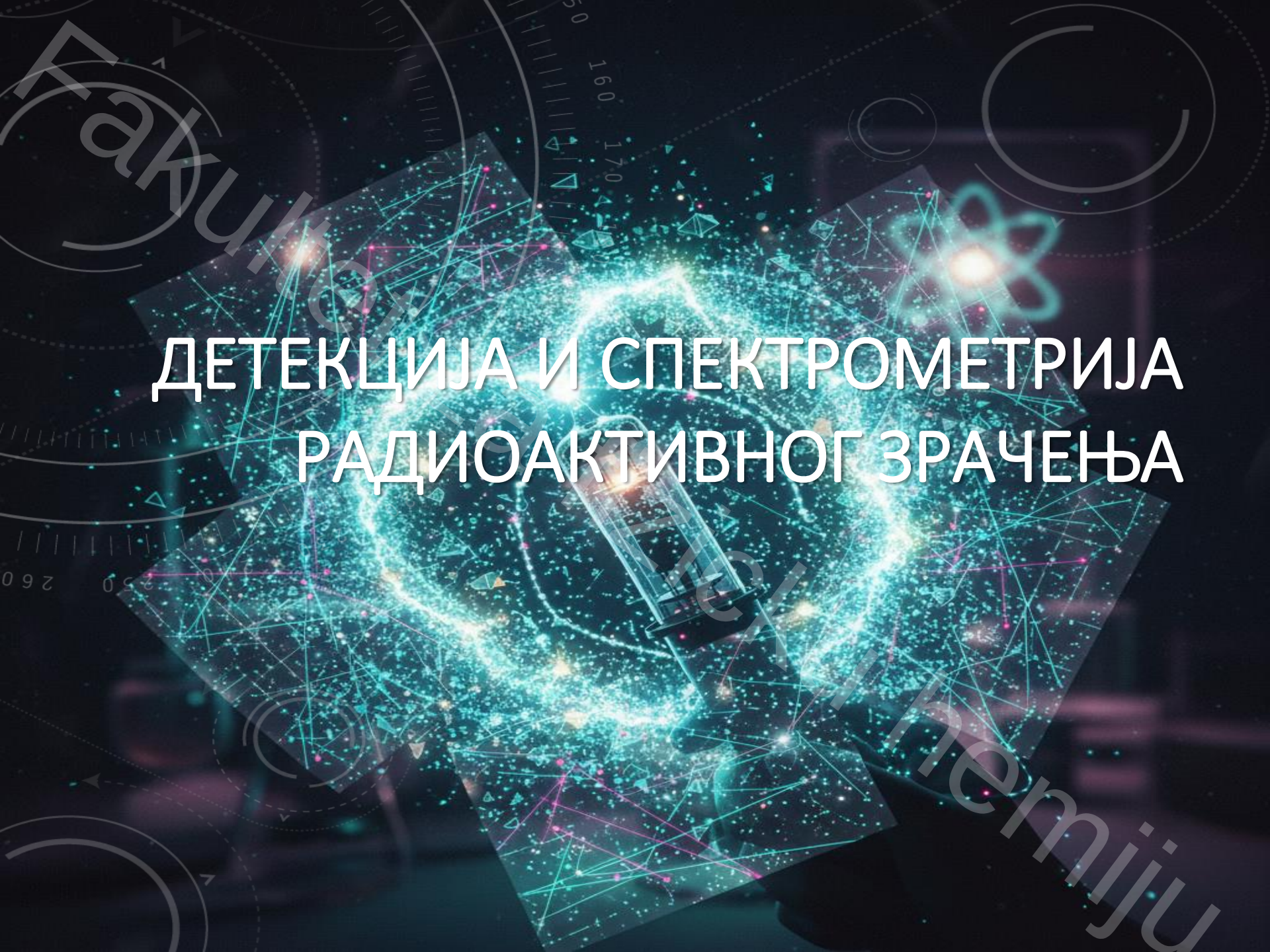




ДЕТЕКЦИЈА И СПЕКТРОМЕТРИЈА РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА

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

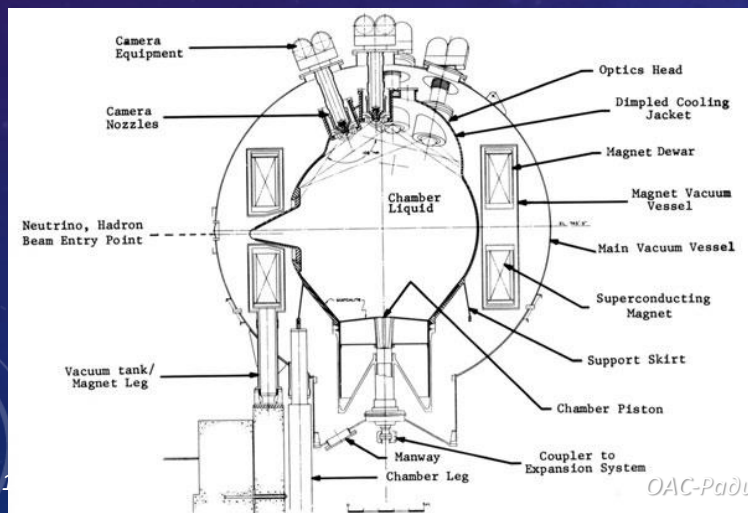
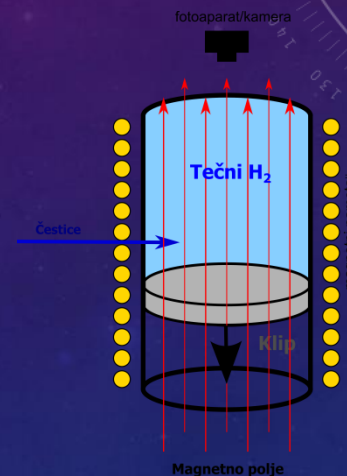
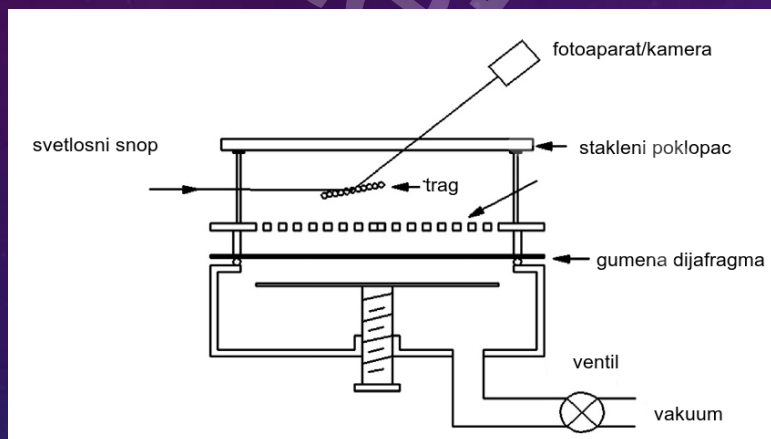
ДЕТЕКТОРИ ТРАГОВА

- 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 комбинације 1. и побуђивања средине –
сцинтилациони детектори**
- **Преко нуклеарних реакција – детектори
неутрона**

- Додатна подела детектора
 - само региструју радиоактивно зрачење (не разликују тип ни енергију честице)
 - Региструју и могу да мере енергију упадног зрачења
- Јонизујућа честица у детектору производи наелектрисање

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

e - елементарно наелектрисање

E_g – енергија честице изгубљена у детектору

η – ефикасност сакупљања наелектрисања

ω – енергија потребна за формирање пара носица наелектрисања

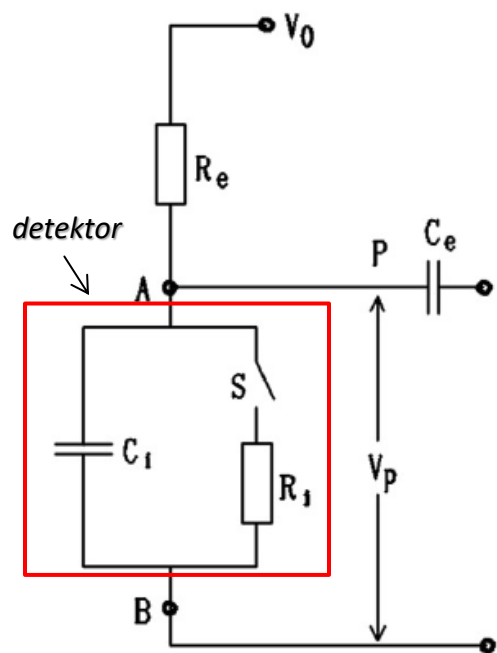
- Наелектрисање се генерише у кратком временском периоду (10^{-4} до 10^{-9} s). Његово сакупљање на електродама система генерише краткотрајну струју (импулс наелектрисања)

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

Које се преко отпорника (најчешће) преводи у напонски

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

Електрична шема уређаја за детекцију



Фаза 1.

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

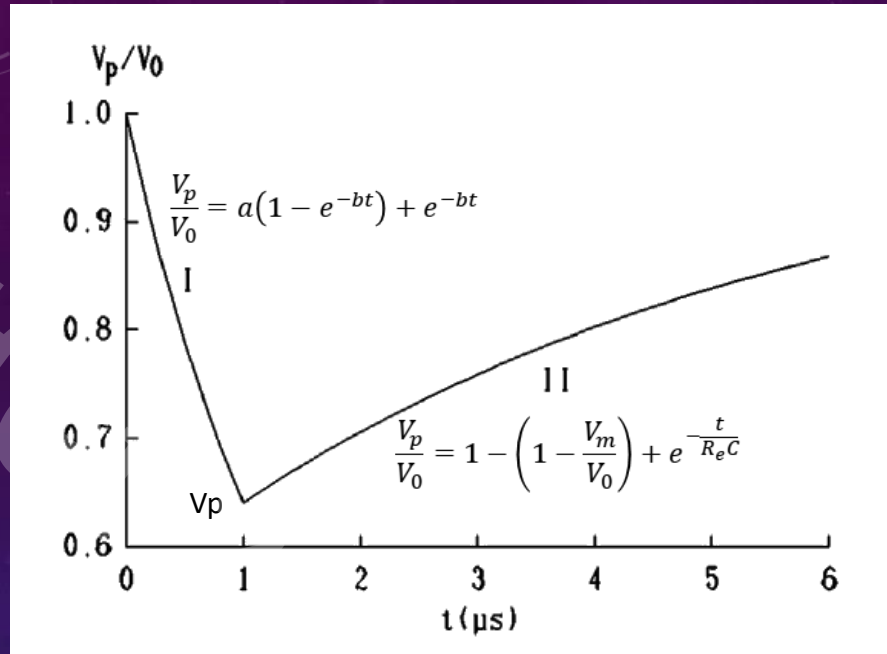
$$a = \frac{R_i}{R_i + R_e}$$

$$b = \frac{1}{aR_eC}$$

$$C = C_e + C_i$$

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

$$\Delta Q = -en_i a$$

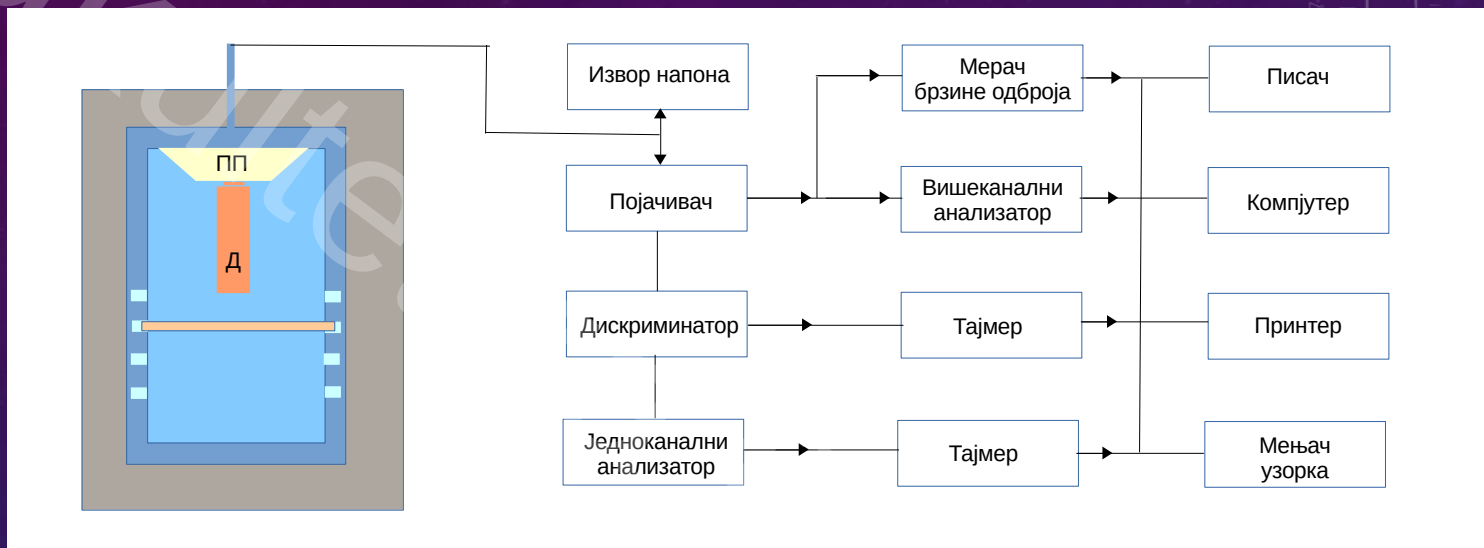
a - је фактор умножавања (гасни детектори $>>1$, чврсти детектори $=1$)

Максимални пад напона је

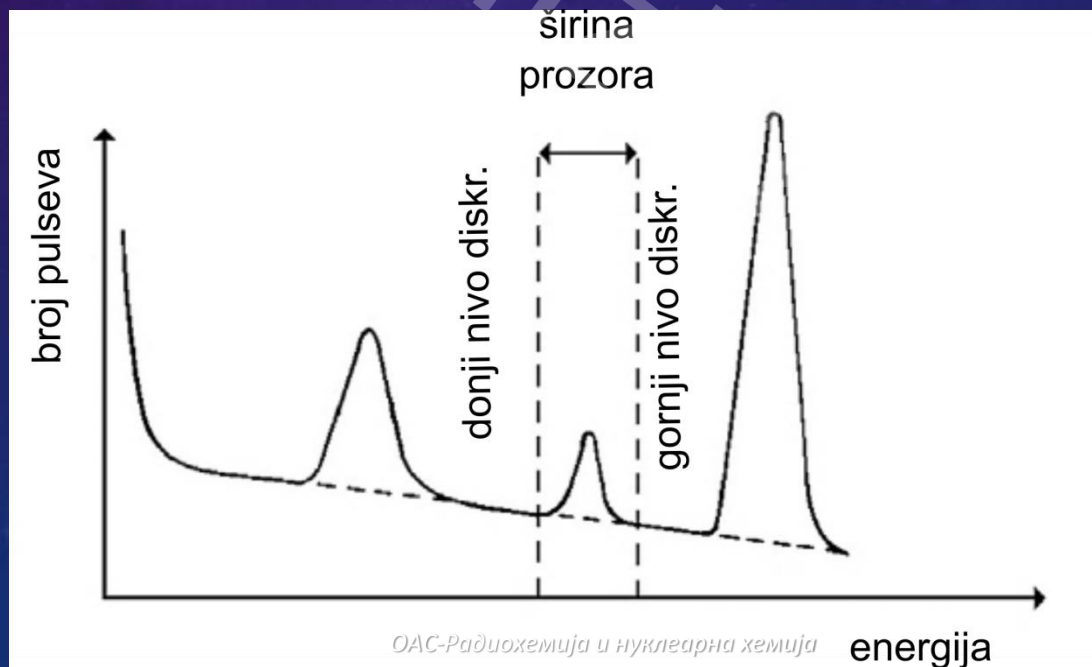
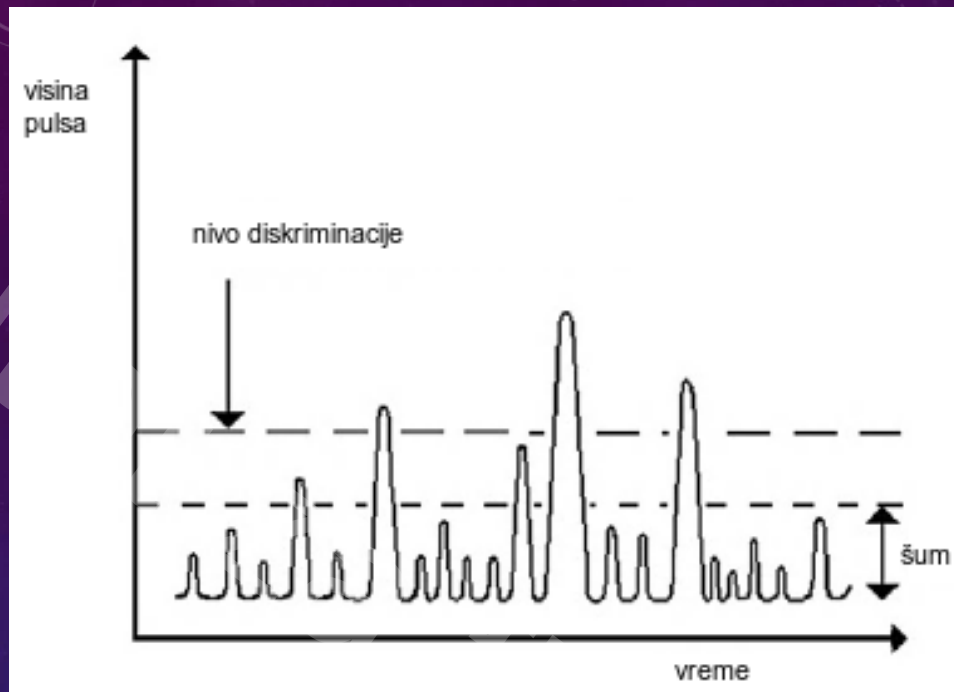
$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C}$$

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

ДЕТЕКЦИОНИ СИТЕМИ

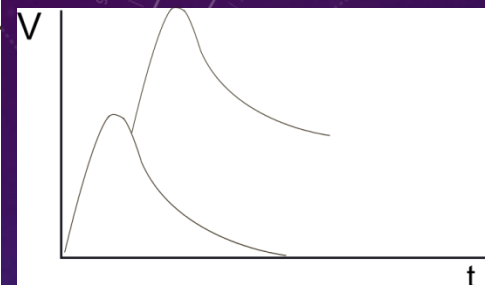
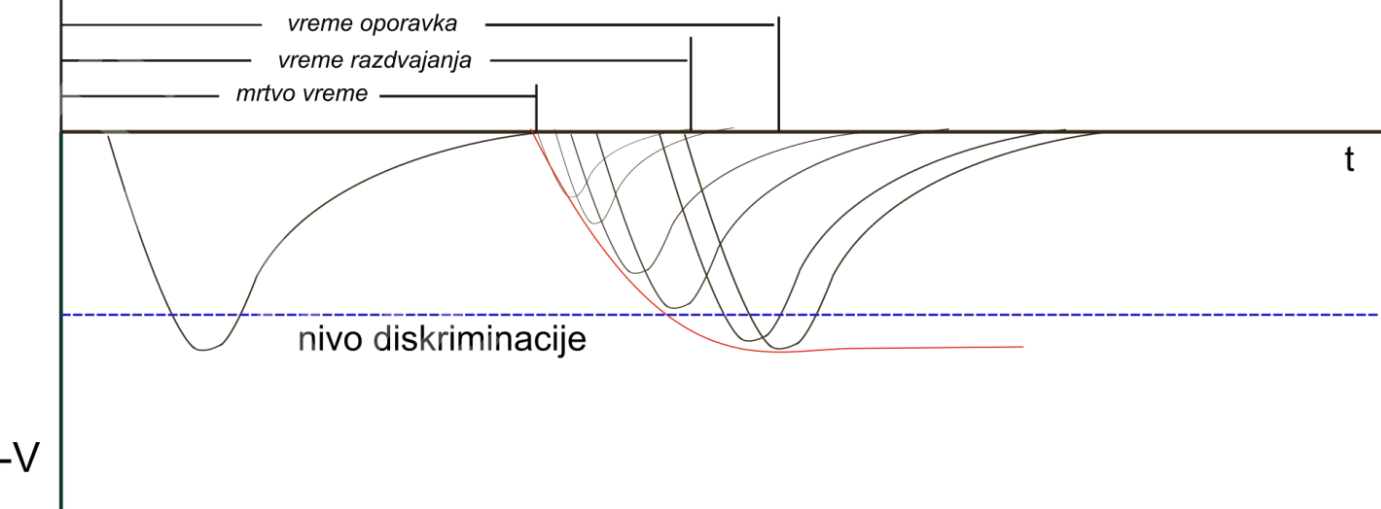


- Детектор је везан за **претпојачивач** који има улогу појачања одговора детектора 10 - 10^4 пута (10 за ГМ детектор, 10^4 за полупроводничке детекторе)
- **Дискриминатор** служи за елиминацију импулса (**шум**) који потичу од термичког шума детектора, претпојачивача и електронских кола. Он одређује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

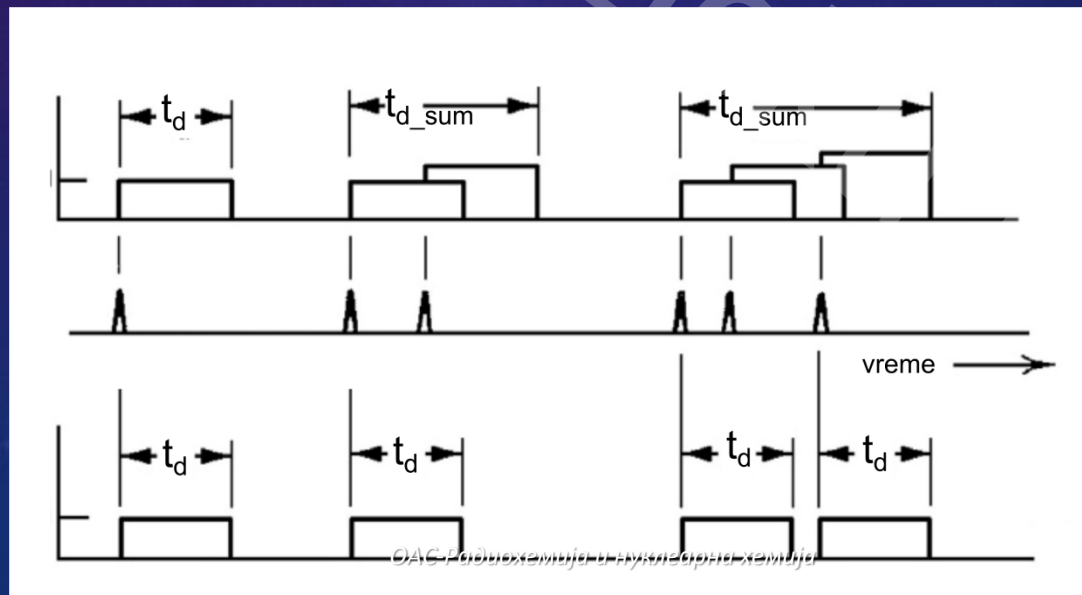


ВРЕМЕ РАЗЛАГАЊА ПУЛСЕВА И МРТВО ВРЕМЕ

- 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 два узастопна импулса региструју као одвојени је **време разлагања/раздвајања**
- 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

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

- Систем са парализом

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

МЕТОДЕ ОДРЕЂИВАЊА МРТВОГ ВРЕМЕНА

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

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

или

$$\tau = \frac{R_A + R_B - R_{AB} - R_0}{R_{AB}^2 - R_A^2 - R_B^2}$$

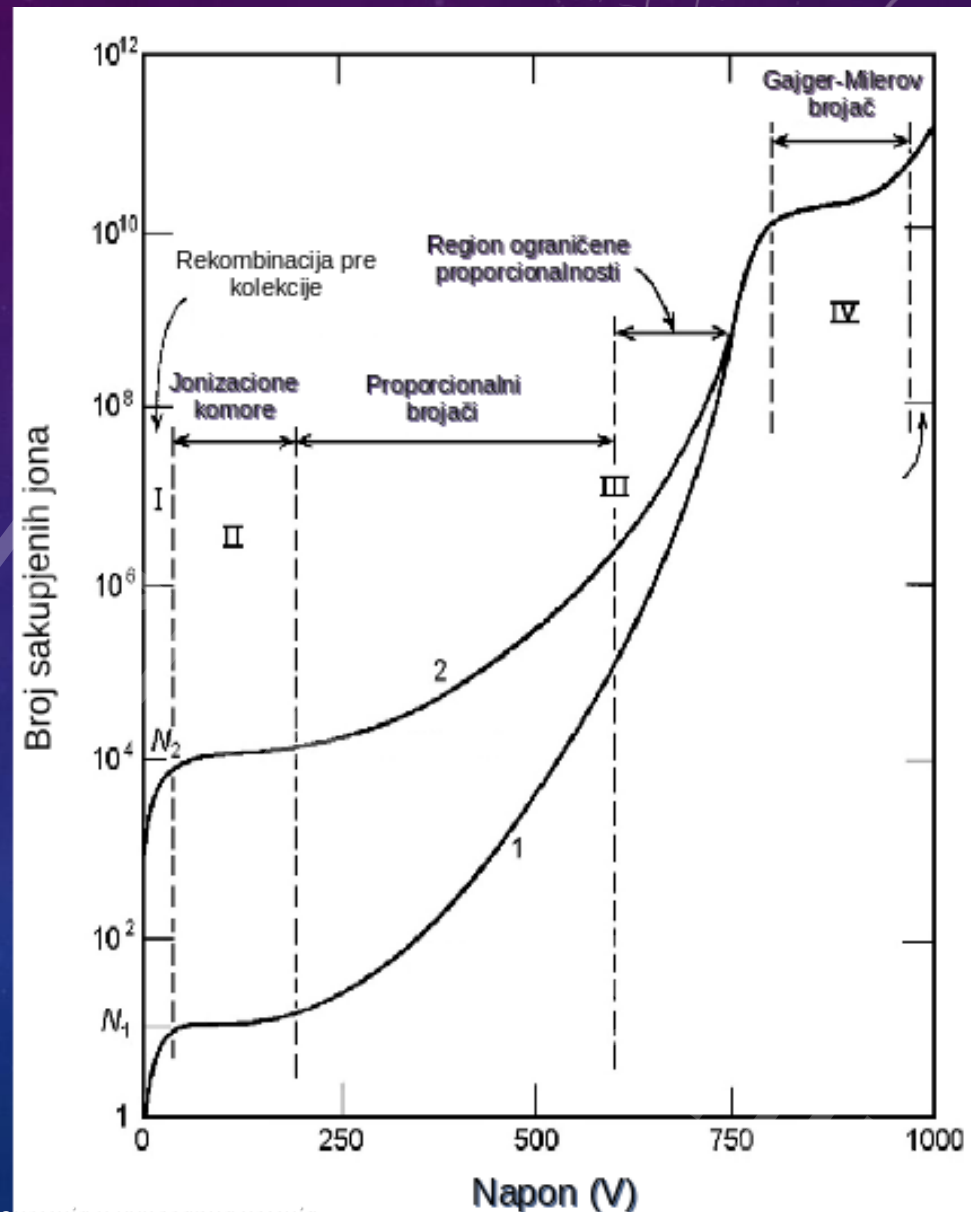
- Метода мерења активности краткоживућег радионуклида

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

Мртво време се одређује са графика $R_{obs} e^{\lambda t} = f(R_{obs})$
ОАС-Радиохемија и нуклеарна хемија

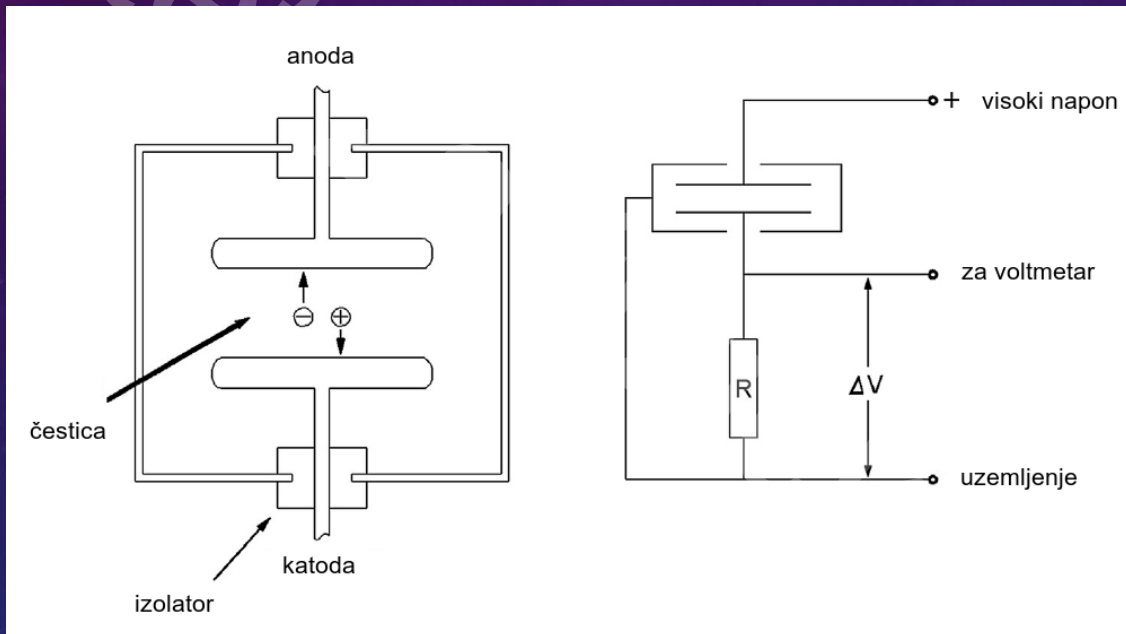
ГАСНИ ДЕТЕКТОРИ-ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

- Сви гасни детектори су базирани на сакушљању 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

- Више 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

$$I_s = eAE_{gubitak}\eta\psi_{geom}\omega^{-1}$$

- За типичне параметре код јонизационих комора

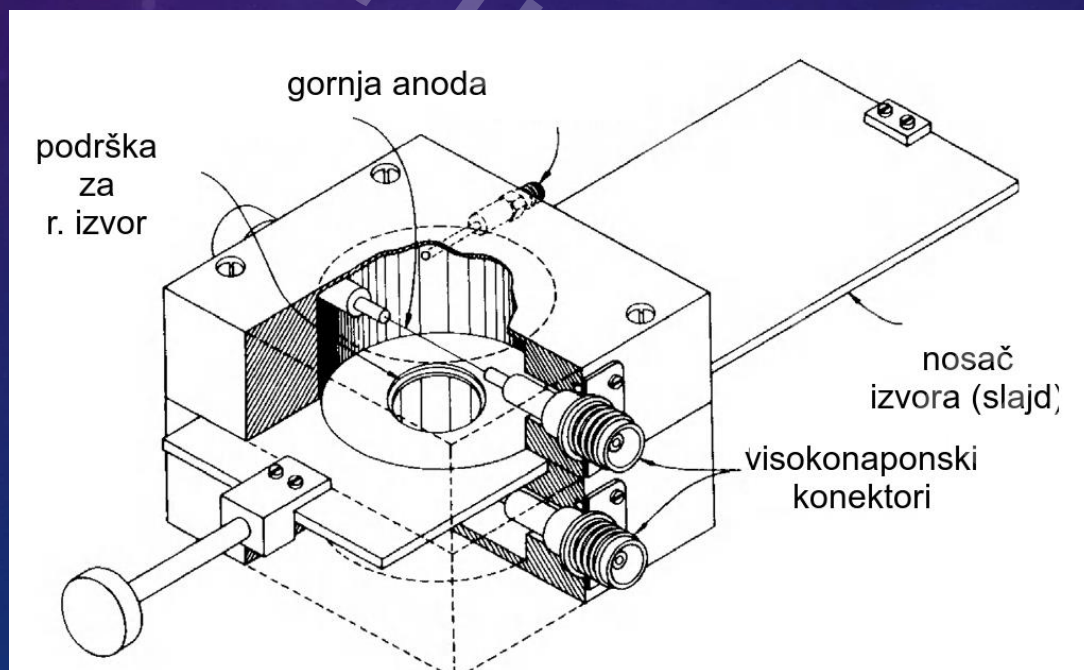
$$I_s = 1 \cdot 10^{-9} \text{ A}$$

- 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

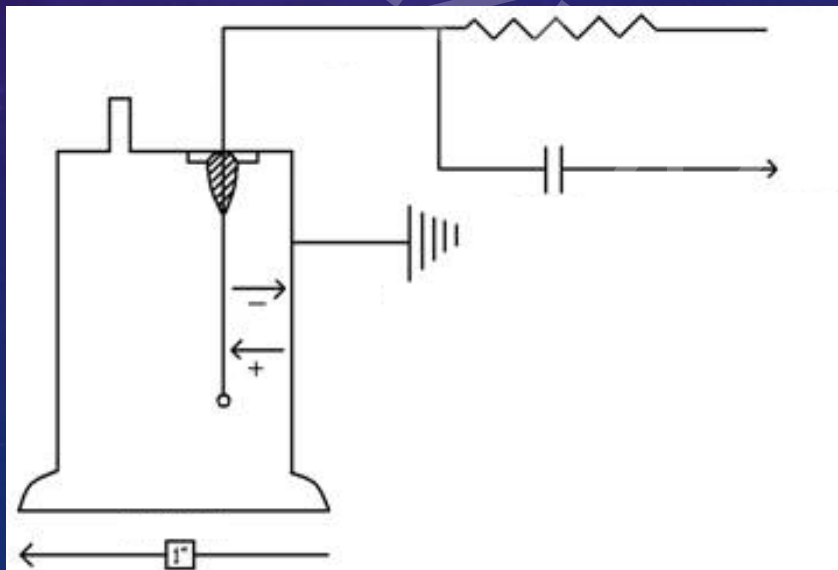


ГАЈГЕР-МИЛЕРОВИ БРОЈАЧИ

- 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 катодe, неопходно је додавање органских молекула који имају нижу енергију јонизације од Ar



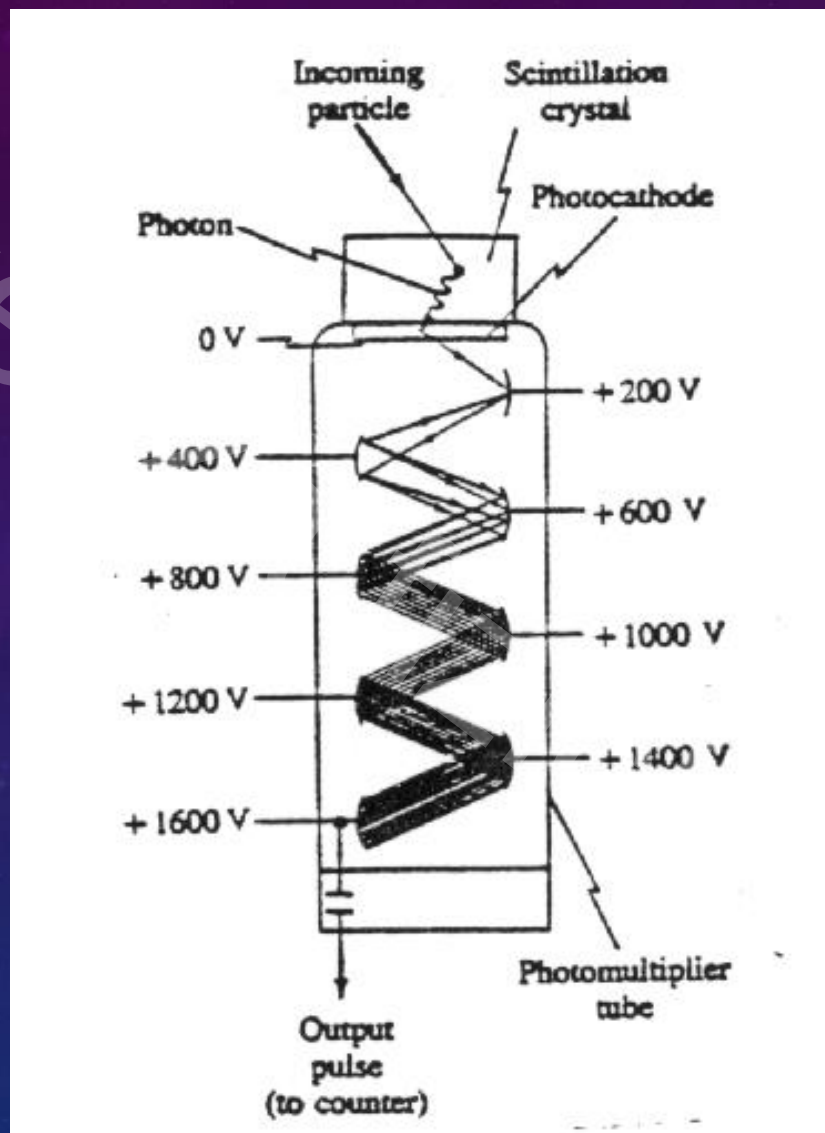
- Молекули халогених гасова се додају место органских да би се продужио век бројача
- Праћењем зависности струје од напона запажа се да постоји област у којем не постоји даљи пораст регистрованих импулса – плато бројача – он се обично користи као радни напон бројача



СЦИНТИЛАЦИОНИ ДЕТЕКТОРИ

- Феномен запазили Rutherford & Soddy 1908.
- Пролазак зрачења кроз средину сцинтитлатора 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 нализима 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 ...

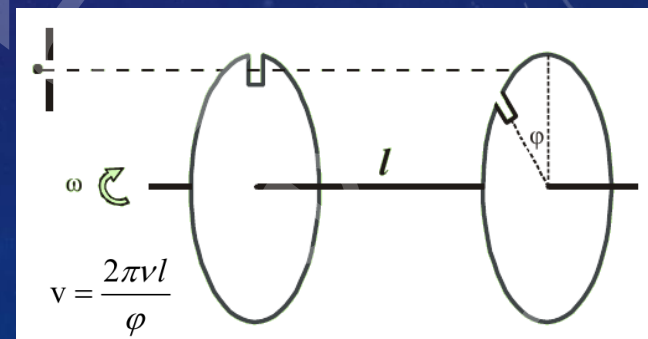
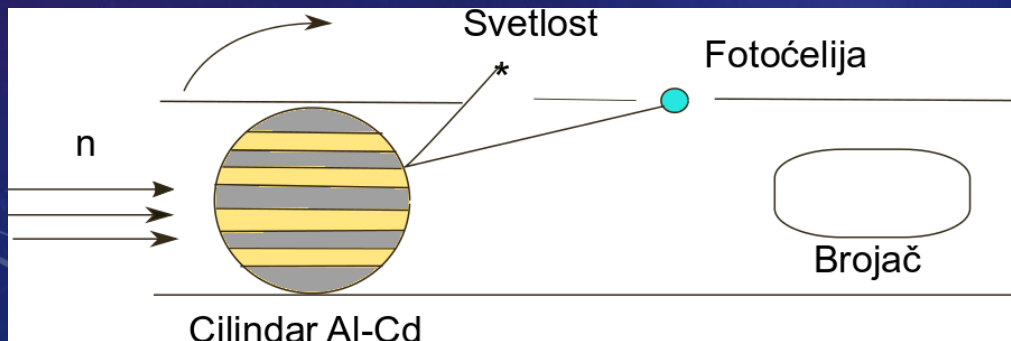


- Користе се уобичајени детектори, најчешће гасни
- фотоемулзије допирани бором
- Сцинтилациони кристали са литијумом LiCl-BaCl_2
- Преко неутронске активационе анализе

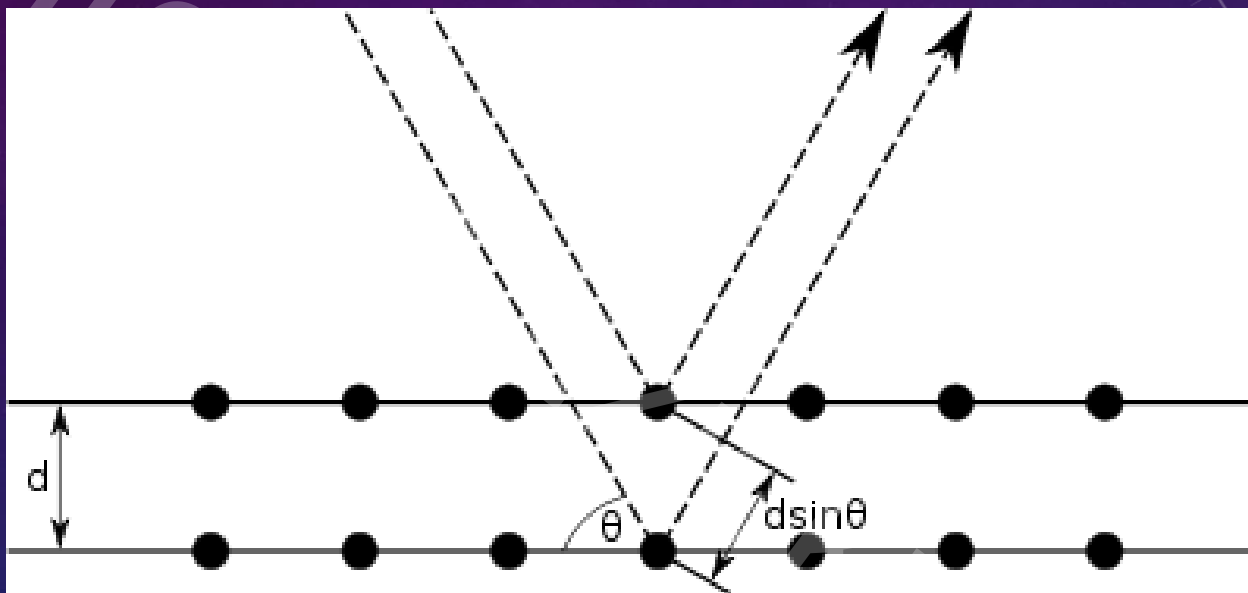
СПЕКТРОМЕТРИ НЕУТРОНА

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



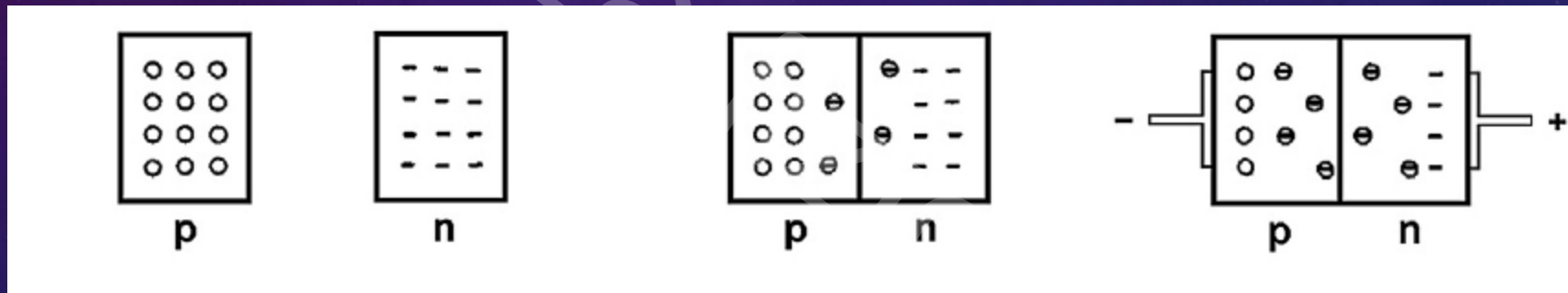
- Кристални спектрометар



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

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

