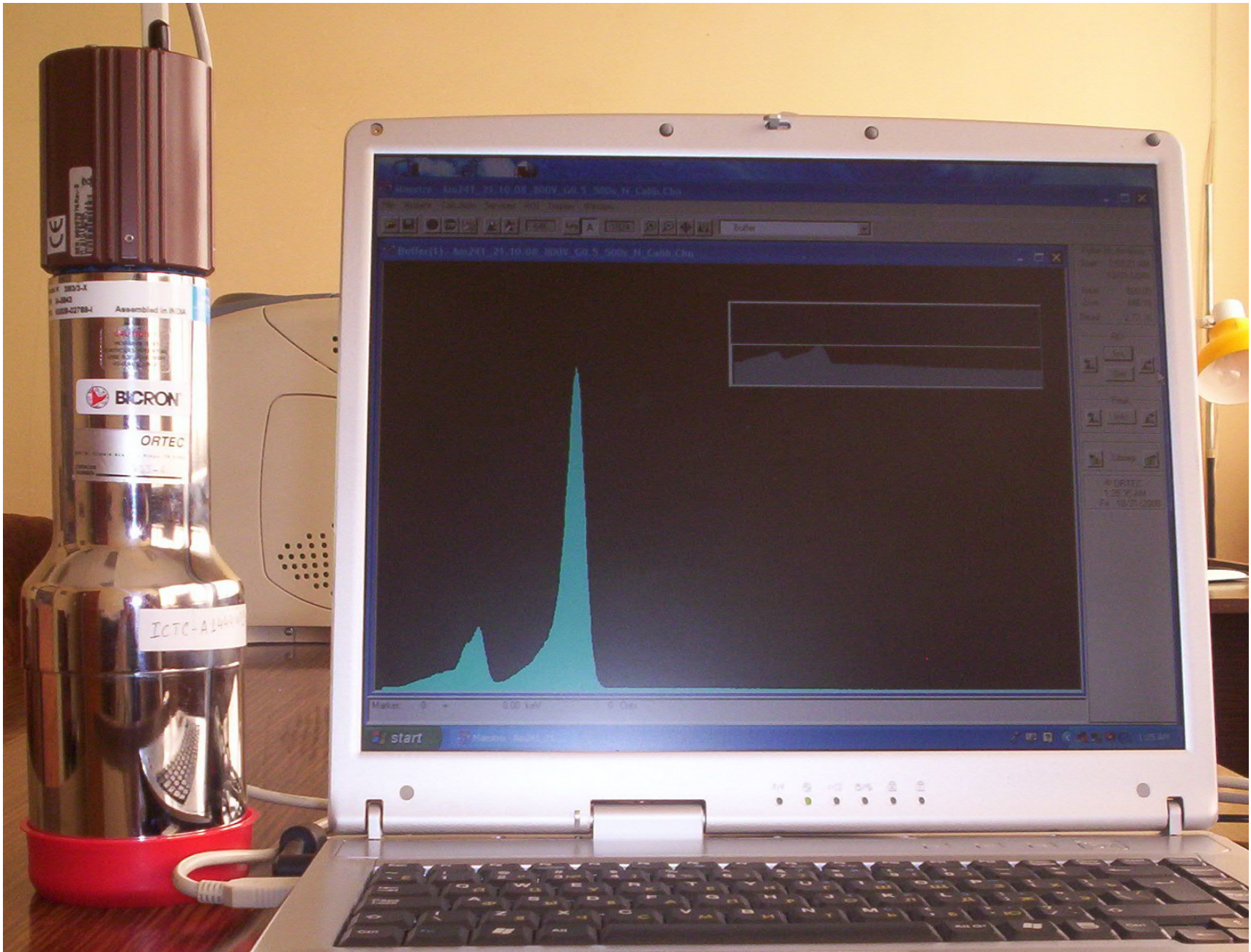
Որպես **օրգանական** սցինտիլյատոր հաճախ օգտագործվում են **անտրացեն** ( $C_{14}H_{10}$ ), **ստիլբեն** ( $C_{14}H_{12}$ ), **նույնիսկ նաֆտալին** ( $C_{10}H_8$ ).

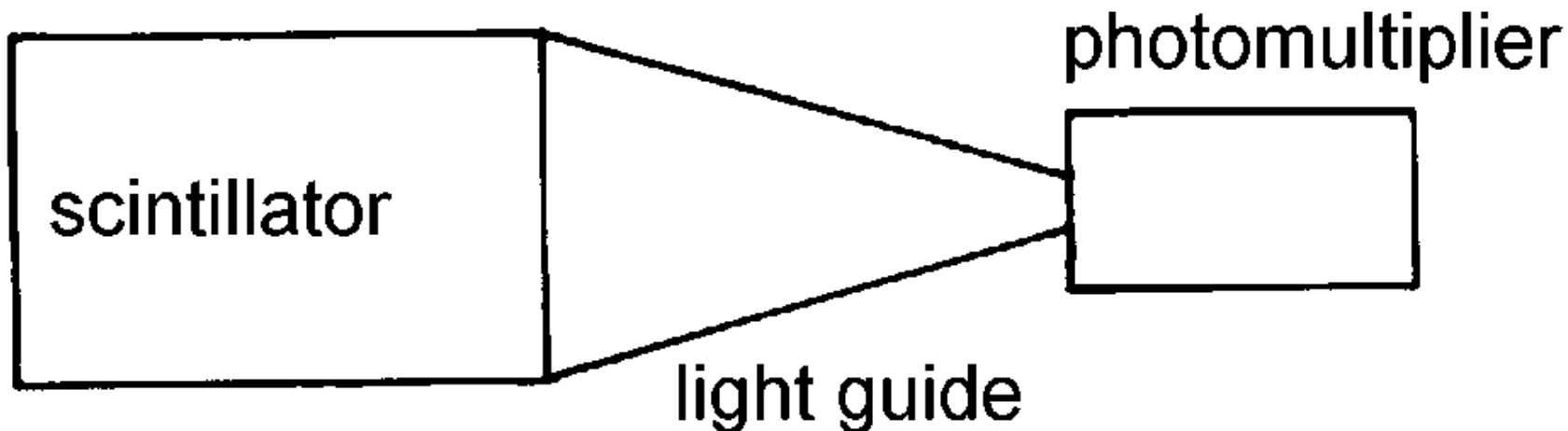
Պլաստիկ և հեղուկ սցինտիլյատորները  
իրենցից ներկայացնում են թափանցիկ  
լուծիչում օրգանական ֆյուորեսցենտ  
նյութերի լուծույթ:

Որպես անօրգանական բյուրեղային սցինտիլյատոր  
օգտագործվում են  $\text{ZnS}$ ,  $\text{NaI(Tl)}$ ,  $\text{CsI}$ ,  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$   
(**BGO**) և այլ նյութեր:



ՄՅԻՆՏԻԼՅԱՏՈՐ և ՖԷԲ





# 905 Series NaI(Tl) Scintillation Detectors

## 905-4 NaI Scintillation Detector, 3- x 3-in. crystal, 3-in. tube

NOTES: Unless otherwise specified.

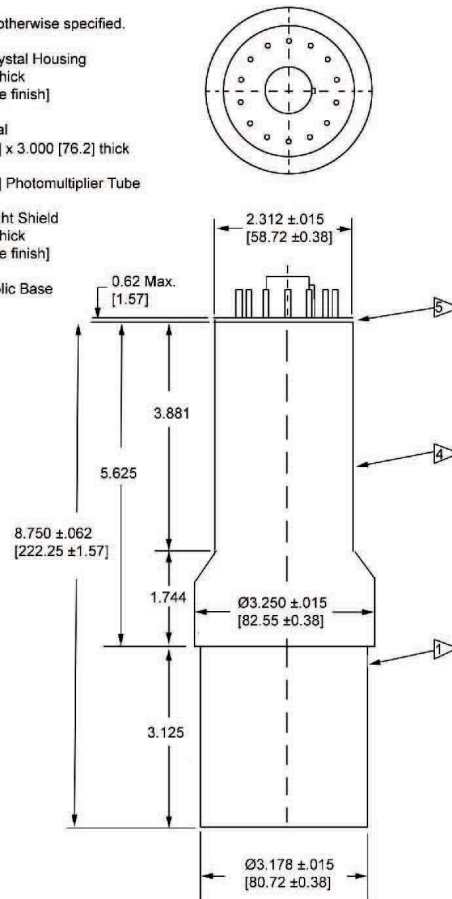
▶ Aluminum Crystal Housing  
.020 [0.508] thick  
[bright chrome finish]

2 NaI(Tl) Crystal  
Ø3.000 [76.2] x 3.000 [76.2] thick

3 Ø3.000 [76.2] Photomultiplier Tube

▶ MU-Metal Light Shield  
.025 [0.535] thick  
[bright chrome finish]

▶ 14 Pin Phenolic Base



NOTE: Dimensions are subject to slight variation depending on the original manufacturer.

Specifications subject to change  
090805

**ORTEC**<sup>®</sup>

[www.ortec-online.com](http://www.ortec-online.com)

Tel. (865) 482-4411 • Fax (865) 483-0396 • [ortec.info@ametek.com](mailto:ortec.info@ametek.com)  
801 South Illinois Ave., Oak Ridge, TN 37831-0895 U.S.A.  
For International Office Locations, Visit Our Website

**AMETEK**<sup>®</sup>  
ADVANCED MEASUREMENT  
TECHNOLOGY



# ՄԻԶՈՒԿԱՅԻՆ ՌԵԱԿՑԻԱՆԵՐՈՒՄ ՌԱԴԻՈՒԶՈՏՈՊՆԵՐԻ ՄՏԱՑՈՒՄԸ

Կայուն և ռադիոակտիվ իզոտոպներ

Ներկայումս հայտնի է **107** քիմիական տարրերի մոտ **270** կայուն և ավելի քան **2000** ռադիոակտիվ իզոտոպ:

Ի՞նչ է իզոտոպը.

Նույն քիմիական տարրի իզոտոպները ունեն միջուկի միևնույն **Z** լիցքը և իրարից տարբերվում են միայն նեյտրոնների **N** քանակով:

Նրանք ունեն հեկտորոնային թաղանթների միևնույն կառուցվածք և որպես հետևանք նման քիմիական հատկություններ:

Ամեն իզոտոպ ընդունված է նշանակել  ${}^A_Z X$  սիմվոլների հավաքածուով, որտեղ  $X$  – քիմիական տարրի անվանումն է,  $Z$  – միջուկի լիցքը, նույնն է տարրի ատոմային համարը, իսկ  $A = Z + N$  – իզոտոպի զանգվածային թիվը, այսինքն միջուկում նուկլոնների ընդհանուր քանակը:

Իզոտոպի կյանքի տևողությունը բնութագրվում է այսպես կոչված տրոհման կիսապարբերությամբ  $T_{1/2}$  – դա այն ժամանակն է, որի ընթացքում ռադիոակտիվ միջուկների քանակը նվազում է 2 անգամ:

Այդ մեծությունը տարբեր իզոտոպների համար կարող է փոխվել շատ լայն տիրույթում՝  $10^{-7}$  վայրկյանից մինչև  $10^7$  տարի:

Դրան համապատասխան բոլոր իզոտոպները բաժանվում են 3 խմբերի՝ գերկարճ կյանքի տևողությամբ –  $T_{1/2}$  2 ժամից պակաս, կարճ կյանքի տևողությամբ՝  $T_{1/2} < 10$  օր, և երկարակյաց  $T_{1/2} > 10$  օր:

Չնայած նույն տարրի իզոտոպների քիմիական հատկությունների նշված նմանությանը՝ նրանց բնութագրերը **միշտ չէ որ նույնն են**: Գոյություն ունեն այսպես կոչված **“իզոտոպային էֆեկտներ”**, որոնք բերում են մոլեկուլների կամ միացությունների կազմում նրանց վարքի տարբերությանը: **Վարքի նշված տարբերությունը** հիմնականում պայմանավորված է նրանց **զանգվածների տարբերությամբ** և կոչվում է **ատաջին կարգի իզոտոպային էֆեկտ**: Այդ տարբերությունը հատկապես նկատելի է **թեթև տարրերի իզոտոպների համար՝ ջրածին, հելիում, լիթիում և այլն**:

Իզոտոպային էֆեկտները կարող են  
ազդել քիմիական ռեկացիաների  
արագության վրա(կինետիկ էֆեկտ), որը  
բավականին հաճախ օգտագործվում է  
կայուն ատոմի իզոտոպային  
փոխարինման համար իր ռադիոակտիվ  
անալոզով այս կամ այն միացության  
կազմում :

# Միջուկային ռեակցիաներ ֆոտոնների, նեյտրոնների և լիցքավորված մասնիկների ազդեցությամբ

Միջուկային ռեակցիան սովորաբար գրանցում են այս տեսքով.

$A(a,b)B,$

որտեղ  $A$  – թիրախի միջուկն է,  $B$  – արդյունքում ստացված միջուկը կամ վերջնական միջուկը,  $a$  – հարվածող մասնիկը,  $b$  – դուրս թռչող մասնիկը կամ գամմա-քվանտը:

Այսպես օրինակ, առաջին  
միջուկային ռեակցիան, որը  
**Ռեզերֆորդը** իրականացրեց **1919**  
թվականին **ազոտի** **միջուկները**  
**ալֆա-մասնիկներով** **ռմբակոծելով**,  
որի հետևանքով **դուրս** էր **թռչում** մեկ  
**պրոտոն**՝ կարելի է գրանցել այս  
տեսքով.





Միջուկային ռեակցիաները հնարավոր է  
իրականացնել նեյտրոնների,  
արագացրած լիցքավորված մասնիկների  
( $p, d, {}^3, {}^4\text{He}$ , էլեկտրոնների և այլն), ինչպես  
նաև գամմա-քվանտների ազդեցությամբ :  
Վերջին նշված փոխազդեցությունը  
պայմանավորված է  
էլեկտրամագնիսական ուժերով, սակայն  
այստեղ նույնպես տեղի է ունենում  
միջուկների ձևափոխություն:

Այդպիսի ռեակցիայի օրինակ կարող է ծառայել



Ֆոտոմիջուկային ռեակցիան, որում թիրախի  $^{100}\text{Mo}$  միջուկները փոխազդում են արգելակային գամմա-ճառագայթման հետ, որը ստացվում է էլեկտրոնային արագացուցչի կոնվերտորից:

Նիլս Բորի մշակած տեսության համաձայն, ենթադրվում է, որ այսպիսի ռեակցիաները տեղի են ունենում **երկու փուլով**.

**Առաջին փուլ**՝ թիրախ միջուկը գրավում է ռմբակոծող մասնիկին կամ միջուկին և առաջանում է կոմպատունդ-միջուկ.

**Հաջորդ փուլում**՝ կոմպատունդ-միջուկում տեղի է ունենում էներգիայի վերաբաշխում, որը բերում է կենտրոնացմանը **մեկ նուկլոնի կամ նուկլոնների խմբում**, որն այնուհետև բերում է

**կոմպատունդ-միջուկի տրոհմանը** և **b** մասնիկի դուրս թռչելուն:

Սովորաբար այդպիսի համակցված  
միջուկի տրոհման ժամանակը  
կազմում է  $10^{-15}$  –  $10^{-16}$  վայրկյան:  
Եթե նուկլոններից մեկի ձեռք բերած  
էներգիան բավարար է, որ նա  
արտանետվի միջուկից, ապա  
համակցված միջուկը տրոհվում է մեկ  
նուկլոնի արտանետումով հանդերձ:

Իսկ եթե էներգիան վերաբաշխվում է մասնիկների որոշ խմբերում, ապա տեղի է ունենում ավելի բարդ միացությունների ճառագայթում – օրինակ **ալֆա-մասնիկներ** և այլն:

Եթե գրգռման էներգիան **բավարար չէ** միջուկից որևէ **մասնիկի անջատման համար**, ապա տրոհման միակ ուղին է – **գամմա քվանտների արձակում՝** ռադիացիոն գրավում:

Կարևոր է նշել, որ **ռաբակոծող**  
**մասնիկների էներգիայից**, կախված  
միևնույն տարրի թիրախից՝ նույնիսկ  
միաիզոտոպային կազմով – կարող են  
առաջանալ **տարբեր**  
**ռադիոնուկլիդներ**, այդ թվում և **այլ**  
**տարրերի իզոտոպներ**: Դա հարկ է  
հաշվի առնել **թիրախի նյութի**  
**ընտրության ժամանակ**, ինչպես նաև  
**ռաբակոծող մասնիկների և նրանց**  
**էներգիան ընտրելիս**:

Միջուկային ռեակցիաների իրականացման հավանականությունը բնութագրվում է ռեակցիայի  $\sigma$  կտրվածքով, որը արտահայտվում է **մակերեսի միավորներով**:

Դա պայմանավորված է այն անհրաժեշտ պայմանով, որ հարվածող մասնիկը **դիպնի կամ գոնե անցնի թիրախ միջուկի մոտակայքով**: Քանի որ ծանր տարրերի **միջուկի մակերեսը կազմում է մոտավորապես  $10^{-24}$  սմ<sup>2</sup>** - հենց այդ մեծությունն էլ ընդունվել է որպես **միջուկային ռեակցիայի կտրվածքի միավոր՝ 1 բարն**, անգլերեն barn բառից՝ **փարախի դարպաս**:

Տարբեր անվանումներով՝ **միջուկային էֆեկտիվ կտրվածք**, **ռեակցիայի միջուկային կտրվածք**, **ռեակցիայի միկրոսկոպիկ կտրվածք** – այն մեծությունն է, որը բնութագրում է ատոմային միջուկի կամ այլ մասնիկի հետ տարրական մասնիկի փոխազդեցության հավանականությունը:

Չափման միավորն է բարն  $1 \text{ բարն} = 10^{-28} \text{մ}^2$ :  
**Հայտնի էֆեկտիվ կտրվածքների միջոցով հաշվում են միջուկային ռեակցիայի արագությունը կամ փոխազդած մասնիկների քանակը:**



Այս մեծությունը մի կողմից ունի այն նույն  
իմաստը ինչ որ դասական մեխանիկայում,  
այսինքն էֆեկտիվ կտրվածքը – դա  
թիրախ-մասնիկի շրջակայքի  
տարածության այն ընդլայնական  
տարածքի մակերեսն է, որը ռմբակոծող  
մասնիկ-կետը հատելիս 100 %  
հավանականությամբ տեղի է ունենում  
փոխազդեցություն:

Սակայն դասական մեխանիկայի  
համեմատ այստեղ կան էական  
տարբերություններ:

\* Ոչ միջուկի ծավալի մոտակայքում, ոչ էլ  
ռմբակոծող մասնիկի մոտակայքում **ՉԿԱ**  
**այնպիսի տիրույթ**, որը այլ մասնիկով հասելիս  
**ԱՆՊԱՅՄԱՆ** տեղի կունենա փոխազդեցություն:  
Էֆեկտիվ կտրվածքը պարզապես տալիս է  
փոխազդեցությունների այն թիվը, որը իր  
մեծությունից կախված պետք է տեղի ունենա:  
Ընդ որում որոշ դեպքերում փոխազդեցությունը  
տեղի չի ունենում նույնիսկ երբ ռմբակոծող  
մասնիկը հաստում է էֆեկտիվ կտրվածքի  
տիրույթը, իսկ այլ դեպքերում  
փոխազդեցությունը տեղի է ունենում չնայած  
ռմբակոծող մասնիկը անցավ էֆեկտիվ  
կտրվածքի սահմաններից դուրս:

\* **Էֆեկտիվ կտրվածքը** որոշվում է ոչ այնքան բարդ միկրոմասնիկների երկրաչափական չափսերով կամ ուժերի ազդեցության շառավիղներով, ինչքան մասնիկների **ալիքային հատկություններով**:

Այսպիսով **Էֆեկտիվ կտրվածքը**՝ դա շատ պատահական դեպքերով միջինացված **մեծություն** է, որը բնութագրում է նախ և առաջ **բախվող մասնիկների փոխազդեցության հավանականությունը** և միայն որոշակի պայմաններում պատկերացում է տալիս **մասնիկների իրական չափսերի կամ ազդեցության շառավիղի մասին**:

Լիցքավորված

մասնիկների

մասնակցությամբ ռեակցիաներում  $\sigma$   
մեծությունը չի կարող լինել ավելին քան  
թիրախի միջուկի զբաղեցրած մակերեսի  
չափար, այսինքն ավելին քան  $\sim 1$   $\delta$ :

Սովորաբար

իզոտոպների

արտադրության համար օգտվում են  $0,1$   
մինչև  $1,0$   $\delta$  կտրվածք ունեցող  
ռեակցիաներից:

Լրիվ այլ է իրավիճակը **ջերմային նեյտրոնների** մասնակցությամբ ռեակցիաներում, որտեղ **թիրախի միջուկի չափսերը** անհամեմատ փոքր են **ջերմային նեյտրոնների ընդհանուր մակերեսից**, քանի որ այդ մակերեսը հաշվարկվում է նեյտրոնի դեբրոյլյան ալիքի երկարության կիրառմամբ  **$\lambda = h/mv$** , որը սենյակային ջերմաստիճանի պայմաններում հավասար է  **$10^{-8}$  սմ:**

Այստեղ  $\sigma$  մեծությունը կարող է զգալիորեն  
գերազանցել 16, սակայն չի կարող  
գերազանցել  $\lambda^2$ .

Այսպես օրինակ  $^{152}\text{Sm}(n,\gamma)^{153}\text{Sm}$   
ռեակցիայում  $\sigma = 20,6 \pm 6,0$  Ե:

Սովորաբար ջերմային նեյտրոններով  
իրականացվող ռեակցիաներում, որոնք  
օգտագործվում են պրակտիկ  
նշանակություն ունեցող  
ռադիոիզոտոպների մեծամասնության  
համար, էֆեկտիվ կտրվածքը գտնվում է 0,1  
до 1000 Ե տիրույթում.

ՌԱԴԻՈԻԶՈՏՈՂՆԵՐԻ  
ԿՈՐՊՈՐԱՄԿՈՒԼՅԱՐ ԵՎ  
ԳԱՄՄԱ-ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄԸ

Ռադիոակտիվության կարևոր հատկություններից է միավոր ժամանակում տրոհվող միջուկների հաստատուն լինելը: Ընդ որում կատարվում է ժամանակի ընթացքում միջուկների  $N$  միջին քանակի էքսպոնենցիալ նվազումը

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

որտեղ  $N_0$  - ռադիոակտիվ միջուկների քանակն է  $t = 0$  պահին, իսկ  $\lambda = 0,692/T_{1/2}$  - տրոհման հաստատունն է, որը բնութագրում է մեկ ատոմի տրոհման հավանականությունը միավոր ժամանակում:



Նյութի ռադիոակտիվությունը և նրա ստացման երևույթները բնութագրող ցուցանիշն է  $A$  ակտիվությունը

$$A = - dN/dt = \lambda N.$$

Ակտիվության միավորն է **Բեկկերել (Բկ)**, որը հավասար է **մեկ վայրկյանում մեկ տրոհման ակտին**: Սակայն առօրյայում՝ հատկապես երբ խոսքը գնում է մեծ ակտիվությունների մասին – հաճախ օգտագործվում է արտահամակարգային միավոր – **Կյուրի**,  
 $1\text{Կի} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Բկ}.$

Կախված միջուկի կոնկրետ  
կառուցվածքից և ամենակարևորը  
– նրանում պարունակվող  
պրոտոնների և նեյտրոնների  
քանակների հարաբերությունից –  
հնարավոր է տրոհման մի քանի  
տեսակ: Նրանցից հիմնականն են  
ալֆա և բետա տրոհումները:

**Ալֆա-տրոհումը** բնորոշ է հիմնականում  
ծանր միջուկների համար ( $Z \geq 52$ ):  
Տրոհման հետևանքում միջուկը վեր է  
ածվում մեկ այլ միջուկի, որի  $Z$  նվազել է **2**  
**միավորով**, իսկ  $A$ -ն՝ **4** միավորով:  
Հիմնականում արձակվում են  
**մոնոէներգետիկ ալֆա-մասնիկներ**: Ալֆա-  
տրոհմանը հետևում է գամմա-  
ճառագայթումը, որի էներգետիկ սպեկտրի  
գծերը պայմանավորված են տրոհվող  
միջուկի մակարդակների կառուցվածքով:

Այդ գամմա-քվանտների էներգիան սովորաբար չի գերազանցում **0.5 ՄէՎ** արժեքը: Իսկ հայտնի իզոտոպների մեծամասնության համար **ալֆա-մասնիկների էներգիան գտնվում է 4-9 ՄէՎ սահմաններում:**

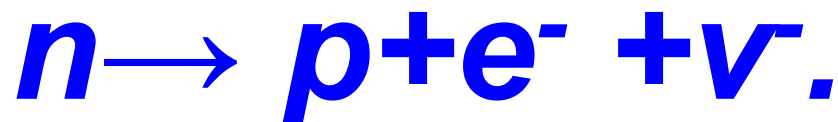
Բնութագրական  $E_{\alpha} \sim 6$  ՄէՎ էներգիայի համար կենսաբանական հյուսվածքներում մասնիկների վազքը կազմում է  **$\sim 30-80$  մկմ:**

Բետա-տրոհումը բնորոշ է ինչպես ծանր, այնպես էլ թեթև միջուկներին:

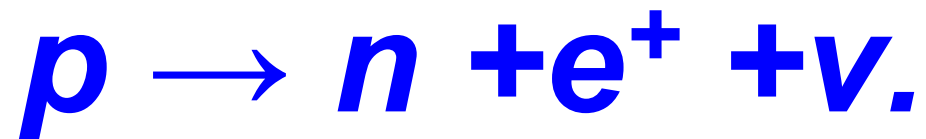
Արդյունքում ստացվում են իզոբար-միջուկներ, որոնց լիցքը նախնականից տարբերվում է 1-ով:

Հայտնի են երկու տեսակի  $\beta$ -տրոհում.

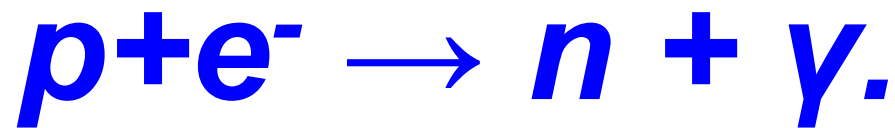
ա)  $\beta$ -տրոհում, որի ժամանակ միջուկից դուրս է թռչում էլեկտրոն և հականեյտրինո, իսկ միջուկի  $Z$  ավելանում է մեկով: Միջուկի ներսում նեյտրոնը վեր է ածվում պրոտոնի:



բ)  $\beta^+$ -տրոհում, որի ժամանակ միջուկից դուրս է թռչում պոզիտրոն և նեյտրինո, և առաջանում է միջուկ մեկով պակաս  $Z$ -ով:



$\beta$ -տրոհման տեսակներից է նաև միջուկի կողմից ուղեծրային էլեկտրոնի զավթումը (էլեկտրոնային զավթումը կամ K-զավթումը)։



Այս դեպքում տրոհումը ուղեկցվում է **ռենտգենյան** **բնութագրային ճառագայթումով**, որն առաջանում է երբ թաղանթի ազատված տեղին անցնում են էլեկտրոններ **ավելի** **բարձր** **թաղանթներից**։

Ինչպես և  $\alpha$ -տրոհումը՝  $\beta$ -տրոհումը նույնպես ուղեկցվում է համեմատաբար բարձր էներգիայի գամմա-քվանտների արձակումով: Էներգիան հասնում է 2–2,5 ՄէՎ:

**Z** ատոմային համարով իզոտոպի համար  $\beta$ -տրոհման տեսակը պայմանավորված է միջուկում նեյտրոնների քանակով: Նեյտրոնների պակասով միջուկների համար բնորոշ է  $\beta^-$ -տրոհումը, իսկ նեյտրոն ավելցուկով միջուկների համար՝  $\beta^+$ -տրոհումը կամ էլ էլեկտրոնային զավթումը:



Ի տարբերություն  $\alpha$ -տրոհմանը,  
դուրս թռչող և դրական և  
բացասական նշանով  $\beta$ -մասնիկների  
էներգետիկ սպեկտրը անընդհատ է  
էներգիաների բավականին լայն  
տիրույթում: Էլեկտրոնների և  
պոզիտրոնների միջին էներգիան  
հիմնականում գտնվում է 0,2 - 0,5  
ՄԷՎ տիրույթում:

Էլեկտրոնների փոքր զանգվածի պատճառով կենսաբանական հյուսվածքներում նրանց վազքը շատ ավելի մեծ է, քան  $\alpha$ -մասնիկներինը և կազմում է մի քանի սանտիմետր: Իսկ պոզիտրոնի վազքի երկարությունը շատ ավելի քիչ է, քանի որ նրանք շատ արագ միանում են էլեկտրոններին և ենթարկվում աննիհիլյացիայի ( $e^- + e^+$ )  $\sim 10^{-10}$  վայրկյանի ընթացքում առաջացնելով երկու հակառակ ուղղություններով թռչող զամմա-քվանտներ ամեն մեկը 0,511 էներգիայով:

# ՆԵՅՏՐԻՆՈ

Նեյտրինո (իտալերեն *neutrino* — նեյտրոնիկ, փոքրիկ նեյտրոն, փաղաքշական *neutrone* բառից — չեզոք ֆունդամենտալ մասնիկ է, սպինը  $\frac{1}{2}$ , մասնակցում է միայն թույլ և գրավիտացիոն փոխազդեցություններին և դասվում է լեպտոնների դասին:

Ցածր էներգիաների նեյտրինոները **չափազանց թույլ են փոխազդում նյութի հետ**: Այսպես օրինակ **3—10 ՄԷՎ** էներգիայով նեյտրինոն ջրում ունի ազատ վազքի երկարություն մոտավորապես  **$10^{18}$  մետր**, որը կազմում է մոտ **100 լուսային տարի**:

# ԶԱՆԳՎԱԾ

Նեյտրինոյի զանգվածը գրոյական չէ,  
բայց այդ զանգվածը **ՉԱՓԱԶԱՆՑ** փոքր  
**է**: Բոլոր տեսակների նեյտրինոների  
զանգվածների գումարների  
գնահատականի վերին սահմանը  
կազմում է ընդամենը **0,28 ԷՎ**.

Նեյտրինոյի զանգվածի ճշգրիտ արժեքի  
մասին տեղեկությունը շատ կարևոր է  
կոսմոլոգիայում այսպես կոչված  
թաքնված զանգվածի մասին երևույթի  
բացատրության համար, քանի որ չնայած  
զանգվածի շատ փոքր արժեքի  
հնարավոր է, որ նեյտրինոների  
խտությունը տիեզերքում բավարար  
բարձր է, որ ազդի միջին խտության  
վրա:

# Հայտնագործության պատմությունը

XX դարի 20-30-ական թվականներին  
միջուկային ֆիզիկայի հիմնական  
խնդիրներից մեկն էր **β-տրոհումը**՝ այդ  
երևույթի ընթացքում միջուկից դուրս  
թռչող էլեկտրոնների սպեկտրը, որը  
անզլիացի գիտնական **Ջեյմս Չադվիկը**  
չափել էր դեռ 1914 թվականին  
**ԱՆԸՆԴՅԱՏ ԷՐ!** Այսինքն միջուկից դուրս  
են թռչում **ՏԱՐԲԵՐ** էներգիաներով  
**էլեկտրոններ:**

Մյուս կողմից 1920-ական  
թվականներին քվանտային  
մեխանիկայի զարգացումը բերեց  
ատոմային միջուկում էներգետիկ  
մակարդակների դիսկրետության  
հասկացողությանը: Այդ  
ենթադրությունը 1922 թվականին  
արել էր ավստրիացի ֆիզիկոս **Լիզա**  
**Մեյտները:**

Այսինքն միջուկի տրոհման հետևանքով  
դուրս թռչող էլեկտրոնների էներգետիկ  
սպեկտրը պետք է լինի դիսկրետ և  
ունենա էներգիաների այնպիսի  
արժեքներ, ինչպիսիք են այն էներգետիկ  
մակարդակների միջև  
տարբերությունները, որոնցում տեղի է  
ունենում անցումը տրոհման ընթացքում:  
Այդպիսինն է օրինակ ալֆա-մասնիկների  
սպեկտրը ալֆա-տրոհման ժամանակ:



Այսպիսով **β-տրոհման սպեկտրի**  
**անընդհատությունը կասկածի տակ է**  
**դնում էնտրոփայի պահպանման**  
**օրենքը:**

Հարցը այնքան սուր էր դրված, որ  
**1931 թվականին դանիացի ֆիզիկոս**  
**Նիլս Բորը** Հռոմի կոնֆերանսում  
ելույթ ունեցավ **էնտրոփայի**  
**պահպանման օրենքի**  
**անկատարության մասին**  
**գաղափարով:**

Մակայն կար և այլ բացատրություն՝  
“կորցրած” էներգիան իր հետ տանում է  
մեկ այլ անհայտ և ԱՆՆԿԱՏ մասնիկ:

Նյութի հետ չափազանց թույլ փոխազդող  
մասնիկի գոյության մասին վարկածը  
1930 թվականի դեկտեմբերի 4-ին առաջ  
քաշեց Պաուլին, բայց ոչ թե հողվածում,  
այլ Տյուբինգենում անցկացվող  
ֆիզիկական կոնֆերանսի  
մասնակիցներին ուղղված ոչ  
պաշտոնական նամակում:

“... ի նկատի ունենալով ...  
անընդհատ  $\beta$ -սպեկտր, ես  
ձեռնարկեցի “փոխանակման  
վիճակագրությունը” և էներգիայի  
պահպանման օրենքը փրկելու մի  
հուսահատ փորձ: Ի նկատի ունեմ՝ կա  
հավանականություն այն բանի, որ  
միջուկում գոյություն ունեն  
էլեկտրականորեն չեզոք մասնիկներ,  
որոնք ես կանվանեմ նեյտրոն և որոնք  
ունեն սպին  $1/2$ ....

Այդ այսպես կոչված “նեյտրոնի”  
զանգվածը ըստ մեծության պետք է որ  
համեմատելի լինի էլեկտրոնի  
զանգվածին և ամեն դեպքում պետք է  
լինի ոչ ավելին քան 0.01 պրոտոնի  
զանգվածը:

Այդ դեպքում անընդհատ  $\beta$ - սպեկտրի վարքը կդառնար հասկանալի, եթե ենթադրել որ  $\beta$ -տրոհման ընթացքում էլեկտրոնի հետ համատեղ ճառագայթվում է նաև “նեյտրոն”, այնպես որ “նեյտրոնի” և էլեկտրոնի էներգիաների գումարը մնում է հաստատուն:

Ես ընդունում եմ, որ այսպիսի տարբերակը առաջին հայացքից թվում է քիչ հավանական... Մակայն եթե չդիմես **ռիսկի՝ չես հաղթի:** Անըդհատ  $\beta$ -սպեկտրի հետ կապված իրավիճակի բարդությունը շատ լավ ցուցադրեց իմ հարգելի նախնի **պ-ն Դեբայը**, որը վերջերս Բրյուսսելում ասաց ինձ. “...Դրա մասին ավելի լավ է ընդհանրապես չստաձել, ինչպես օրինակ նոր հարկերի մասին...”

Մա մեջբերում էր բաց նամակից, որն  
ուղղված էր **Տյուրինգենում**  
հավաքված ռադիոակտիվությամբ  
զբաղվող ֆիզիկոսներին:

Հետագայում “նեյտրոն” անվանվեց ինչպես  
պարզվեց **մեկ այլ տարրական մասնիկ,**  
որը պրոտոնի հետ համատեղ ատոմային  
միջուկի բաղադրիչ է: Իսկ Պաուլիի կողմից  
կանխագուշակված մասնիկը իտալացի  
**Էնրիկո Ֆերմիի** կողմից **1933-1934**  
թվականների **աշխատանքներում**  
**իտալական ոճով անվանվեց “նեյտրինո”:**



1933 թվականին Բրյուսսելում  
կայացած Սոլվեյան կոնգրեսում  
**Պաուլին** ելույթ ունեցավ մի  
ռեֆերատով, որում նկարագրված  
էր  **$\beta$ -տրոհման մեխանիզմը  $\frac{1}{2}$**   
**սպին ունեցող թեթև չեզոք**  
**մասնիկի մասնակցությամբ:**  
Փաստորեն այդ ելույթը  
նեյտրինոյին նվիրված առաջին  
պաշտոնական հրատարակումն էր:

# Հայտարարություն լույսի արագությունը հնարավոր գերազանցման մասին

2011 թվականի սեպտեմբերի 22-ին [OPERA](#) գիտական կոլաբորացիան հայտարարեց մյուռնային նեյտրինոների կողմից լույսի արագությունը  $0,00248\%$ -ով գերազանցելու հնարավոր գրանցման մասին:

Շվեյցարիայի CERN կենտրոնում գործող SPS արագացուցչին պրոտոնային փնջից ծնված նեյտրինոները գալիս հասնում էին Գրան-Սասո (Իտալիա) ստորգետնյա լաբորատորիայում գտնվող դետեկտորին:

Այդ լաբորատորիան **SPS** արագացուցչից գտնվում է **730** կմ հեռավորության վրա: Չափումները ցույց տվեցին, որ նեյտրինոները գալիս հասնում են դետեկտորին հաշվարկային ժամկետից  **$61 \pm 10$**  նանովայրկյան ավելի շուտ:

Այդ արդյունքը ստացվել էր 3 տարի չափումներ կատարելուց հետո մոտ 16 հազար նեյտրինոյան դեպքերի արդյունքները միջինացնելուց հետո: Ֆիզիկոսները դիմեցին իրենց գործընկերներին խնդրելով ստուգել այդ արդյունքները նման գիտափորձերում օրինակ [MINOS](#) գիտափորձում Չիկագոյի մոտակայքի [Fermilab](#) կետրոնում:

Մեկ ամսում պրեպրինտների շտեմարանում կուտակվեցին ավելի քան **90** հոդված, որոնք առաջարկում էին գրանցված երևույթի հնարավոր բացատրություններ:

2012 թվականի փետրվարի 23-ին **OPERA** կոլաբորացիան հայտարարեց երկու նախօրոք հաշվի չառած երևույթների մասին, որոնք կարող էին ազդեցություն ունենալ նեյտրինոների թռիչքի ժամանակի չափման վրա:

Այդ գործունների ազդեցության  
աստիճանը ստուգելու նպատակով  
որոշվեց նոր գիտափորձ անցկացնել  
նեյտրինային փնջերով: 2011 թվականի  
նոյեմբեր-դեկտեմբեր ամիսներին այդ  
նույն լաբորատորիայում (**ICARUS**  
գիտափորձը) անցկացված անկախ  
հետազոտությունները **նեյտրինոների**  
**որևէ գերլուսային արագություններ**  
**չգրանցեցին:**

2012 թվականի մայիսին **OPERA**

գիտափորձում կատարվեցին մի շարք  
վերահսկիչ գիտափորձեր, որոնց  
արդյունքում եկան վերջնական  
եզրակացություն, որ գերլուսային  
արագության սխալ ենթադրության

**պատճառն է եղել տեխնիկական սխալը:**

Օպտիկական միակցիչը (разъем) վատ  
էր հագցրած իր բնիկում, որը բերում էր  
ժամացույցում 72 նանովայրկյանի  
հապաղմանը:

Երկրագնդի վրա 1 քառակուսի  
սանտիմետր մակերեսով ամեն  
վայրկյան անցնում է  $6 \times 10^{10}$   
արեգակից արձակած նեյտրինո,  
սակայն դրանց ազդեցությունը նյութի  
վրա գործնականում ոչ մի կերպ չի  
նկատվում: Միաժամանակ բարձր  
էներգիաների նեյտրինոները  
հաջողությամբ հայտնաբերվում և  
գրանցվում են թիրախի հետ իրենց  
փոխազդեցության հաշվին: