



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН
ФАКУЛТЕТ „ИМЕ НА ФАКУЛТЕТА“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Пакет Лекции №16-18

**Дозиметри и детектори на
йонизиращите лъчения**

доц. Десислава Костова-Лефтерова

**ДОЗИМЕТРИЯ
НА ЙОНИЗИРАЩИТЕ ЛЪЧЕНИЯ.
ПОГЪЛНАТА ДОЗА ЛЪЧЕНИЕ. ДОЗИМЕТРИ
И РАДИОМЕТРИ.**

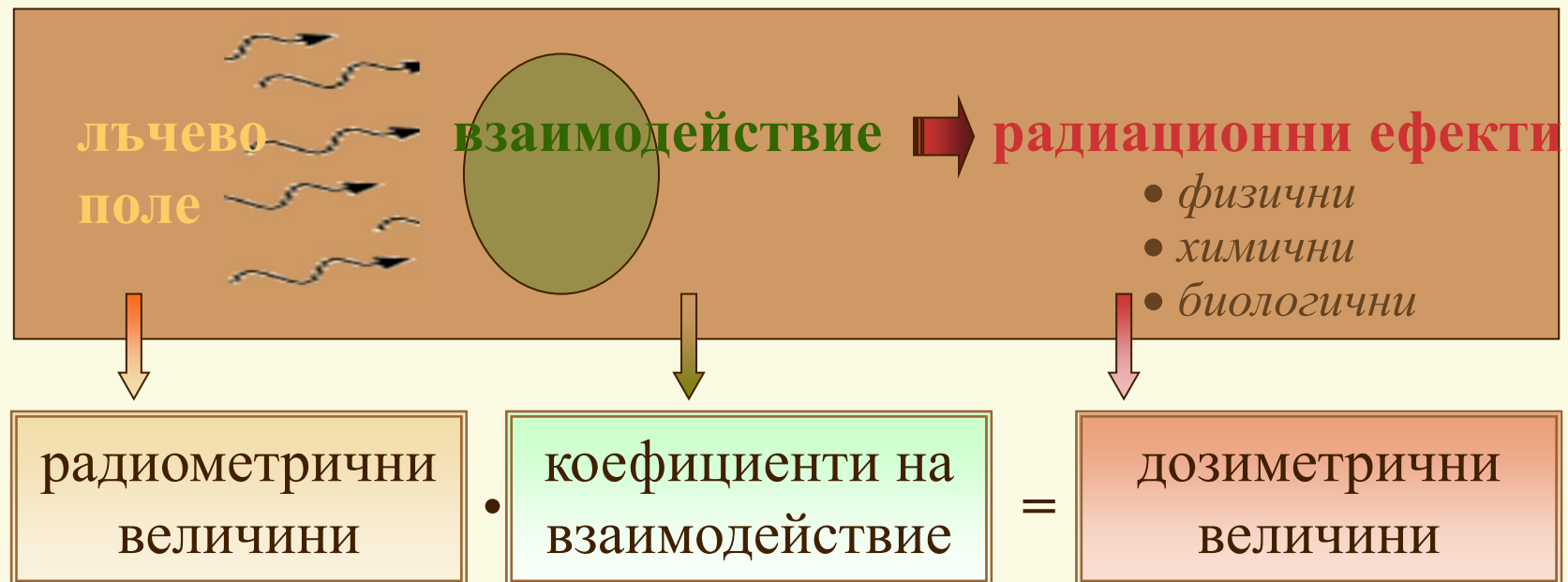
Йонизиращи лъчения:

Електрически зарядени частици- *алфа-лъчи, бета-лъчи, електрони, позитрони, протони, тежки йони;*

Електронеутрални частици:

- *фотони - рентгенови и X-лъчи, гама-лъчи***
- *неутрони***

Дозиметрични величини

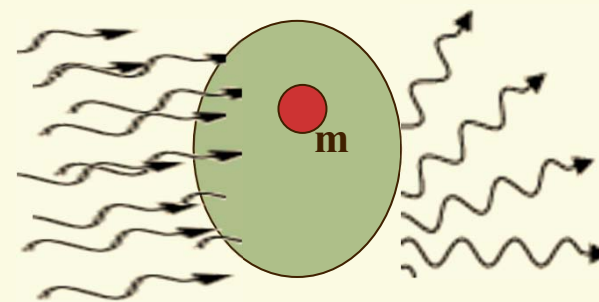


Дозиметричните величини са измерими
Дефинират се независимо !!!

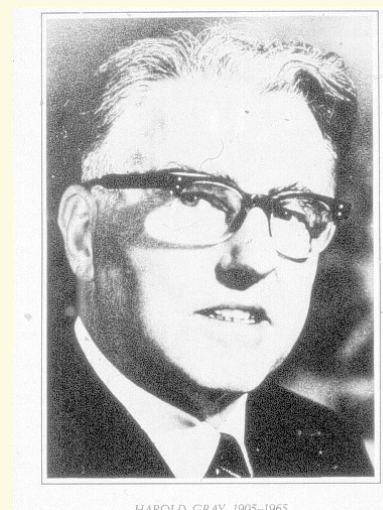
Дозиметрични величини

Погълнатата доза (доза) D

за всички видове йонизиращи лъчения
отношение на предадената
енергия в елементарен обем и
масата на веществото в този обем



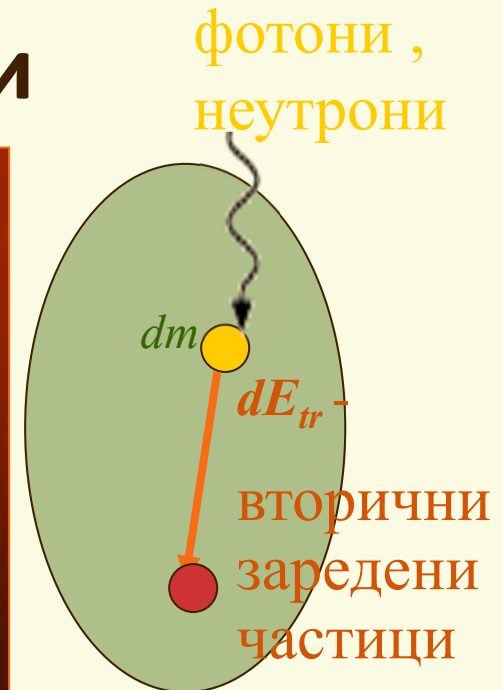
Harold Gray
1905-1965



Дозиметрични величини

Керма K – за индиректно йонизиращи лъчения (фотони и неутрони) сумата от началните кинетични енергии на електроните, създадени от фотоните в елементарен обем от веществото, към масата на веществото в този обем

Измерителна единица



- * Фотоните взаимодействат с атомите на средата, като ги йонизират – образуват се вторични електрони и положителни йони

Дозиметрични величини

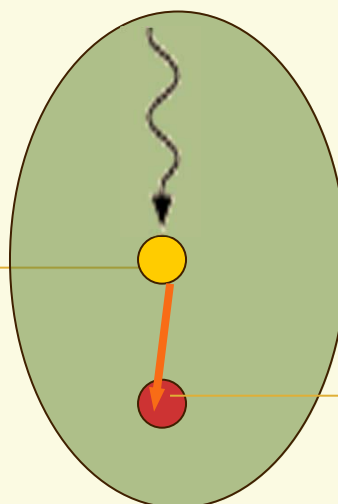


Керма

за **индиректно**
йонизиращи лъчения
за **всички вещества**

1. трансформиране
на енергия

Началните кин. енергии
на частиците,
породени в обема,
независимо къде ще
изразходват енергията



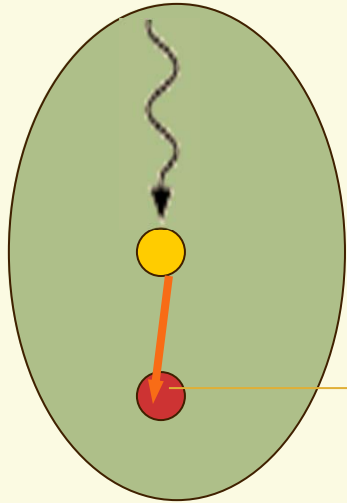
Погълнатата доза

за **всички** йонизиращи
лъчения
за **всички вещества**

2. поглъщане на
енергия

Без значение от къде идват
и как са родени частиците,
които отдават енергията
си в обема

Въздушна керма



- * Кермата във въздух се нарича въздушна керма
- * Често пъти това е измерваната с дозиметричната апаратура величина

При енергиите, използвани в рентгеновата диагностика, във въздух:

Въздушна керма 1 Gy \approx Погълната доза 1 Gy

Примери: погълната доза

При лъчелечение – за един сеанс 1,5 – 8 Gy

Повърхностната доза при снимка на зъб – 2,5 - 5 mGy

Дозиметри и радиометри. Началото.



Juno ion chamber



Tracerlab "Cutie Pie"



Victoreen Proteximeter

Courtesy, Oak Ridge Associated Universities' Health Physics
Historical Instrumentation Museum

Дозиметри и радиометри. Сега.

- Повечето подобрения са свързани с електрониката.
- Малко са новите механизми за детектиране.
- Зависимост на чувствителността от обема на детектора.
- Новата електроника осигурява няколко предимства:
 - много по-малки размери;
 - цифров екран;
 - по-бърза обработка на сигнала;
 - използване на микропроцесорна техника;
 - позволява смяната на детектори.

Важни характеристики свързани с дозиметрите и радиометрите.

- Измерваната величина се определя от характеристиките на радиационното поле.
- Чувствителността трябва да бъде адекватна на очакваната най-малка измерваема доза.
- Мониторингът трябва да бъде с точност по-добра от $\pm 30\%$.
- Поради нехомогенност на радиационното поле може да се очакват големи неопределености.
- Някои от тях не трябва да зависят от енергията и посоката на облъчване.

Важни характеристики свързани с дозиметрите и радиометрите.

- Най-високата стойност на дозата, която може да се очаква, трябва да бъде измерима.
- Показанията на уреда трябва да останат извън неговата скала, когато е експониран извън обхвата му.
- Прага на сигнализация и бързодействието на сигналния дозиметър трябва да понижи значително получаваната доза от работника.
- Пасивни детектори също могат да се използват за мониторинг.

Измерване на йонизиращите лъчения

- Физични и химични явления, използвани за измерване на ЙЛ:
 - йонизация на атомите и молекулите
 - възбуждане на атомите и молекулите
 - сцинтилация
 - флуоресценция
 - термолуминесценция
 - увреждане на твърдото състояние
 - предизвикани химични реакции.

Видове дозиметри и радиометри за мониторинг на работните места според типа на използваните детектори

- Газонапълнени броячи
 - Йонизационни камери
 - Пропорционални броячи
 - Гайгер-Мюлерови детектори

- Сцинцилационни детектори

Натриев йодид- NaI(Tl)

Пластмаси

Цинков сулфид– ZnS

BeGO

Видове дозиметри и радиометри за мониторинг на работните места според типа на използваните детектори

- Химични
- Фотографски
- Термолуминесцентни

**ДЕТЕКТОРИ
НА ЙОНИЗИРАЩИ ЛЪЧЕНИЯ.
ЙОНИЗАЦИОННА КАМЕРА.
ПРОПОРЦИОНАЛНИ БРОЯЧИ.
ПОЛУПРОВОДНИКОВИ БРОЯЧИ. ГАЙГЕР-
МЮЛЕРОВИ БРОЯЧИ.**

доц. Десислава Костова-Лефтерова

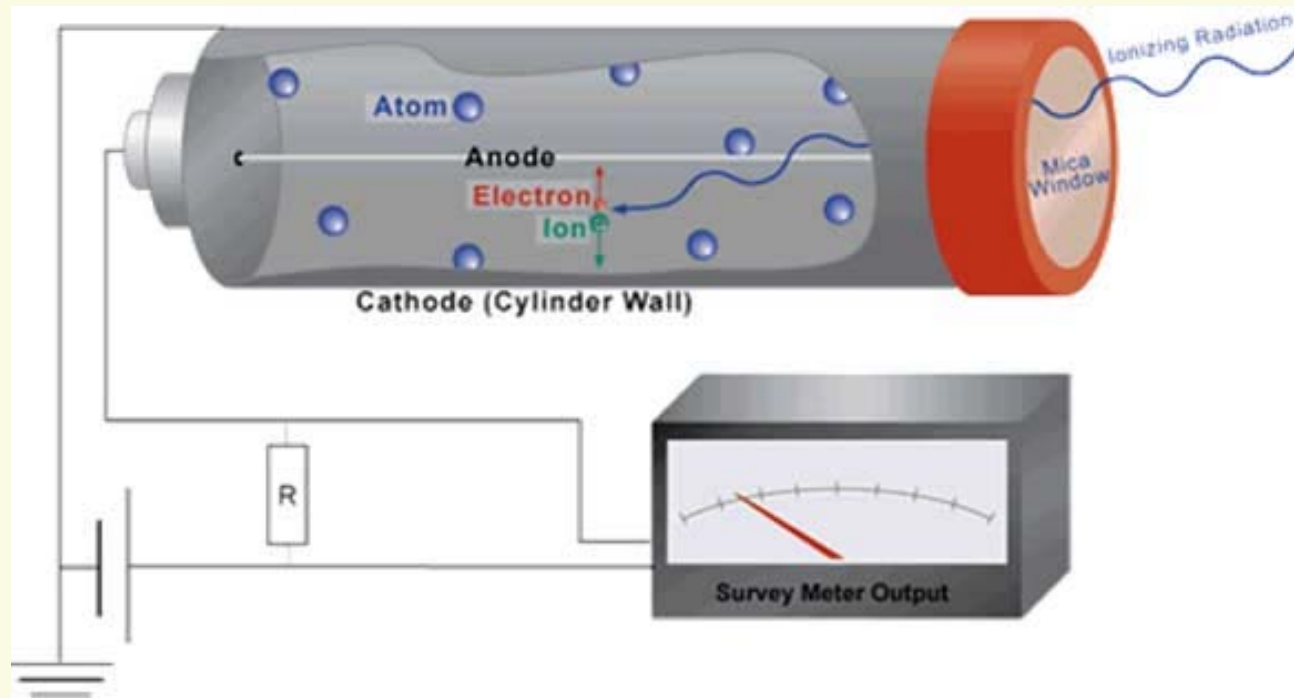
Йонизационни методи

Под въздействието на всяко ЙЛ във веществото от неутрални атоми или молекули, се получават положителни или отрицателни йони. При нормални условия (отсъствие на ЙЛ) йоните съществуват кратко време, поради процеса *рекомбинация* (т. е. те се съединяват в неутрални атоми и молекули).

Видове детектори:

- **Йонизационни камери:** работят в режим на насищане. Може да измерва интензивността на ЙЛ (\propto интензивността, \propto токът на насищане).
- **Газови броячи**
- **Полупроводникови детектори**

Йонизационни методи



- В зависимост от напрежението, приложено между анода и катода, детекторът може да се разглежда като йонизационна камера, пропорционален брояч или ГМ брояч. Всеки от тези видове детектори има своите предимства и недостатъци.

Йонизационна камера

- Имат относително ниско напрежение между анода и катода, което води до събиране само на зарядите, получени при първоначалната йонизация.
- Слаб изходен сигнал, който съответства на броя йонизации.
- При взаимодействие с ЙЛ се създават йонни двойки, които се събират генерирайки малък ток.
- Измерват енергия и интензивността на ЙЛ.
- Обикновено са цилиндрични, запълнени с въздух
- Йонизационният ток зависи от интензитета на ЙЛ.
- Много малко време за събиране на заряда.
- Подходящи за измерване на високи мощности на дозата.



Ionization chamber made by Pierre Curie, c 1895-1900

Йонизационна камера

- В зависимост от предназначението си:
 1. Импулсни – измерване на броя частици и енергията им чрез регистрация на токови импулси.
 2. Интегриращи – измерване на йонизационния ток, предизвикан от поток частици или кванти.
 3. Кондензаторни – измерване на спадането на напрежението между електродите.

Йонизационна камера

- В зависимост от конструкцията си:
 1. Измерваният източник се позиционира в тях - измерване на йонизация на α -частици или неутрони.
 2. Камери, в които йонизацията се дължи предимно на частици, възникващи не в обема, а в стените на камерата. Малки камери от този тип се наричат напръстникови.
 3. Отворени камери със свободен газ наречени диафрагмени или нормални. Използват се най-често за абсолютни измервания на фотонни лъчения.

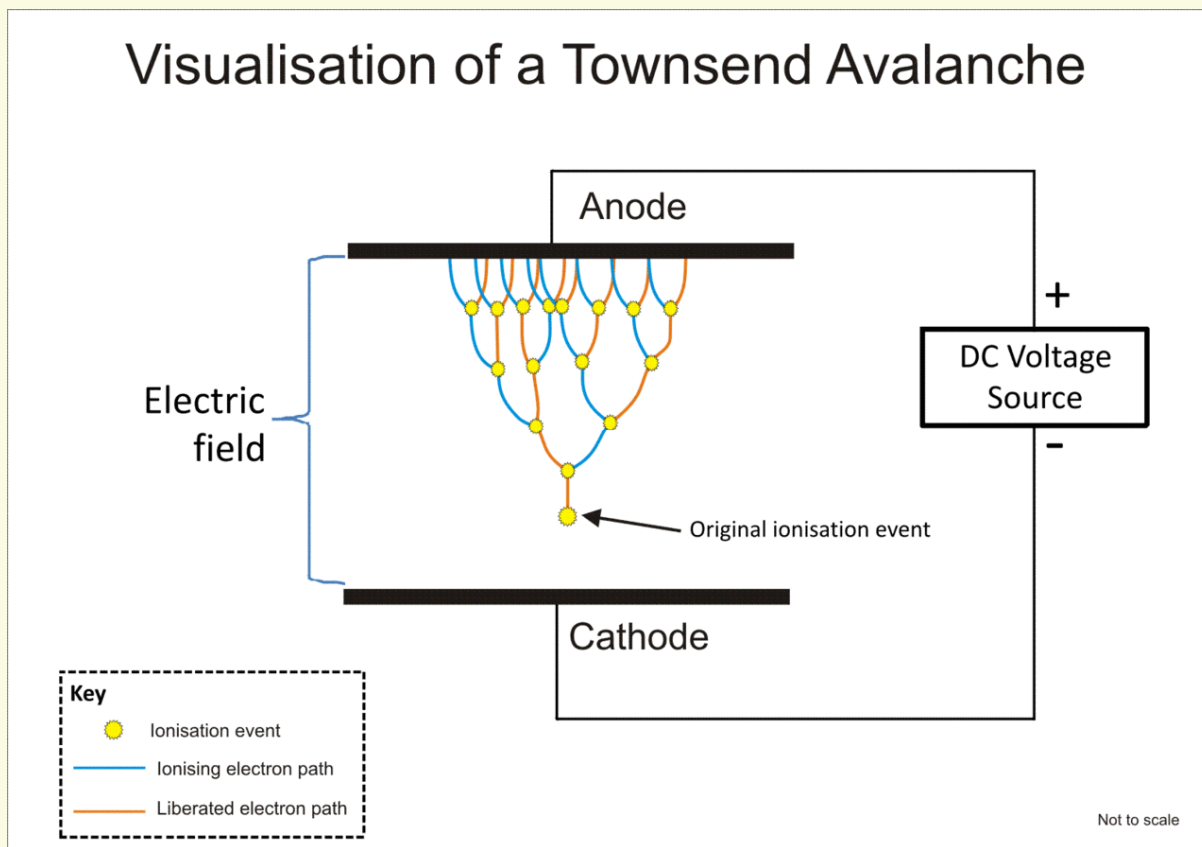


Пропорционални броячи

- Използват малко по-високо напрежение между анода и катода.
- Поради силното електрическо поле, зарядите, получени при първоначалната йонизация, се ускоряват достатъчно бързо, за да йонизират и други електрони в газа.
- e^- получени вследствие на вторичната йонизация, заедно с първичните e^- , продължават да \nearrow енергията си при движението си към анода, което води до \nearrow на йонизацията. Резултат: всеки e^- от първоначалната йонна двойка води до каскада от йонни двойки.

Пропорционални броячи

Visualisation of a Townsend Avalanche



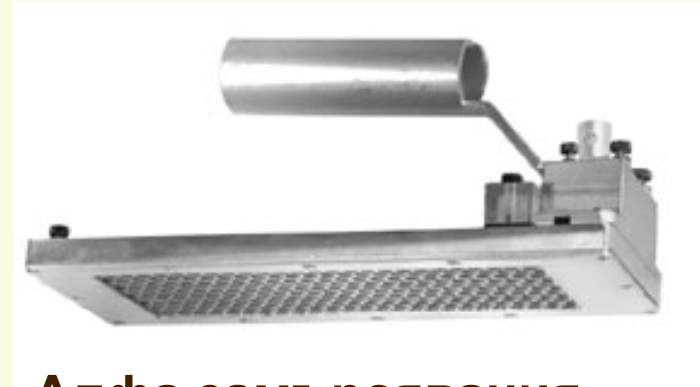
Пропорционални броячи

- Този ефект е известен като газово усилване. В този режим на напрежение, броят на частиците, освободени от вторичните взаимодействия, е пропорционален на броя йони, получени при преминаването на йонизиращи частици → пропорционални броячи.
- Изискват много стабилна електроника, която е скъпа и крехка.
- Обикновено се използват само в лабораторни условия.

Газонапълнени пропорционални детектори



**Ксенонов
(ниски нива на бета
замърсявания)**



Алфа замърсявания



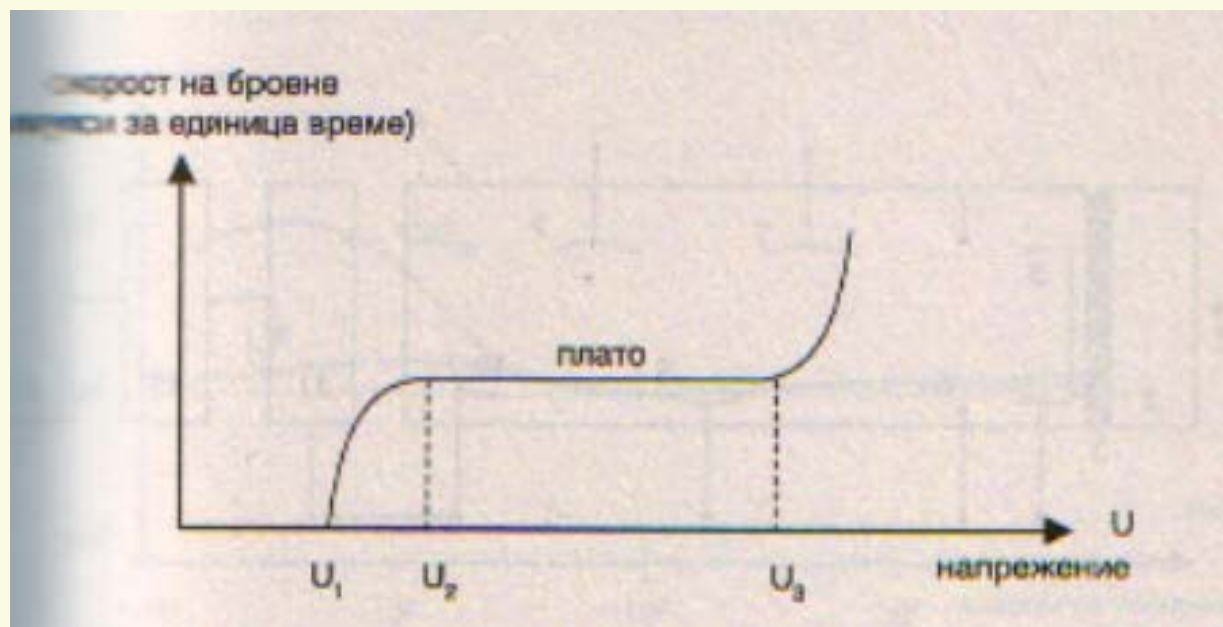
**Широкоплощен пропорционален
(алфа – бета замърсявания)**

Пропорционални броячи

- **Ефективност на брояча** – отношението на броя на регистрираните от брояча частици към броя на всички частици, попаднали върху катода на брояча.
 - За β -частици ефективността се доближава до 100 %.
 - За γ -кванти зависи от материали на стените на брояча, дебелината им и енергията на квантите.
 - За регистрация на α -частици се използват пропорционални броячи или импулсни йонизационни камери.

Пропорционални броячи

- **Броячна характеристика** – зависимостта на скоростта на броене на импулси от брояча (при фиксирана интензивност на лъчението) от напрежението, приложено на електродите. Установяват се експериментално като се определя т. нар. **плато** на брояча.



Гайгер-Мюлерови броячи

- Кръстен на Ханс Гайгер, който е измислил устройството през 1908 г. и Валтер Мюлер, който е сътрудничил с Гайгер в доразработването му през 1928 г.



Hans Geiger



Walther Müller

Гайгер-Мюлерови броячи

- Работят при по-високи напрежения между анода и катода (800 - 1200 V).
- Подобно на пропорционалния брояч, високото напрежение ускорява зарядите, произведени при първоначалната йонизация, разполагащи с достатъчно енергия, за да йонизират други електрони в газа.
- Каскадата на йонни двойки се осъществява в много по-голяма степен и продължава, докато броячът се насити с йони.

Гайгер-Мюлерови броячи

- Всичко това се случва за по-малко от секунда и води до електрически токов импулс с постоянно напрежение.
- Събирането на голям брой вторични йони в ГМ област е известно като лавина и води до получаването на голям импулс на напрежението.
- С други думи, размерът на текущия импулс е независим от размера на йонизиращото събитие, което го е произвело.

Гайгер-Мюлерови броячи

- Едно събитие в детектора предизвиква импулс.
- Генерират се много повече e^- , отколкото при ЙК или \rightarrow просто и евтино устройство.
- Всички импулси са еднакви.
- Недостатък - не могат да различават вид и енергия на лъчението и невъзможност за непрекъснато броене (трябва да се разрежда).
- Повечето са калибрирани в срт - електронната схема отчита и записва броя на импулсите и информацията често се показва в броя на минута.
- Ако инструментът има високоговорител, импулсите могат да предизвикат и звуков сигнал.

Гайгер-Мюлерови броячи

- Когато обемът на газа в камерата е напълно йонизиран, събирането на йони спира, докато електрическият импулс се освободи (отнема само частица от секундата, но този процес леко ограничава скоростта, с която могат да бъдат регистрирани отделни събития).
- Могат да показват отделни йонизиращи събития → по-чувствителни към ниски нива на лъчение, отколкото инструментите с йонизационна камера.

Гайгер-Мюлерови броячи

Работата на Гайгер-Мюлеровите броячи се характеризира с три важни времеви константи:

- ✓ **мъртво време** t_s – времето на пълна нечувствителност на брояча (около $200 \mu s$);
- ✓ **разделително време** t_d , при което амплитудите на импулсите нарастват и достигат стойност, при която могат да бъдат регистрирани;
- ✓ **възстановително време** t_m – амплитудата на импулса достига нормална стойност.

Полупроводникови детектори

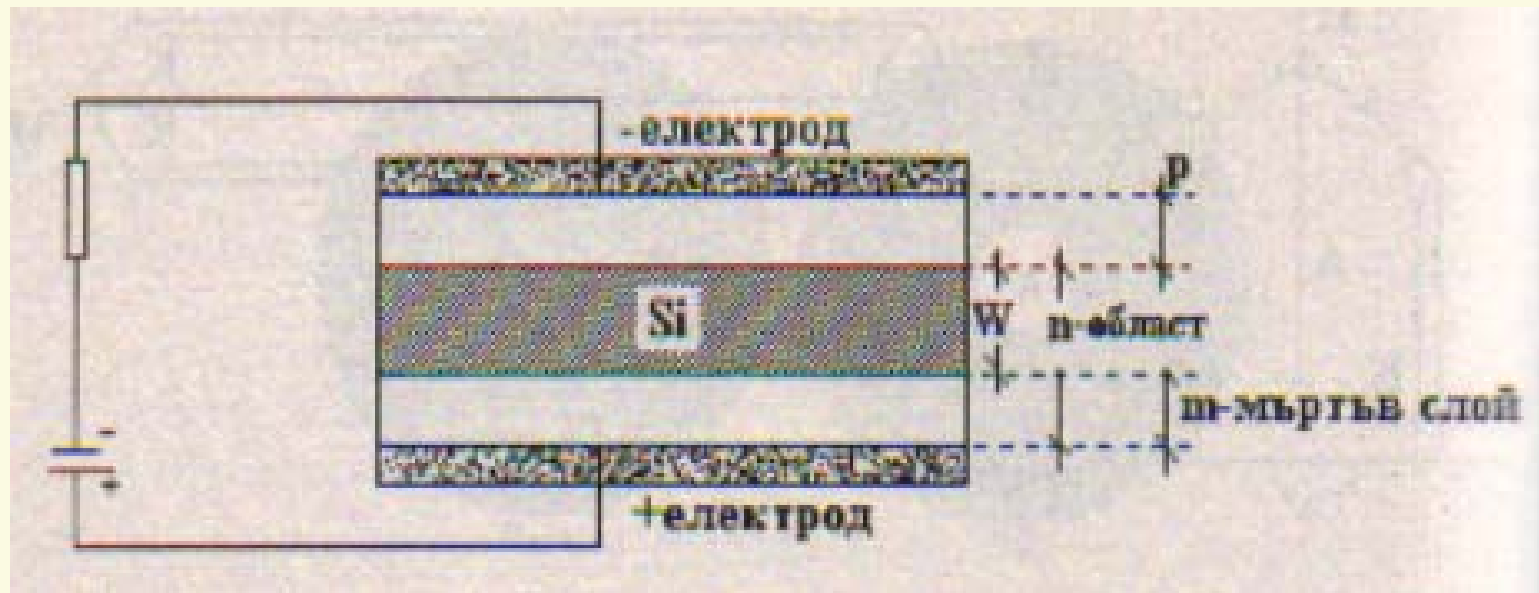
- Полупроводникът, в качеството си на брояч на йонизиращи частици е аналог на ЙК, с тази разлика, че се йонизира не газ, а атомите на твърдо тяло (вместо газ между електродите има твърд диелектрик).
- Характеризира се с многократно по-висок йонизационен ефект в сравнение с ЙК, голяма разделителна способност на детектора при броячно-импулсен режим на работа, което се определя като **разделителна способност за време.**

Полупроводникови детектори

- Основни полупроводникови кристали, използвани като детектори са германий (Ge) и силиций (Si).
- За β - и γ -лъчения се използват силициеви (Si) и германиево-литиеви (GeLi) детектори.
- След предаване на енергия в обема на детектора се получава електричен импулс пропорционален на предадената енергия.
- За целите на спектрометрията на различните видове ЙЛ. Значително по-висока разделителна способност по енергия спрямо сцинтилационните детектори → разделяне в спектъра и идентифициране на близки по енергия частици → много по-точно определяне на състава на смес от радионуклиди.

Полупроводникови детектори

- Схема на силициев повърхностно-бариерен полупроводников детектор. n – област на електронна проводимост; p – област с дупчеста проводимост; W – чувствителен слой; m – мъртъв слой.



Полупроводникови детектори

- Херметизирани бутилки за пробовземане от въздушни изхвърляния от вентилационните комини на АЕЦ (в дясно), в ляво – геометрия на измерванията на бутилките с полупроводников детектор



Полупроводникови детектори

- Недостатък на полупроводниковите детектори в сравнение със сцинтилационните е, че по-трудно се получават детектори с по-големи размери. Това ограничава до известна степен приложението им за измерване на сравнително малки по обем източници (например проби от храни, почви и други).
- Измерването на активността на човешкото тяло се прави предимно със сцинтилационни детектори.

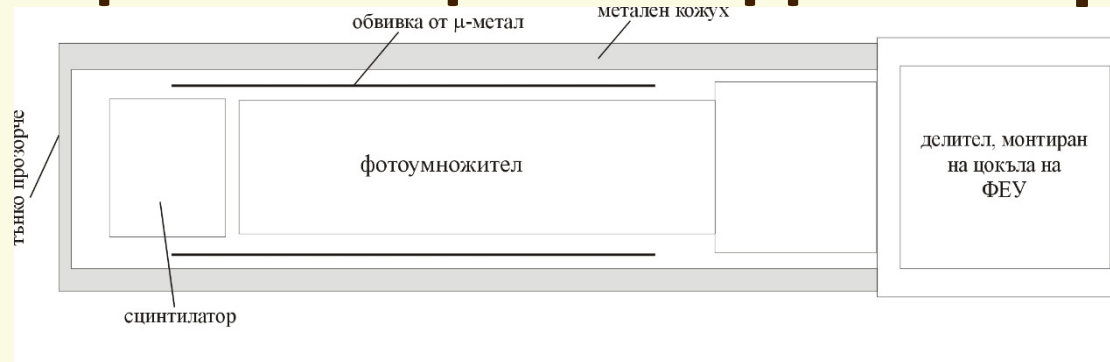
**ДЕТЕКТОРИ
НА ЙОНИЗИРАЩИ ЛЪЧЕНИЯ.
СЦИНТИЛАЦИОННИ ДЕТЕКТОРИ.
ХИМИЧНИ И ФОТОГРАФСКИ ДЕТЕКТОРИ.
ТЕРМОЛУМИНЕСЦЕНТНИ ДЕТЕКТОРИ.**

доц. Десислава Костова-Лефтерова

Сцинтилационни детектори

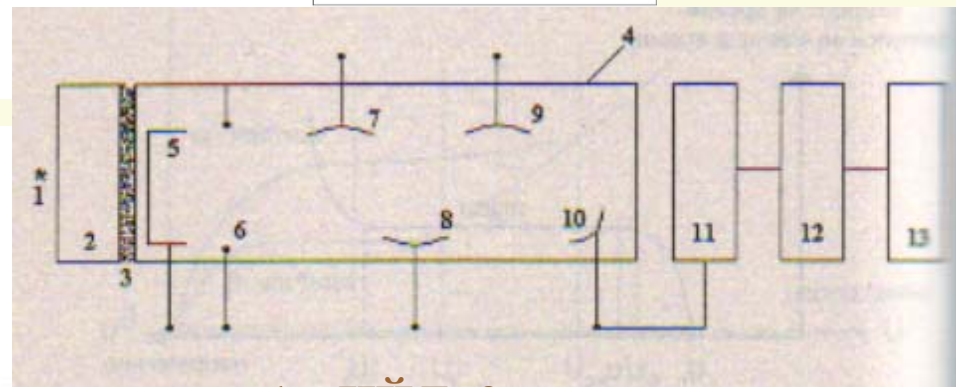
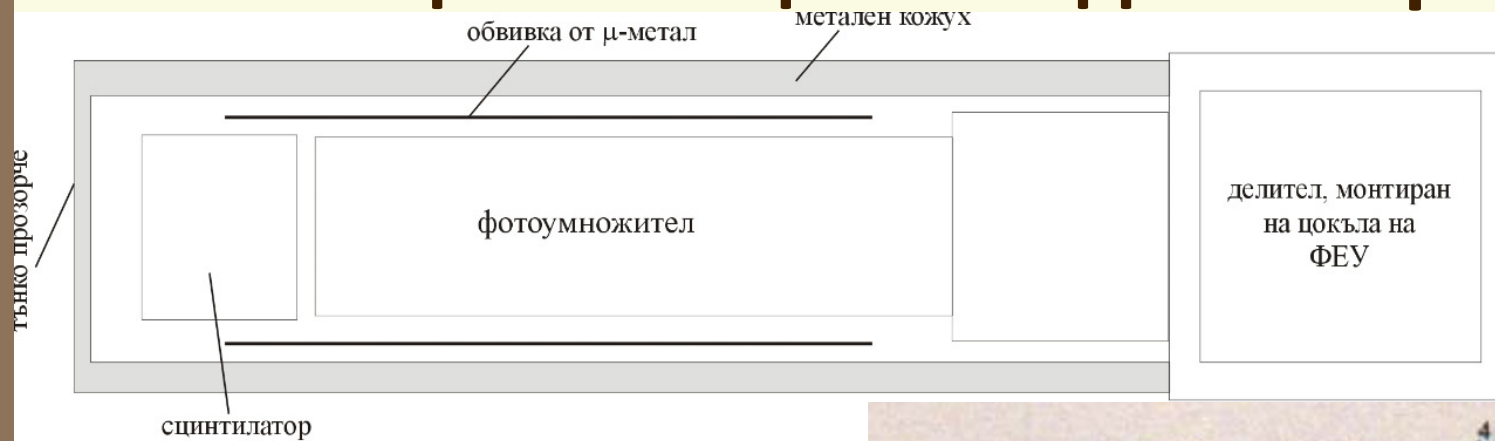
- Вещества, изпускащи светлина под действието на **ЙЛ - сцинтилатори** (фосфори, луминофори).
- Измерват броя и интензивността на светлинните импулси, възникващи в луминесциращите вещества при преминаване на **ЙЛ** през тях.
- За регистрация на светлинните импулси се използват **ФЕУ** и регистриращи схеми.

Сцинтилационни детектори



- Състои се от сцинтилационен кристал (или друг вид сцинтилиращ материал) в оптична връзка с ФЕУ или направо, или чрез световод. Непосредствено към цокъла на ФЕУ е монтиран делител на напрежение и често непосредствено след него - предусилвател.
- Всичко е затворени в светонепроницаем кожух. Непосредствено върху стъклената обвивка на ФЕУ се поставя цилиндър от μ -метал (метал с много висока магнитна възприемчивост), чието предназначение е да предпазва проникването на външни магнитни полета в затворения от него обем.

Сцинтилационни детектори



Sodium iodide crystal



1 – ИИЛ; 2 – сцинтилатор;
 3 – оптичен контакт; 4 – ФЕУ;
 5 – фотокатод; 6 – диафрагма;
 7, 8, 9 – диноди;
 10 – анод (колектор);
 11, 12, 13 – електронни схеми за
 захранване, за усилване, за
 броене и анализ.

Сцинтилационни детектори

- **Приложение** – за измерване на заредени частици, γ -кванти, бавни и бързи неутрони, мощности на дозата на различни ЙЛ и за изследване на спектри на γ - и неутронни лъчения.
- **Предимства на сцинтилационния метод:**
 - Висока ефективност към проникващите лъчения;
 - Малко време за изсветване на сцинтилатора, което осигурява висока разделителна способност във времето и малко мъртво време.

Сцинтилационни детектори

- **Изисквания към ФЕУ и електронните схеми** – стабилност на захранването, минимална чувствителност към външни електромагнитни полета, осигуряване на пълна светлоизолация, нисък собствен шум (фон) и др.
- **Видове сцинтилатори** – неорганични и органични кристали, разтвори, газове и комбинирани.

Химични детектори

- В химичните дозиметри (ХД) за определяне на дозата се използват измервания на промените на химичния състав на веществата (твърди, течни и газообразни), предизвикани от ЙЛ.
- Основна характеристика на ХД е величината радиационно-химичен добив (броят на реагиралите молекули при предадена на веществото енергия от ЙЛ):
- Най-широко се използват течностни дозиметри, при които се прилага спектрофотометрично измерване на продуктите на химичната реакция.

Фотографски детектори

- ЙЛ въздействат върху чувствителния слой на фотоматериалите подобно на видимата част от електромагнитния спектър. Плътноста на почерняване зависи от експозицията (произведението на интензивността на въздействащото лъчение и времето на облъчване) и се измерва с помощта на **денситометри**.

- рентгенови филми;
- фотофилми (фотодозиметри).



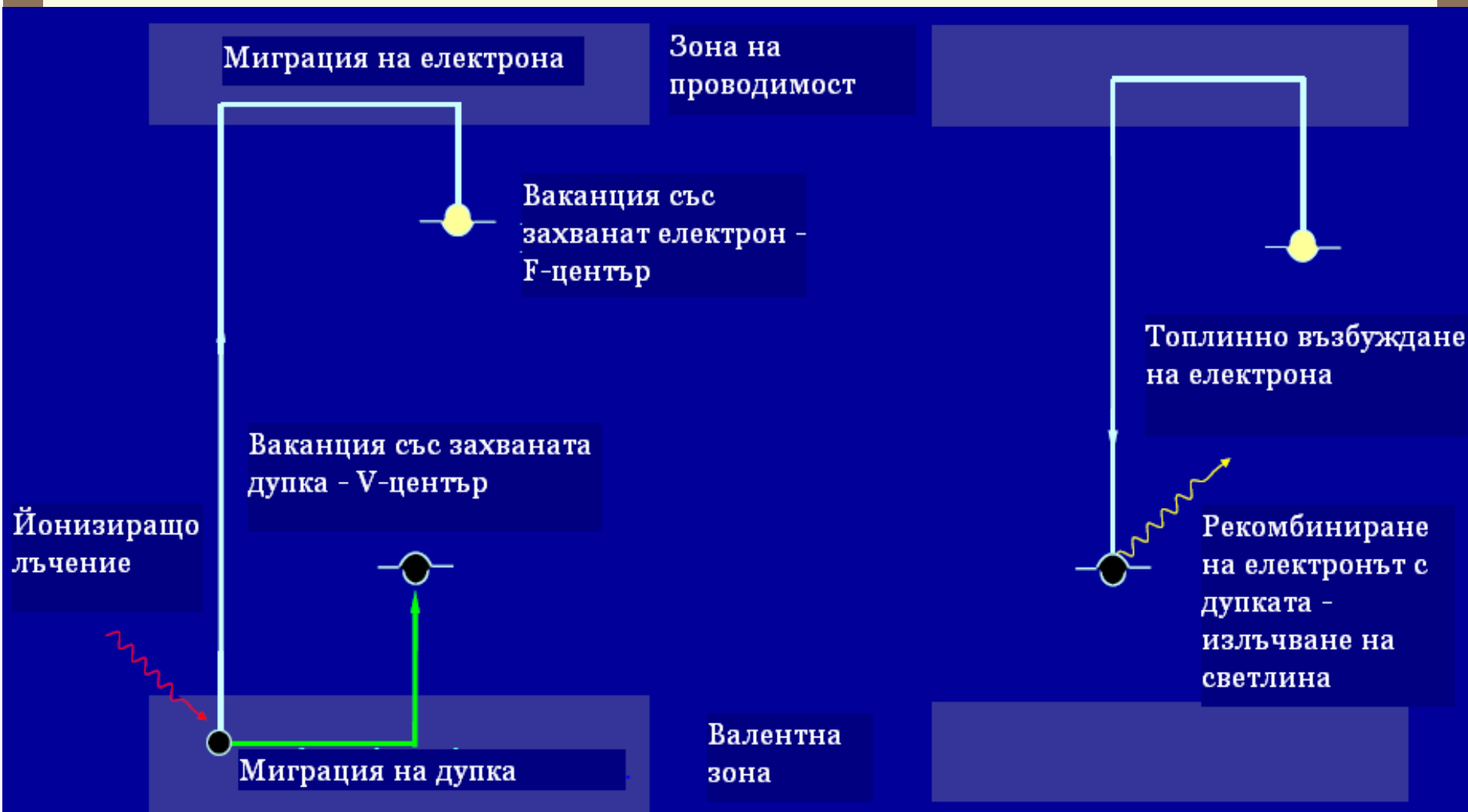
- Чувствителността на дозиметричния фотофилм зависи от енергията на фотоните, вида на емулсията, процеса на проявяване, стареенето и др.
- Един от най-разпространените методи за индивидуална дозиметрия редом с **термолуминесцентната дозиметрия (ТЛД)** е **филмовата дозиметрия (ФД)**.

Термолуминесцентни детектори

- *Термолуминесценцията* или термално стимулираната луминесценция - излъчване на светлина при нагряването на твърдотелен образец (изолатор или полупроводник), предварително възбуден чрез ЙЛ. Процес от три стадия:
 1. облъчването с ЙЛ вещество (термолуминофор) поглъща енергия и преминава в неравновесно състояние (образуват се захватни центрове);
 2. акумулираната енергия се преобразува в енергия на флуоресценция под действието на топлинно възбуждане (нагряване);
 3. термолуминофорът преминава в равновесно състояние

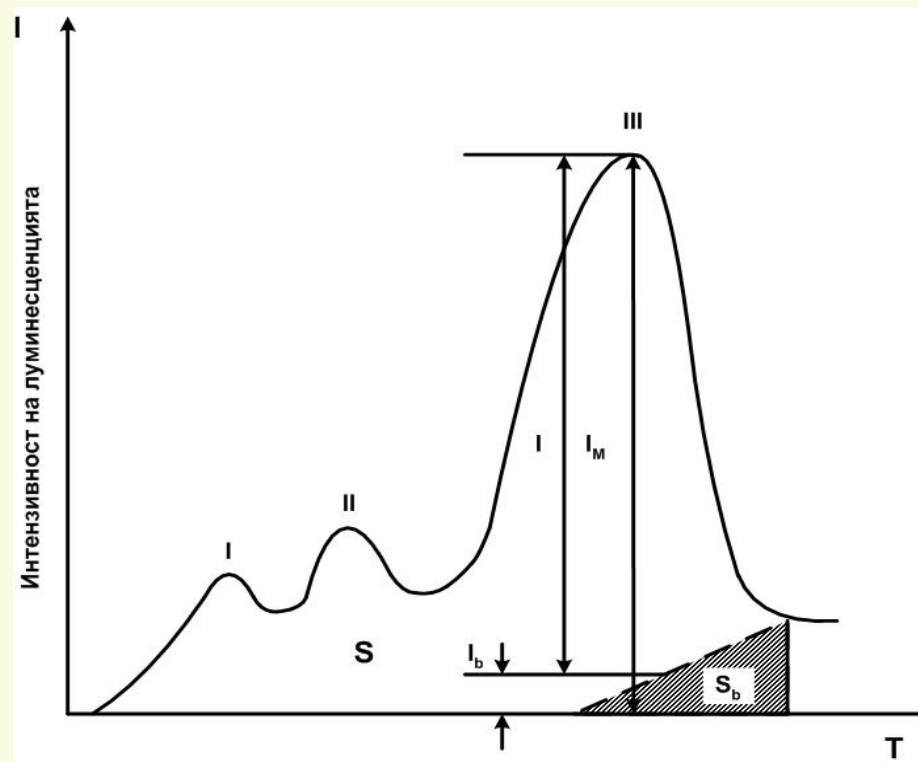
Механизъм на термолуминесценцията

излъчване на светлина при нагряването на твърдотелен образец (изолатор или полупроводник), предварително възбуден чрез йонизиращи лъчения



Термолуминесцентна дозиметрия

- 1) дозиметърът, съдържащ термолуминофор, се облъчва с йонизиращо лъчение – процес на запасяване със светосума;
- 2) нагряване и измерване на интензитета на термолуминесценцията.

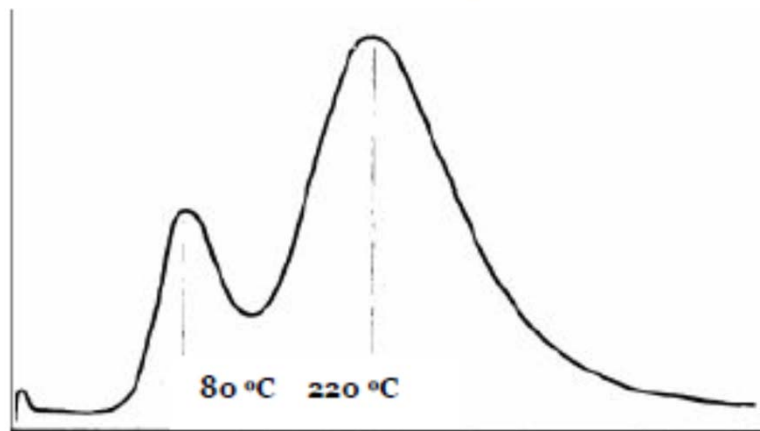


Крива на термоизсветване

Десислава Костова-Лефтерова

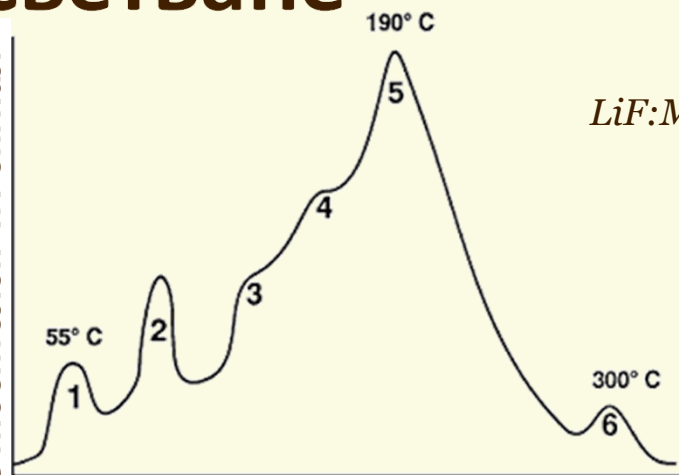
Криви на изсветване

Относителен ТЛ сигнал



Температура, °C

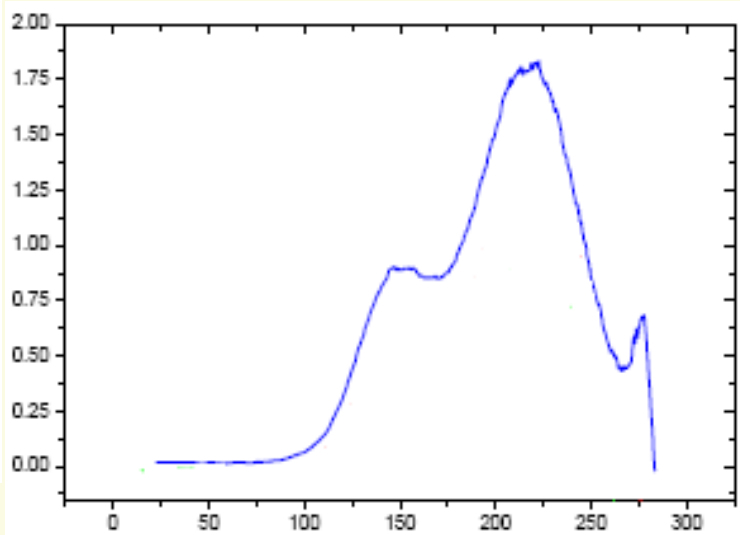
Относителен ТЛ сигнал



Температура, °C

$Li_2B_4O_7:Mn$

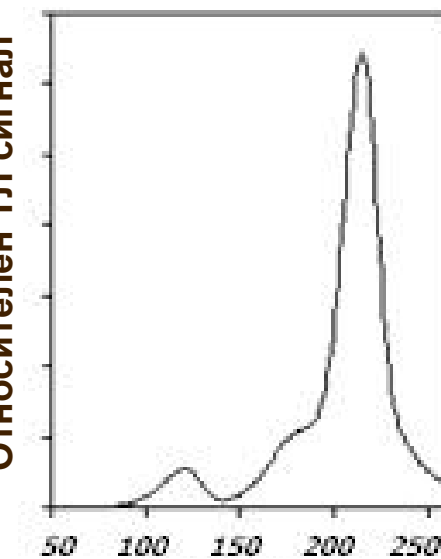
Относителен ТЛ сигнал



Температура, (°C)

$Ca F_2:Dy$

Относителен ТЛ сигнал



Температура, °C

$LiF:Mg,Cu,P$

Избор на подходящ луминофор за целите на рентгеновата диагностика

- чувствителен само към ЙЛ, за което е предназначен да регистрира;
- висок ТЛ добив;
- достъпен във физичната форма, необходима за дадено измерване;
- относителен отклик, близък до този на меките тъкани, при енергиите на рентгеновите фотони;
- линейна дозова характеристика в максимално широк дозов интервал (10 μGy - 1 Gy);
- пренебрежим фединг в широк температурен диапазон и за период от няколко седмици;
- чувствителността да не зависи от мощността на дозата и от енергията на лъчението;
- подходящ за измерване спектър на луминесценцията;
- химически издръжлив на въздух и при нагряване над 300 °C;
- формата на кривата на термоизсветване, термолуминесцентният добив и фоновото светене да не се променят при многократно използване и продължително съхранение.

Предимства и недостатъци на термолуминесцентните детектори

- + високочувствителни
- + лесни за прикрепване
- + не създават артефакти върху образа и не закриват важна диагностична информация;
- + отчитат сумарния принос от падащите и разсеяните фотони;
- + запазват диагностичната информация дълго време;
- + нямат нужда от собствено електронно хранване;
- + широк дозов интервал;
- + многократно използване.
- сложен цикъл на отгряване;
- нелинеен отклик при високи дози;
- загуба на чувствителност в процеса на работа с тях;
- еднократно измерване на дозата;
- отчитането им води до нулирането им.

Термолуминесцентен цикъл на измерване

- отгряване:
 - инициализация;
 - нулиране;
 - следоблъчвателно отгряване.
- пакетиране;
- съхранение;
- облъчване;
- отчитане;
- математична обработка на получените резултати.

