

Факултет

ДЕТЕКЦИЈА И СПЕКТРОМЕТРИЈА

РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА

за физичку хемију Београд

Основни принципи

- ▣ ефекти које радиоактивно зрачење испољава при проласку кроз материјалну средину представљају основ за његову детекцију.
 - јонизација
 - ексцитација
 - депоновање енергије
 - хемијске реакције
 - нуклеарне реакције

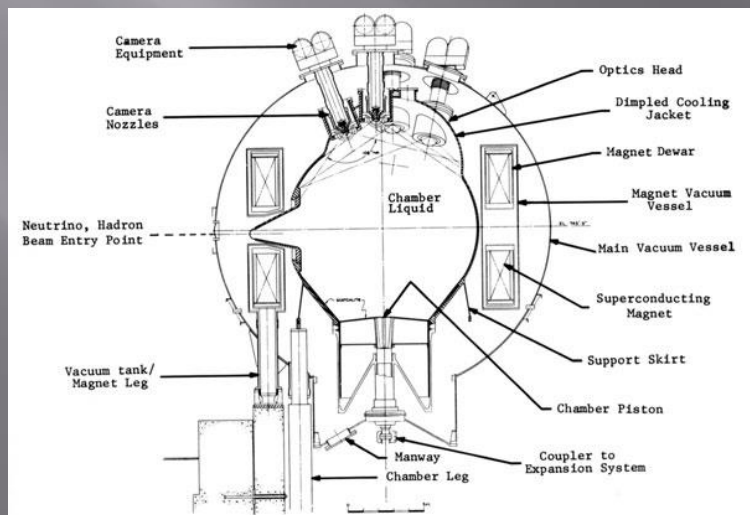
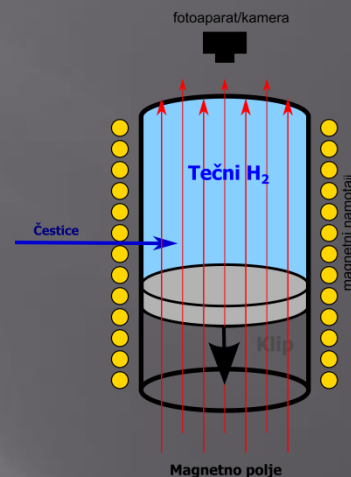
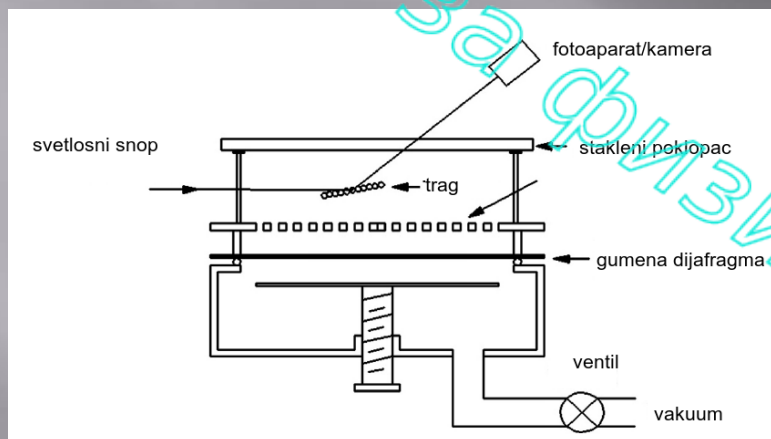
Детектори трагова

- ▣ Детекција трагова честица које настају у радиоактивном распаду
- ▣ На основу димензија трагова, пре свега дужине, могуће је одредити масу, наелектрисање као и енергију емитованих честица



Маглене и коморе за детекцију мехурића

Траг је привремен и траје мање од секунде



Чврсти детектори трагова

- ▣ Обезбеђују трајнији запис трагова
- ▣ Материјал детектора фотографска емулзија, пластика, стакло.
- ▣ Нуклеарна емулзија садржи до 80 % AgBr (8 x више од стандардне фотографске) у желатину.
- ▣ Трагови из пластичних детектора се могу добити нагризањем органским растварачима; из стакла нагризањем са HF

■ Трагови се пре поновне употребе детектора морају обрисати (хромна киселина, пара H_2O_2 ...)

■ Примене детектора трага

- Детекција и идентификација честица из космичког зрачења
- *in situ* анализа нуклеарних реакција
- Детекција подземних депозита уранијума
- Предикција земљотреса
- Одређивање концентрације радона у затвореним просторијама
- Одређивање садржаја уранијума

Опште карактеристике детектора радиоактивног зрачења

- У основи три типа детекције
- Преко створених носиоца наелектрисања
 - Јонизациона комора
 - Пропорционални бројач
 - Гајгер-Милеров бројач
 - Полупроводнички детектори
- Преко побуђивања средине – сцинтилациони детектори
- Преко нуклеарних реакција – детектори неутрона

- ▣ Јонизујућа честица у детектору производи наелектрисање

$$\Delta Q = e E_g \eta \omega^{-1}$$

e – елементарно наелектрисање

E_g – енергија честице изгубљена у детектору

η – ефикасност сакупљања наелектрисања

ω – енергија потребна за формирање пара носица наелектрисања

- ▣ Наелектрисање се генерише у кратком временском периоду (10^{-4} до 10^{-9} s). Његово сакупљање на електродама система генерише краткотрајну струју (импулс наелектрисања)

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

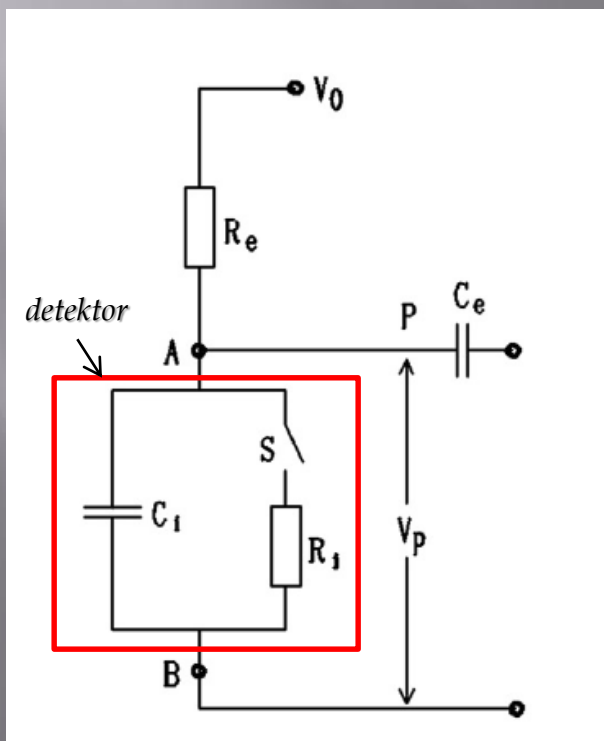
Које се преко отпорника (најчешће) преводи у напонски

импулс $\Delta U = R \frac{Q}{\Delta t}$

Додатна подела детектора

- само региструју радиоактивно зрачење (не разликују тип ни енергију честице)
- Региструју и могу да мере енергију упадног зрачења

Електрична шема уређаја за детекцију



Фаза 1.

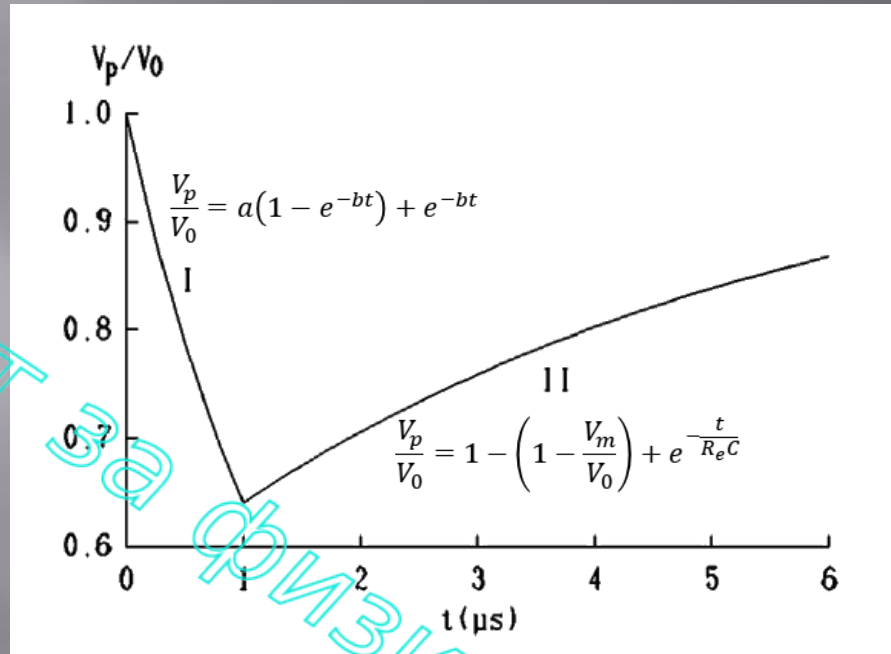
$$\frac{V_p}{V_0} = a(1 - e^{-bt}) + e^{-bt}$$

$$a = \frac{R_i}{R_i + R_e}$$

$$b = \frac{1}{aR_eC} \quad C = C_e + C_i$$

Фаза 2

$$\frac{V_p}{V_0} = 1 - \left(1 - \frac{V_m}{V_0}\right) e^{-\frac{t}{R_eC}}$$



Укупно пренесено наелектрисање у процесу је

$$\Delta Q = -en_i a$$

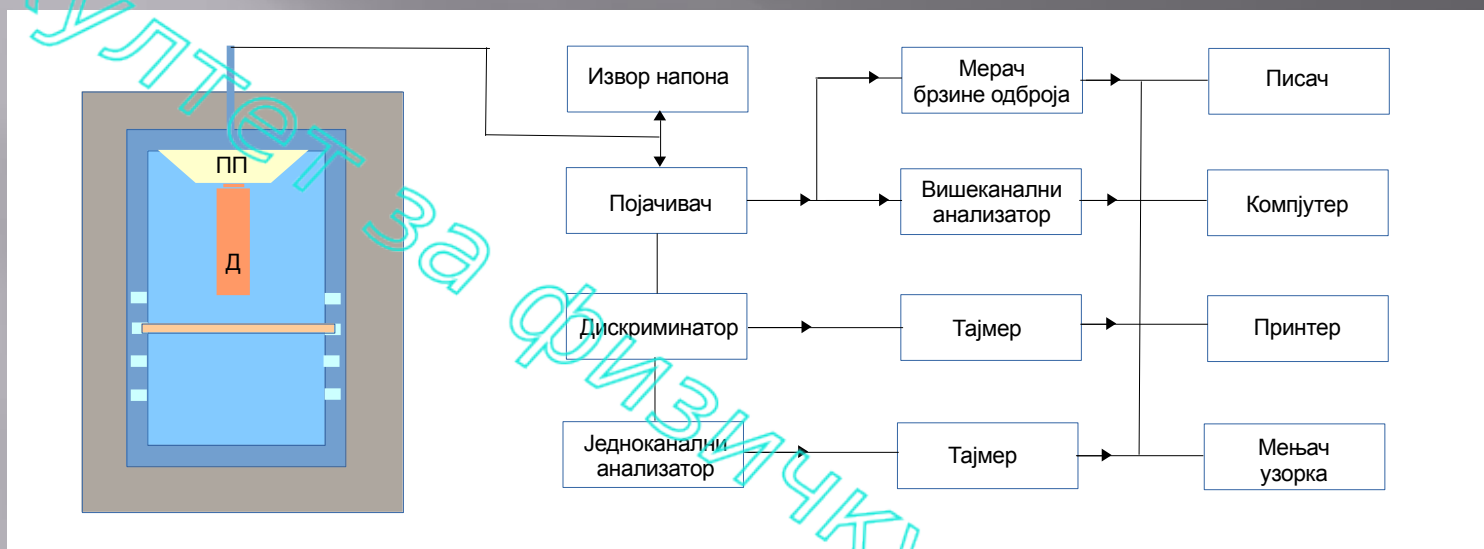
a - је фактор умножавања (гасни детектори $\gg 1$, чврсти детектори $= 1$)

Максимални пад напона је

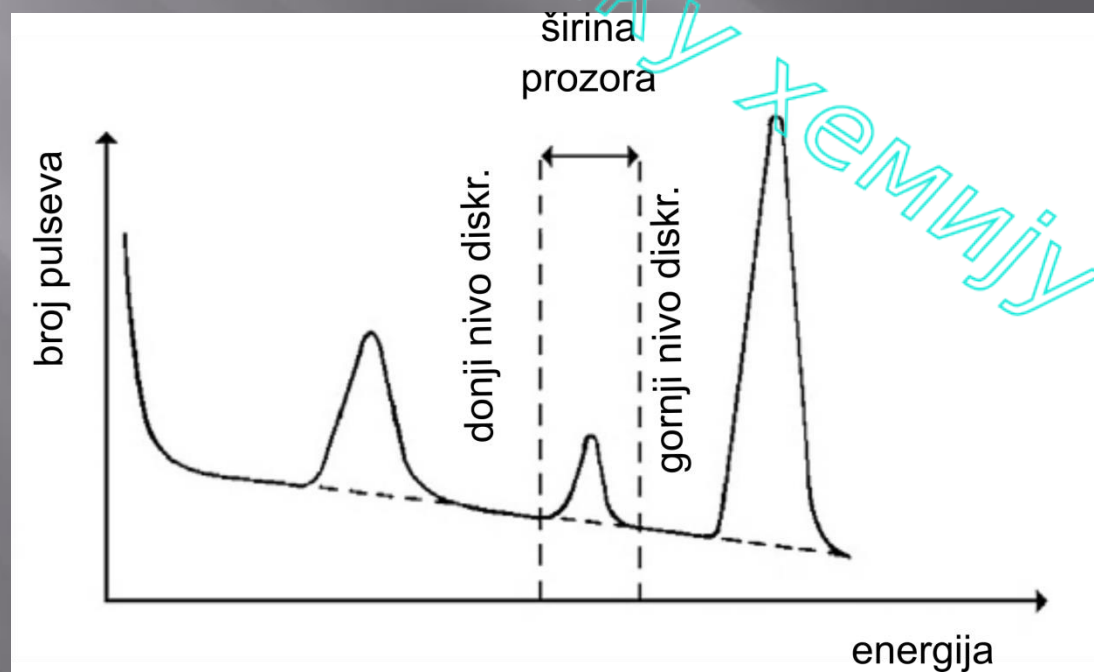
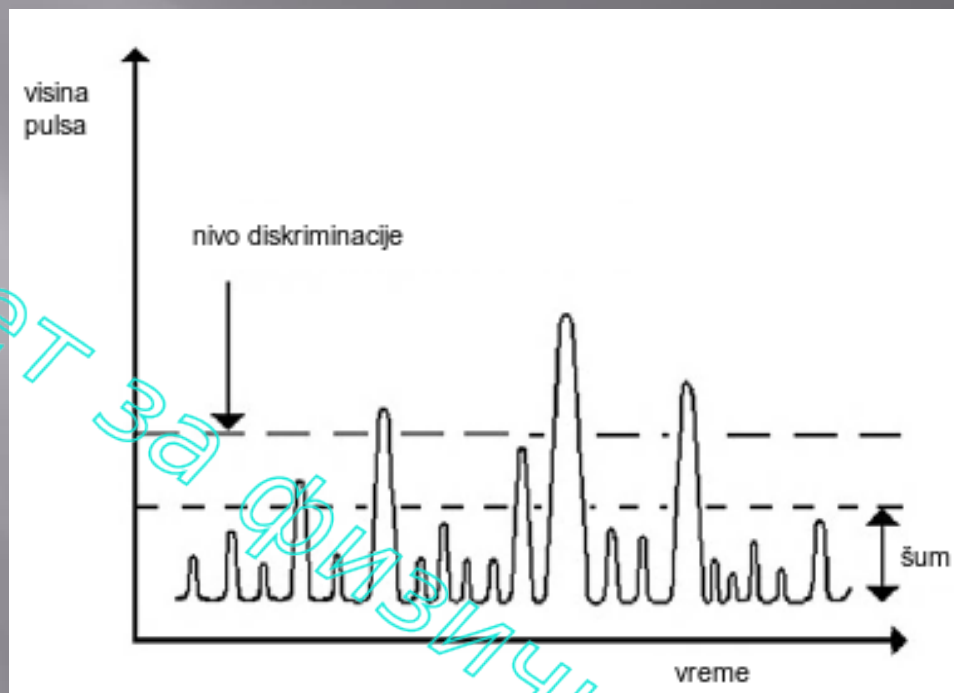
$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C}$$

Нпр. За 100000 носиоца наелектрисања и $C = 100 \text{ pF}$ $\Delta U = 16 \text{ mV}$

Детекциони системи

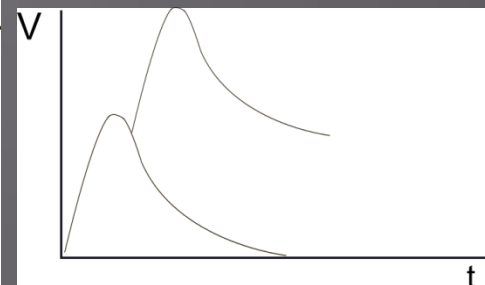
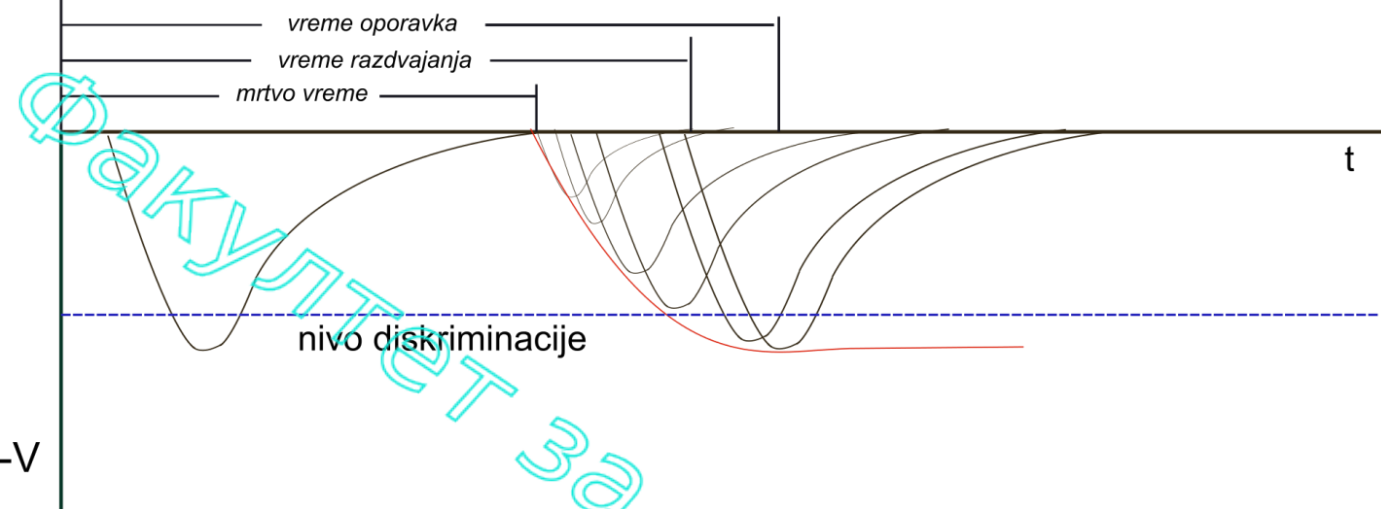


- Детектор је везан за **претпојачивач** који има услугу појачања одговора детектора $10-10^4$ пута (10 за ГМ детектор, 10^4 за полупроводничке детекторе)
- Дискриминатор** служи за елиминцију импулса (**шум**) који поричу од термичког шума детектора, претпојачивача и електронских кола. Он одређује праг висине импулса који ће бити регистровани.

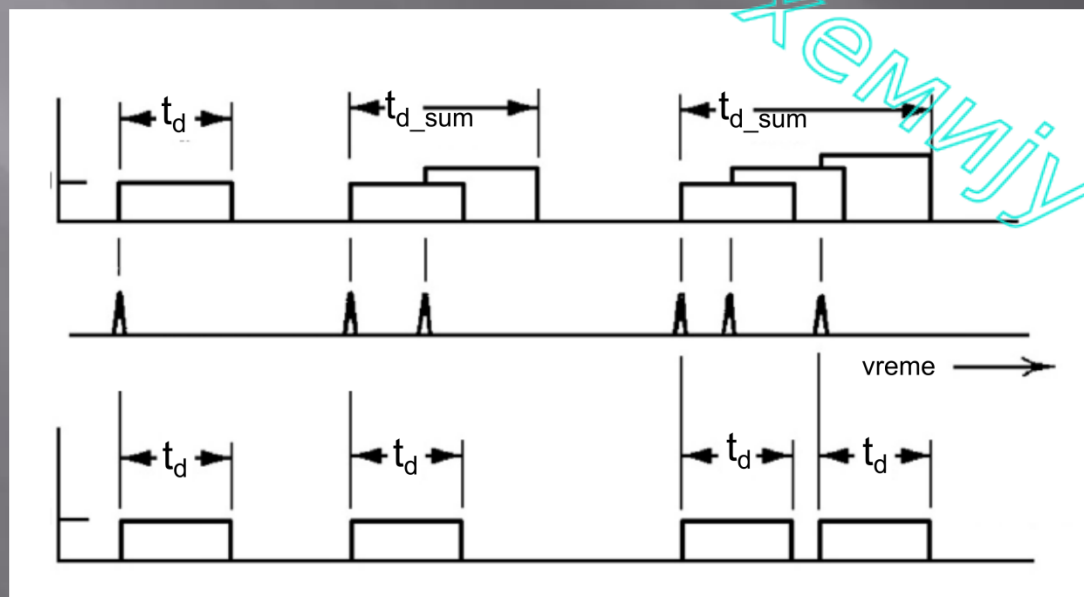


Време разлагања пулсева и мртво време

- ▣ Карактеристика свих детектора је постојање периода када детектор не региструје нове импулсе је **мртво време**.
- ▣ При већим брзинама бројања може доћи до **нагомилавања (*pile-up*) импулса** тако да их детектор региструје као један.
- ▣ Време које је потребно да се сва узастопна импулса региструју као један је **време разлагања**.
- ▣ Оно што се стварно одређује као мртво време је време разлагања



- Два модела мртвог времена без парализе детекције са парализом детекције



Корекција на мртво време

▣ Систем без парализе

- укупно изгубљено време је $\tau_u = N_{obs}\tau$

N_{obs} - укупан број импулса регистрованих за време мерења
 τ - мртво време

Реални (кориговани) број импулса

$$R_r = \frac{R_{obs}}{(1 - R_{obs}\tau)}$$

или

$$R_r = R_{obs} + R_{obs}^2\tau$$

▣ Систем без парализе

$$R_r = R_{obs}e^{R_{obs}\tau}$$

Методе одређивања мртвог времена

- ▣ Метода два извора А и В приближно једнаких активности
 - Мере се извори засебно, а затим заједно

$$\begin{aligned}x &= R_a R_b - R_{ab} R_0 \\y &= R_a R_b (R_{ab} + R_0) - R_{ab} R_0 (R_a + R_b) \\z &= \frac{y(R_a + R_b - R_{ab} - R_0)}{x^2} \\\tau &= \frac{x[1 - (1 - z)^{1/2}]}{y}\end{aligned}$$

- Метода мерења активности краткоживућег радионуклида

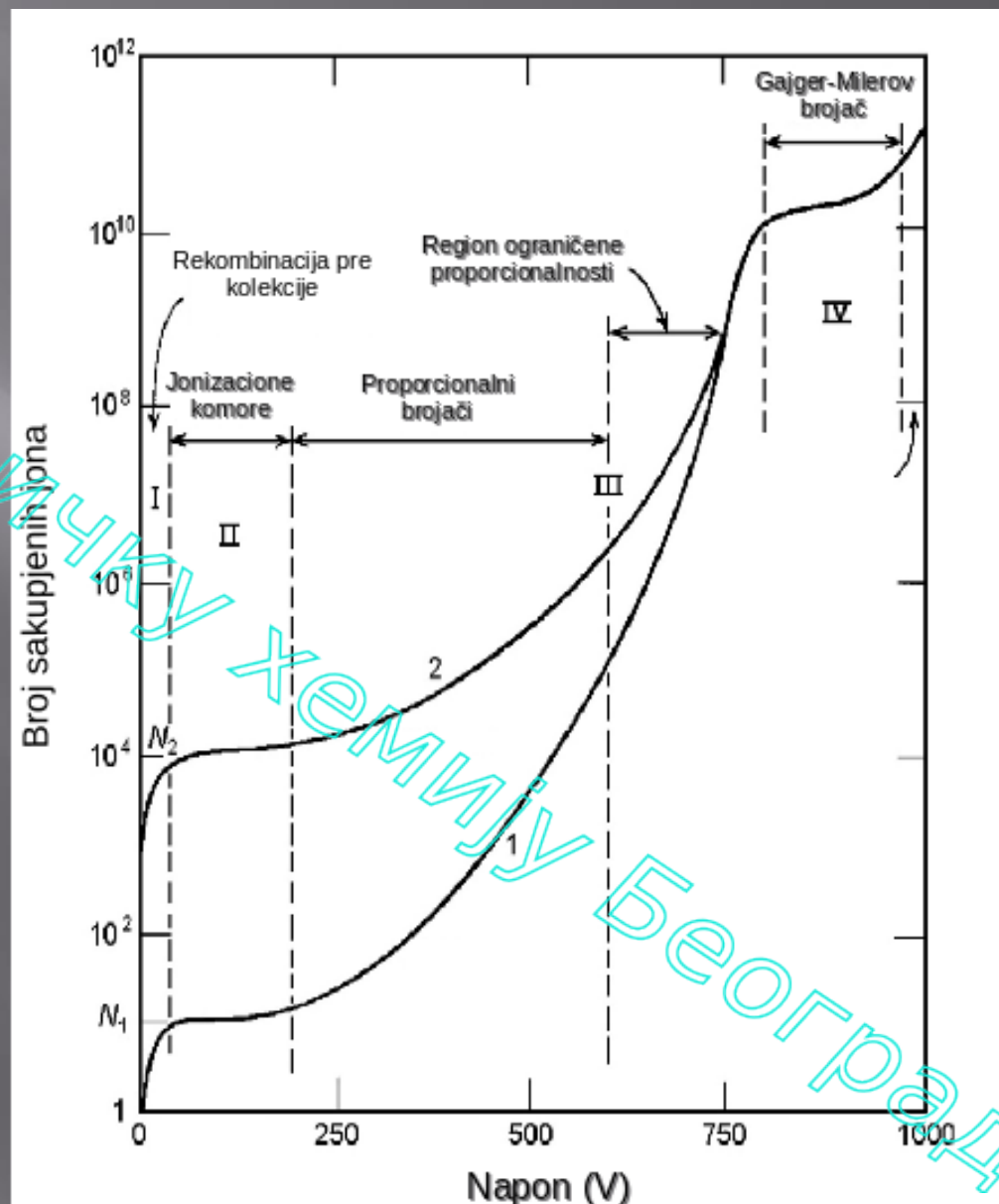
$$R_{obs} e^{\lambda t} = R_0 - R_0 \tau R_{obs}$$

Мртво време се одређује са графика

$$R_{obs} e^{\lambda t} = f(R_{obs})$$

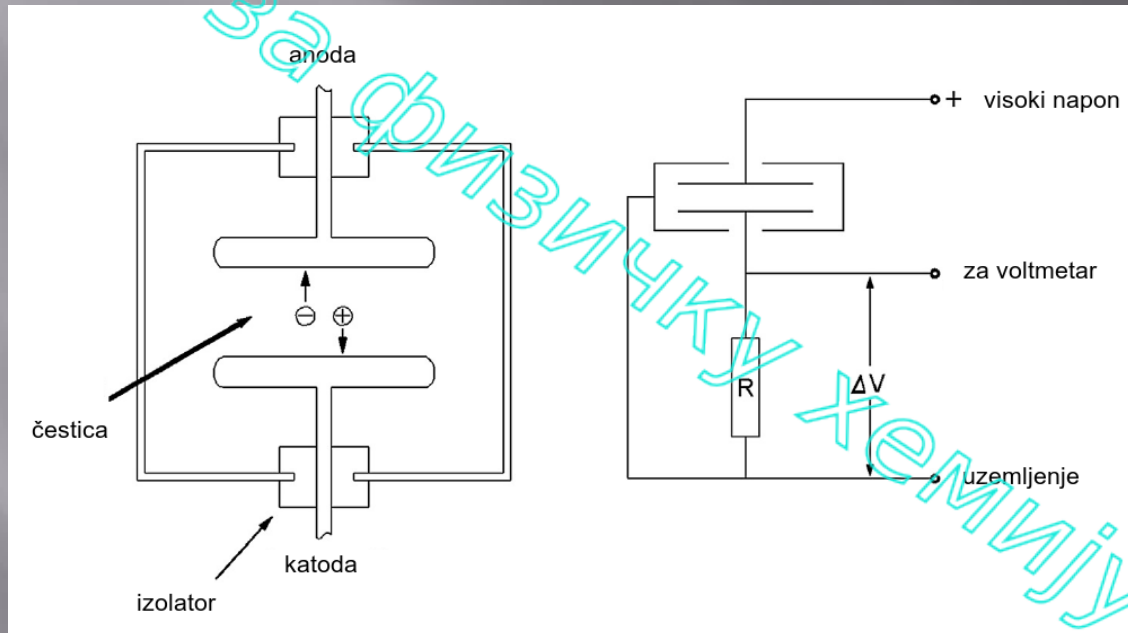
Гасни детектори-опште карактеристике

- Сви гасни детектори су базирани на сакупљању јона који настају под дејством радиоактивног зрачења
- Уобичајени дизајн укључује централну аноду (r око $20\text{ }\mu\text{m}$) у чијој се непосредној близини врши мултипликација носиоца наелектрисања
- Број прикупљених јонских парова на сложен начин зависи од примењеног напона те на дијаграму $I=f(U)$ разликујемо неколико области



Јонизационе коморе

- Виде конструкционих решења (паралелне електроде, централна анода...)



- Обично су испуњене аргоном

- ▣ Зависност $\Delta U = f(U)$ указује на област напона када број регистрованих јона не расте –плато. У овој области раде јонизационе коморе.

- ▣ Вредност струје на платоу назива се струја засићења

$$I_s = e A E_{gubitak} \eta \psi_{geom} \omega^{-1}$$

- ▣ За типичне параметре код јонизационих комора

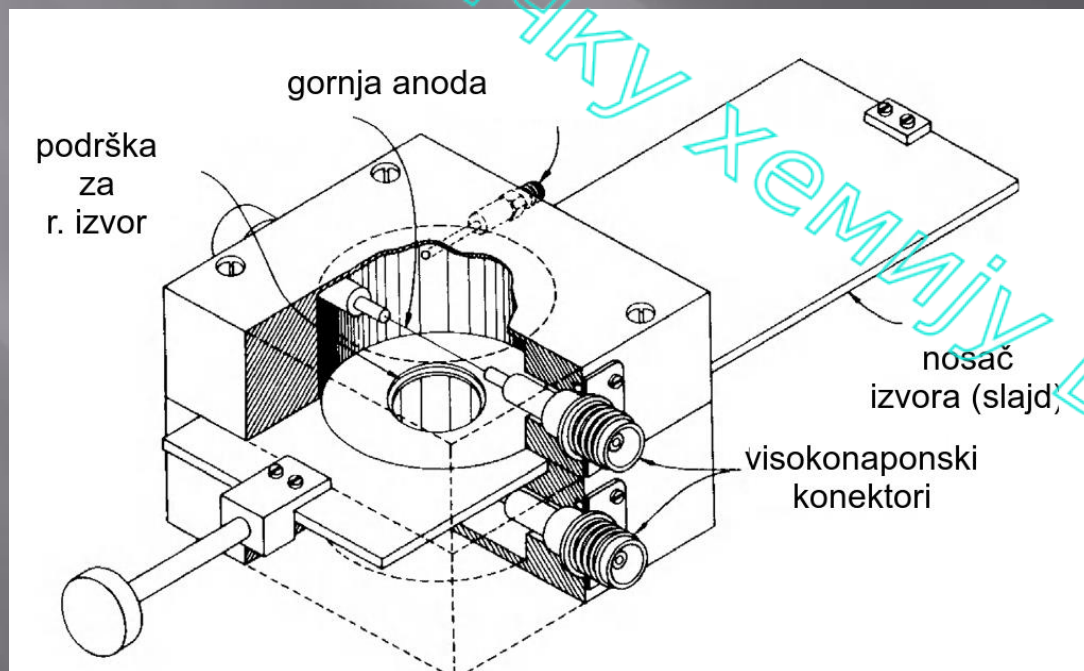
$$I_s = 1 \cdot 10^{-9} \text{ A}$$

- ▣ Ово изискује присуство велике вредности отпора R
- ▣ Често се праве и у преносном режиму и калибрисан су за мониторинг брзине дозе

Пропорционални детектори

- ▣ Раде у области где је појачање од $10^3 - 10^5$ при чему за дати напон остаје очувана пропорционалност између енергије упадне честице и броја генерисаних јонских парова.
- ▣ Формирање пулса не зависи много од мобилности позитивних јона, већ детектор генерише нове импулсе у врло кратком времену ($\tau \sim 2-5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$)
- ▣ Да би се редуковала зависност фактора мултипликације од напона у аргон се додају метан или бутан (P-односно Q-смеша)
- ▣ Две варијанте израде: затворене и отворене коморе

- Отворене коморе су погодне за мерење ниских активности (^{14}C и ^3H) у доброј геометрији
- Варијанта са BF_3 пуњењем обогаћеним са ^{10}B за детекцију неутрона

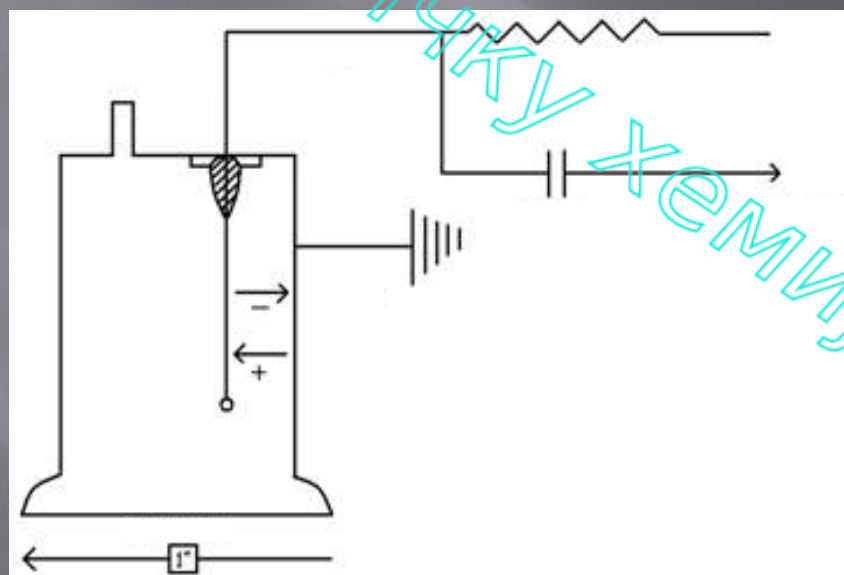


Гајгер-Милерови бројачи

- Бројач ради у области у којој долази до додатног генерисања носиоца наелектрисања и губитка пропорционалности са енергијом упадне честице
- .
- Висока осетљивост – величина напонског импулса 0,1-1 V што не захтева комплексну електронску опрему.
- Улазак честице у активну запремину изазива лавину секундарних јонских парова.
- Пошто и секундарни јони могу довести до појаве лавине електрона око катоде, неопходно је додавање органских молекула који имају нижу енергију јонизације од Ar



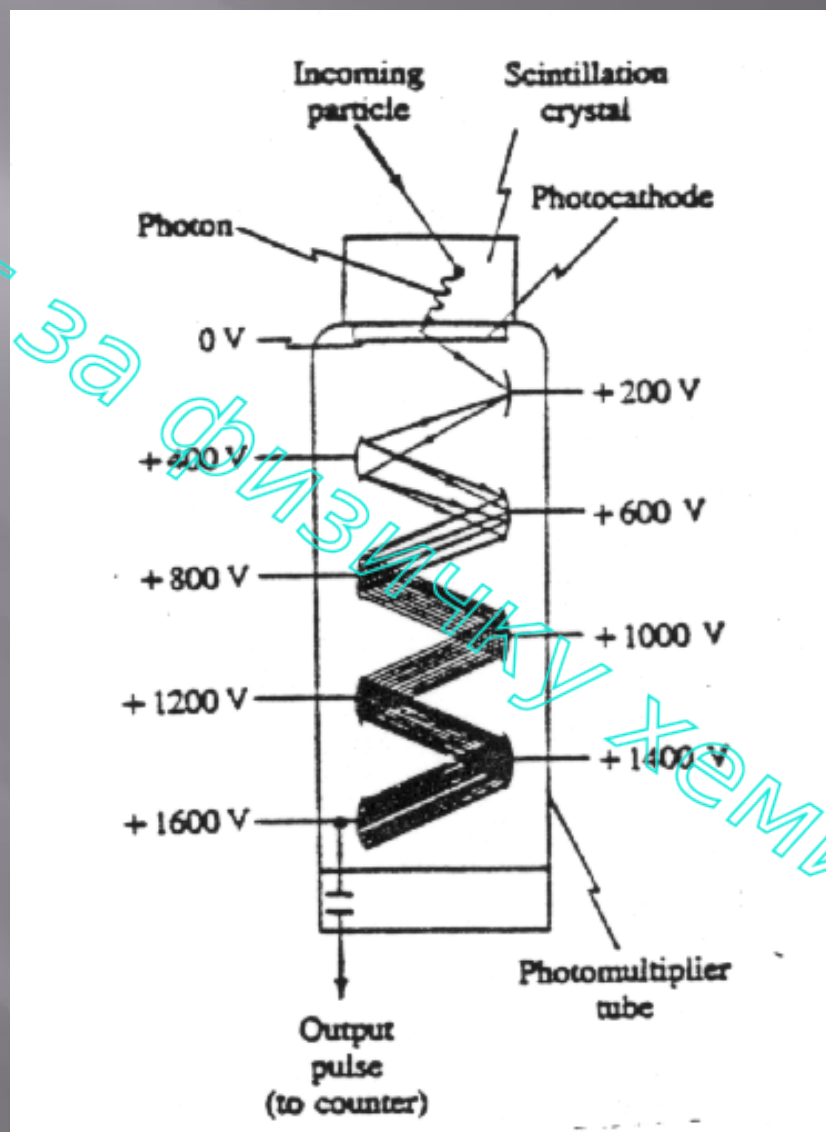
- Молекули халогених гасова се додају место органских да би се продужио век бројача
- Праћењем зависности струје од напона запажа се да постоји област у којем не постоји даљи пораст регистрованих импулса – плато бројача – он се обично користи као радни напон бројача



Сцинтилациони детектори

- Феномен запазили Rutherford & Soddy 1908.
- Пролазак зрачења кроз средину сцинтилатора изазива екситацију његових молекула на више вибрационе нивое побуђеног електронског стања
- Вибрације се деекситују термички док електронски прелаз доводи до емисије фотона из видљиве области спектра.
- Добри органски сцинтилатори: антрацен, стилбен
- Неоргански CsI(Tl), NaI(Tl)

- ❑ У неорганске сцинтилаторе додаје се одређена количина “нечистоћа” TI , In ...
- ❑ Механизам стварања сцинтилација код њих иде преко стварања парова електрон – шупљина.
- ❑ Течни сцинтилациони детектори имају нижу осетљивост али омогућавају рад у 4π геометрији и мерење ниских енергија.
- ❑ Емитована светлост се преко оптичке спреге преноси на фотокатоду фотомултипликатора (најчешће од Cs_3Sb) из које избија електроне.
- ❑ Електрони се даље у систему секундарних анода-динода умножавају.
- ❑ Крајње појачање је око 10^6



Сцинтилатор са фотомултипликатором

Течни сцинтилациони детектори

- Највећу примену су нашли у нализе биолошких и медицинских препарата
- Најчешће коришћени сцинтилатор р-терпенил
- Да би се таласна дужина емисије поклапала са максимумом осетљивости фотомултипликатора додају се молекули “шифтера”
- Проблем- ефекат гашења који испољава растворени узорак.

Детектори неутрона

- Неутрони се детектују посредно – преко честица које настају у нуклеарним реакцијама неутрона са језгрима ^{10}B , ^6Li ...

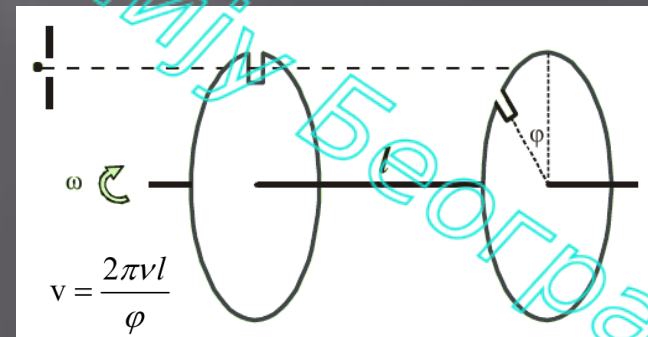
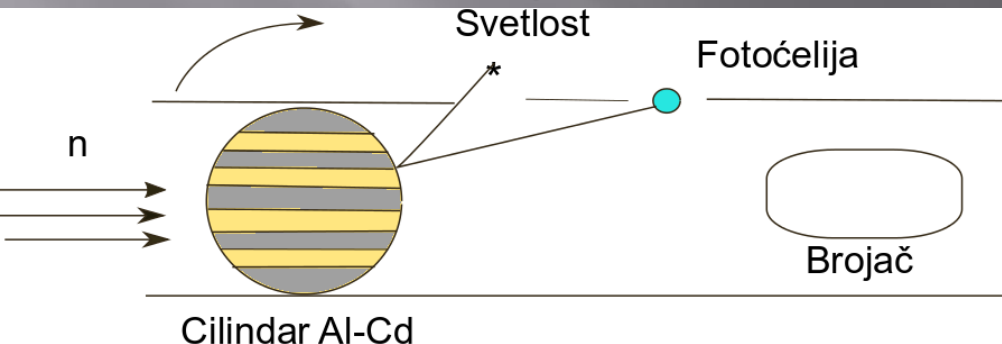


- Користе се уобичајени детектори, најчешће гасни
- фотоемулзије допирани бором
- Сцинтилациони кристали са литијумом LiCl-BaCl_2
- Преко неутронске активационе анализе

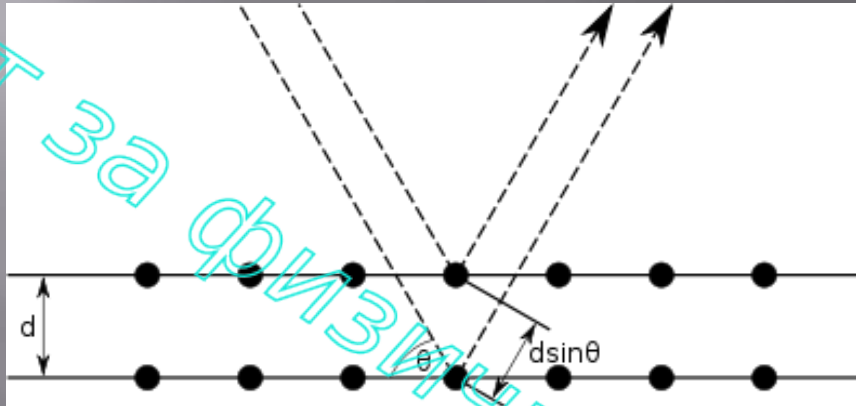
Спектрометри неутрона

врста	енергија
субтермички	$< 0,025 \text{ eV}$
термички	$\approx 0,025 (\varepsilon = kT)$
епитермички	$0,1 \text{ eV} < \varepsilon < 1 \text{ eV}$
спори	$1 \text{ eV} < \varepsilon < 100 \text{ eV}$
средње брзи	$100 \text{ eV} < \varepsilon < 100 \text{ keV}$
брзи	$100 \text{ keV} < \varepsilon < 100 \text{ MeV}$
ултрабрзи	$\varepsilon > 10 \text{ MeV}$

Механички селектори



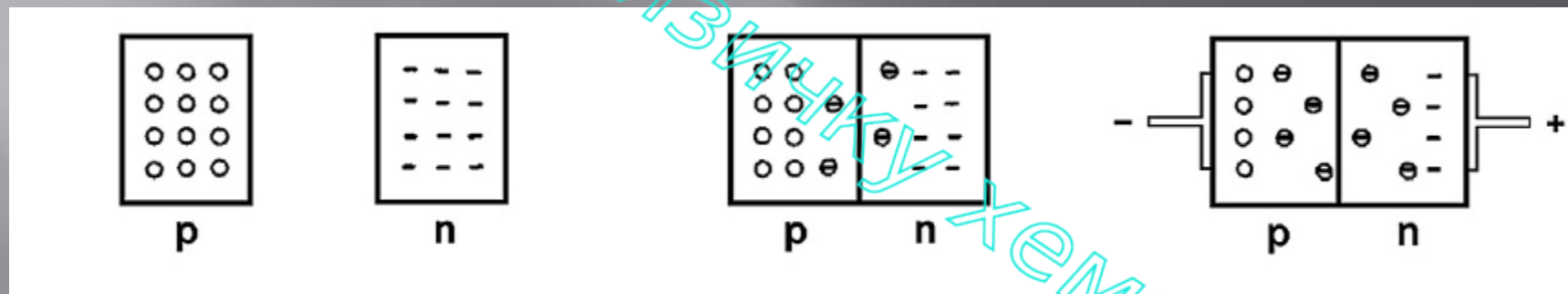
Кристални спектрометар



$$2d \sin \theta = \lambda = \frac{hc}{E}$$

Полупроводнички детектори

- ▣ Чврсте “јонизационе коморе”
- ▣ Инверзно везана р-п диода



- ▣ Предности у односу на остале детекторе:
- ▣ Мала енергија потребна за генерисање пара електрон-шупљина (3,62 eV Si, 2,74 eV Ge – Ar-15 eV)

▣ Идеални уређаји за спектрометрију радиоактивног зрачења

- Si за спектрометрију α и β зрачења
- Ge за спектрометрију γ зрачења

