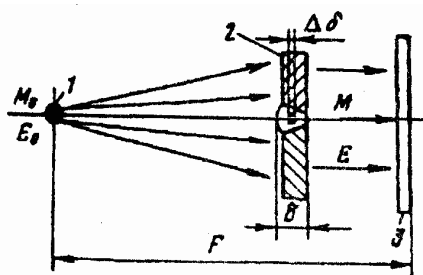


Доклад на тема:

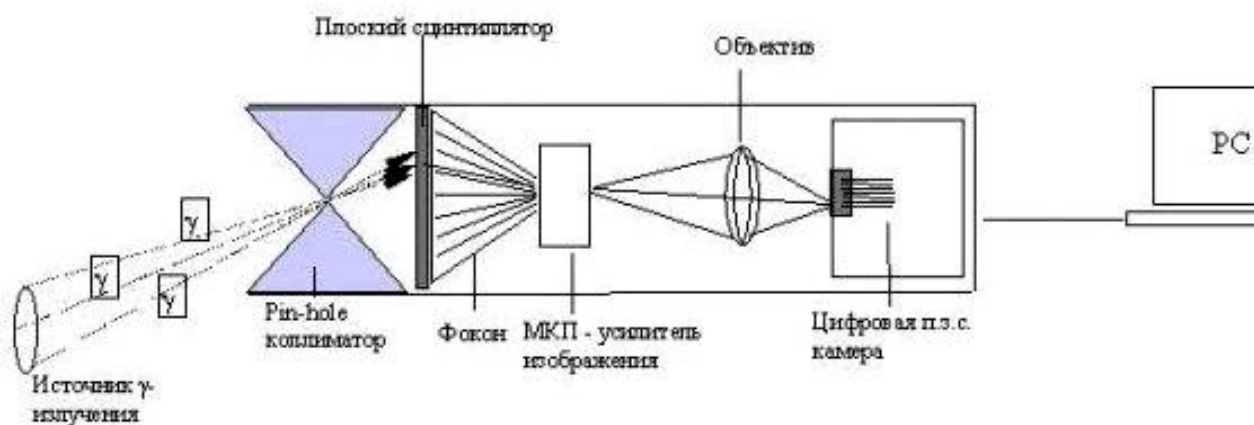
# Гама и неутронна дефектоскопия

Изготвил: Елена Костадинова, Инженерна Физика, Ф№20468  
СУ „Св. Климент Охридски”





- 1 - източник
- 2 - изследван обект
- 3 - детектор



- Приложение:
  - откриване и предотвратяване на развитието на дефекти в материали – обикновено по-плътни: метали и сплави;
  - контрол на качеството по време на производство;
  - контрол след и по време на експлоатация;
- Изисквания за снопа  $\gamma$ -лъчи

Най-често се използва широк сноп, тъй като:

- обхваща по-голяма площ;
  - при такъв сноп голяма част от  $\gamma$ -квантите се разсейват вторично и попадат отново в детектора.
- ⇒ намаляването на интензитета на широкия лъч става по-плавно, отколкото на тесния сноп.

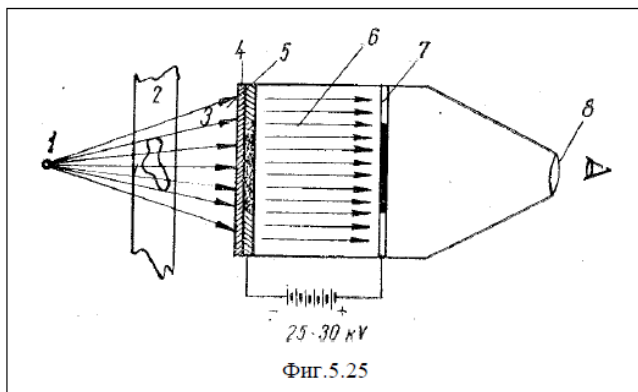
**Обратно разсеяните кванти нарушават контрастността на снимката, но този проблем се решава с използването на усилващи главното лъчение (а в същото време поглъщащи разсеяното лъчение) екрани.**

Когато сканирането става ред по ред се използва тесен, колимиран сноп. **Такова сканиране е необходимо при много отговорни детайли.**

За измерване на интензитета на преминалия сноп лъчи се използват различни методи.

## I.1. Видове методи за откриване на дефекти в материалите – фотографски, ксерографски, йонизационен, телевизионен.

- Най-често използван (и най-стар) е фотографският метод, като изображението се получава на фотографски материал (фотоплака, фотодетектори).
- Йонизационният метод се използва при изследване с тънък сноп  $\gamma$ -лъчи  $\rightarrow$  по-малко разсеяно лъчение  $\rightarrow$  по-чувствителен метод. За регистриране на преминалото лъчение се използват импулсни детектори.
- Ксерографски метод – използват се материали, които при обикновени условия са изолатори, но провеждат ток при облъчването им с гама-лъчи. Пластини от такъв материал се зареждат с ел. заряд до определено ниво, след което се облъчват с преминалите през образца лъчи. Където интензитетът на лъчението е бил по-голям, там количеството на остатъчния заряд ще е по-малко.
- Телевизионен метод – използва се флуоресциращ екран, като  $\gamma$ -изображението търпи няколко превръщания:



- 1 – източник
- 2 – изследван обект
- 3 – преминали  $\gamma$ -лъчи
- 4 – луминесциращ екран
- 5 – фотокатод
- 6 – избити електрони
- 7 – екран, излъчващ във видимата област

$\gamma$ -лъчи  $\rightarrow$  видимо, светлинно изображение  $\rightarrow$  електричен сигнал  $\rightarrow$  видимо изображение

- Фотографски метод

Интензитет на широк сноп, преминал през поглъtitел с дебелина  $d$ :

$$I_w = I_0 e^{-\mu d} + I_s$$

$I_0 e^{-\mu d}$  – отслабването на тесен сноп,

$\mu$  - линеен коефициент на отслабване за тесен сноп;

$I_s$  - интензитет на разсеяното лъчение в конкретна точка.

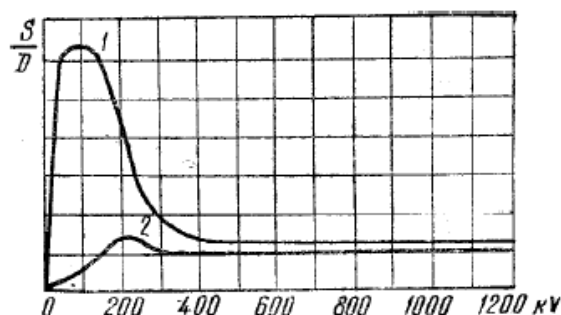
Разсеяното лъчение зависи от спекралния състав на лъчението, поглъщането на лъчението, което не позволява то да бъде определено теоретично. Разсеяното лъчение се определя експериментално като се пресмята разликата между интензитета на преминало лъчение на широк и тесен сноп през слой с определена  $d$ . Тъй като широкият сноп създава повече разсеяни кванти.

## I.2. Същност на получаване на образа

- Интензитетът на преминалите  $\gamma$ -лъчи зависи от плътността и дебелината на изследвания образец. Следователно лъчите, преминали през област с по-малка плътност, имат по-голям

интензитет от съседните лъчи. На негатива по-големият интензитет дава по-тъмни области. Така местата от негатива, съответстващи на участъци, поглъщащи по-малко лъчение, ще бъдат тъмни.

- Почерняването на фоточувствителния материал зависи и от енергията на  $\gamma$ -лъчите.



$S/D$  – чувствителност на фотоматериала (отклик към доза лъчение) в зависимост от енергията

1 - без изравняващи екрани

2 - с изравняващи екрани

⇒ едно и също почерняване на плаките с  $\gamma$ -лъчи, които имат различни енергии след преминаване през материала, се постига с различни дози.

Затова различните облъчващи изотопи (с различни енергии) се нуждаят от различни експозиции (осветеност за определено време).

- За намаляване на времето за експозиция се използват екрани, които имат усилващо действие, благодарение на избитите от тях фотоелектрони. Тези електрони предизвикват допълнително почерняване на плаката.

$$\sigma_{\text{фе}} \propto Z^n, \quad n=4;5$$

→ за усилващи екрани се използват тежки метали. Те работят на принципа на избиване на фотоелектрони под действие на йонизиращото лъчение, които от своя страна въздействат допълнително върху плаката (детектора).

**Изборът на дебелината и състава на изравняващите екрани е сложен, тъй като разсеяното лъчение има по-малка енергия от преминалото (неразсеяно), което би довело до увеличаване на избитите фотоелектрони. А разсеяното лъчение дава неистинно изображение. Затова дебелината на екраните се избира да е по-голяма от максималния пробег на разсеяните гама-кванти, но по-малка от средния пробег на преминалото през образеца лъчение.**

- Някои основни термини във фотографския метод са:

**Коефициент на усилване на екрана** – отношението на времето на експозиция без екран и времето на експозиция с екран за едно и също почерняване на плаката при еднакви други условия.

**Чувствителност** на фотографския метод за контрол е минималната големина на дефекта до посока на разпространението на лъчите, която може да се открие, изразена в mm или в проценти от дебелината на материала.

- С намаляване на размерите на дефекта в направление на лъчите намалява и разликата в отслабването на гама-лъчението, преминало през дефекта и встрани от него, а това довежда до намаляване на контрастността на изображението.

Качеството на снимката пряко зависи от чувствителността на метода, тъй като тази характеристика задава минимална разлика в почерняването на два съседни участъка, която може да се различи с око. Тази разлика е 0,02-0,03, следователно малките дефекти, които дават по-малка разлика от посочената не могат да бъдат открити чрез разчитане на изображението от човек.

Другата важна характеристика е контрастността и резкостта (фокусируемката) на изображението, които зависят от енергията на лъчението,  $Z$ , плътността и дебелината на образца, геометричните размери на източника на  $\gamma$ -лъчи, фокусното разстояние и полето на облъчване, формата и разположението на дефекта в дълбочина.

Сложността на тези фактори **не позволява чувствителността да бъде определена количествено теоретично**. Във всеки конкретен случай чувствителността на метода може и трябва да се определя експериментално – използват се различни видове еталони с изкуствени дефекти, които са еднакви или близки по свойства с изследвания образец.

### I.3. Зависимост на чувствителността на фотографския метод от различни фактори:

#### 3.1. Чувствителност = f (E $\gamma$ )

- Фоточувствителната плака се характеризира с **пропускливост** – интензитетът на преминалата светлина през плаката към интензитета на падащата  $\gamma$ -лъчите, преминавайки през материала и неговите дефекти, отслабват различно. Отношението на мощността на дозата с дефект и без дефект се определя от изразите:

$$\frac{P_2}{P_1} = \exp[(\mu - \mu_1)\Delta l / \cos \varphi]$$

$\mu$  – коефициент на поглъщане за материала на образца;  
 $\mu_1$  – коефициента на поглъщане за материала на дефекта  
 $\Delta l$  – дебелина на дефекта  
 $\varphi$  – ъгъл между перпендикуляра източник-обект и лъча, свързващ източник дефект.

Има един конкретен случай, в който дефектите са неоткриваеми. Когато  $\mu = \mu_1$  няма да има разлика в мощностите на дозата на преминалите  $\gamma$ -лъчи през материала и през негови дефекти, тоест на изображението областите няма да бъдат различими.

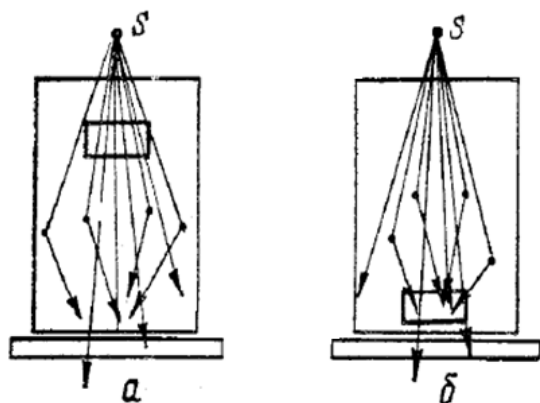
Колкото по-голяма е разликата  $\mu - \mu_1$ , толкова по-малки по размер дефекти (в направление на лъча) могат да се открият.

#### 3.2. Чувствителност = f (разсеяно лъчение)

Относителният интензитет на разсеяното лъчение за широк лъч нараства с увеличаването на дебелината на материала; следователно така се намалява контрастността, влошава се чувствителността на метода.

Особено силно разсеяното лъчение намалява контрастността на изображението, когато дефектът е далеч от плаката.

Когато дефектът е на голямо разстояние от плаката, разсеяното лъчение почти от всяка точка на целия обем може да попадне върху изображението и да увеличи почерняването (фона) върху целия негатив. Когато дефектът се намира близо до плаката и прекият сноп, и разсеяното лъчение, преди да попаднат на плаката, преминават през дефекта - изображението на дефекта ще бъде почти толкова контрастно, колкото в успореден сноп.



Дефектът е на:

а – голямо разстояние от плаката;

б – малко разстояние от плаката.

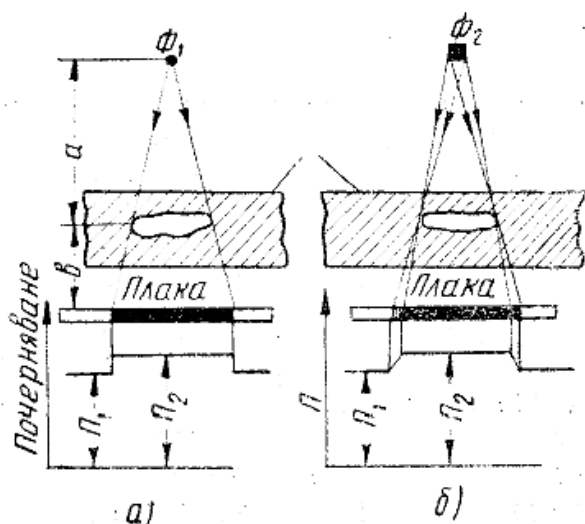
Често върху плаката попадат разсейни от околните предмети лъчи, които могат да увеличат фона и да влошат изображението. Най-добрият начин за избягване на такива разсеяни лъчи е отдалечаване на околните предмети на голямо разстояние от плаката. При заснемането на сложни, обемни обекти, това е невъзможно и затова се увеличава дебелината на металния усилващ екран.

Използването на усилващи екрани довежда до намаляване на фона от разсеяното лъчение, тъй като:

- разсеяното лъчение има по-малка енергия от първичното;
- разсеяните гама-кванти попадат под всевъзможни ъгли в усилващия екран, (предимно по-големи) и вероятността да се погълне разсеяното лъчение от екрана нараства.

### 3.3. Чувствителност = f (геометрични размери източник)

Проекцията на радиоактивния препарат върху плоскост, перпендикулярна на разпространението на гама-лъчите (плаката), е прието да се нарича фокус или фокусно петно, а разстоянието между радиоактивния източник и плаката - фокусно разстояние.



а) точков източник;

б) реален  $\gamma$ -източник

При точков източник изображението на дефекта е рязко, със строго определени граници. Разбира се, точковият източник е една абстракция. Реалните  $\gamma$ -източници винаги имат определен обем и съответно геометрични размери.

Всяка точка от такъв източник дава свое рязко изображение, но изображенията от различните точки на източника са разместени едно спрямо друго по такъв начин, че освен основната сянка от дефекта в краищата се получават и полусенки, които са плавен преход на почерняването от изображението към фона.

Ширината на полусянката расте с нарастването на геометричните размери на източника.

Връзката между ширината на полусянката, размерите на фокусното петно  $\Phi$ , фокусното разстояние  $F$  и разстоянието между дефекта и плаката  $b$  се дава от:

$$Y = \Phi \frac{b}{F - b}$$

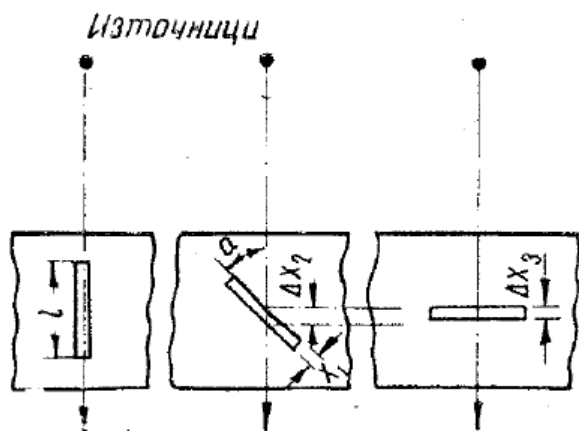
Следователно размерите на полусенките са толкова по-малки, колкото  $F$  е по-голямо и колкото разстоянието между дефекта и плаката  $b$  е по-малко. Същото важи и за разделителната способност. Тя е по-лоша, когато е голямо фокусното петно  $\Phi$ , разстоянието  $b$ . Разделителната способност е по-добра при по-голямо фокусно разстояние  $F$ .

### 3.4. Чувствителност = f (форма дефект)

Дефекти, които имат праволинейни граници, успоредни на разпространението на гама-квантите, се проявяват значително по-добре поради това, че границите са резки, отколкото дефекти със сферична, цилиндрична, трапецовидна или друга форма.

Проявяването на дефектите се променя в зависимост от тяхното разположение спрямо посоката на лъчите.

На фигурата е показан един и същи дефект, но разположен по различен начин спрямо направлението на лъчите. Най-голямо почерняване ще има в случая, когато лъчът преминава през цялата дължина на дефекта (а), по-малко, когато е под наклон (б), и най-малко в случая (в).



*Може да стане така, че при едно разположение дефектът да се вижда ясно, а в друго съвсем да не личи. Поради това, много отговорни детайли се пролъчват за сигурност от няколко места.*

### I.4. Гама-снимки на активни образци (гама-радиография)

Когато контролираните детайли имат активност  $\sim 100-1000 \text{ Ci}$ , получаването на гама-снимка по споменатите методи е невъзможно. Фонът от детайла е твърде висок и ще унищожи напълно изображението.

Може да се използва следната схема:

- 1) снимката да се извършва върху фотографски материал с много малка чувствителност, така че за времето на подготовка да няма забележимо почерняване на материала;
- 2)  $\gamma$ -източникът, с който ще се пролъчва материала, да има активност, превишаваща няколко хиляди пъти активността на изследвания обект.

Така могат да се получат гама-снимки на блокове от уран с естествена активност.



Но когато обектите са с голяма активност, за да бъде изпълнено второто условие, са необходими  $\gamma$ -източници, които не могат да се направят точкови - за да бъдат достатъчно интензивни, техните размери стават съизмерими с размерите на самите обекти.

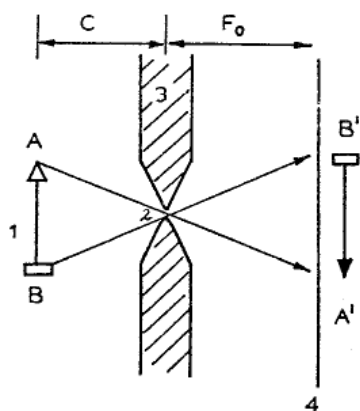
Освен тези трудности, това води и до извънредно влошаване на разделителната способност на метода и прави безпредметно получаването на гама-снимки.

Съществува метод, с който се получават добри изображения дори на високо активни образци – т. нар. камера обскура (от лат. тъмна стая).

### Камера-обскура

За получаването на  $\gamma$ -снимката се използва собственото  $\gamma$ -лъчение на изследвания образец. Образците са сравнително големи обекти, всяка част на които е радиоактивна и излъчва "светлина" ( $\gamma$ -кванти). Тъй като светещият обект е прозрачен за собственото си лъчение ( $\gamma$ -лъчите), това позволява на изображението да се вижда и вътрешната структура на обекта.

Камера-обскура представлява непроницаема за лъчението кутия, в челната преграда на която се пробива отвор с много малък диаметър. В кутията срещу отвора се поставя светочувствителният материал.



- 1-изследван  $\gamma$ -активен образец
- 2-отвор за лъчението
- 3-преграда
- 4-фоточувствителен слой

Когато става дума за предмет, който свети с  $\gamma$ -лъчи, камерата трябва да бъде направена от тежък материал и с достатъчно дебели страни, така че лъчението да прониква в нея само през отвора или в област, много близка до него. Поради това, камерата за гама-лъчи се прави обикновено от тежък метал (Pb) с достатъчно дебели стени.

### I.5. Апарати за $\gamma$ -дефектоскопия

Най-простата апаратура за  $\gamma$ -дефектоскопия се състои от:

- контейнер за защита от лъчението (когато не се работи);
- радиоактивен източник;
- подходящи фоточувствително материали;

Апаратурата може да се усложни и съответно подобри със създаването на комплект от различни усилващи екрани, техника за наблюдение от разстояние ([online](#)), разчитащ и сигнализиращ софтуер, защита.

Според енергията на лъчението, апаратите се разделят на три типа:

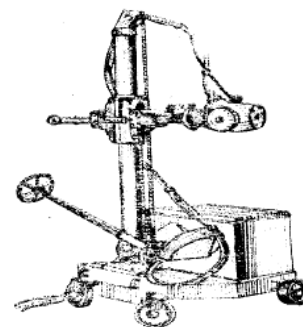
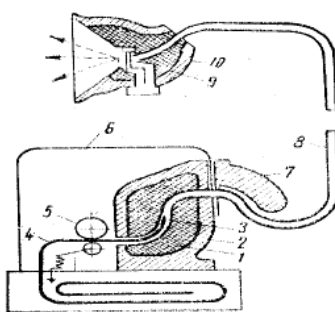
- 1) Апарати за пролъчване на тежки метали (стомана и близки по плътност) с голяма дебелина 80-200mm. В тях се използва предимно  $^{60}\text{Co}$  с активност  $\sim 10\text{Ci}$ ;
- 2) Устройствата за облъчване на тежки метали с дебелина 15-80mm или леки метали и сплави с дебелина 50-300mm. Най-често в тях се използват  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{192}\text{Ir}$  с активности до около 30 Ci;

3) Апарати за облъчване на тежки метали с дебелина до 15mm и леки сплави с дебелина до 50mm.

Най-често се използва изотопът  $^{152}\text{Eu}$ .

Сред най-използваните източници са още  $^{75}\text{Se}$  и  $^{162}\text{Yb}$ .

ИЗОТОП	$E_\gamma$ [keV]
$^{169}\text{Yb}$	63
$^{152}\text{Eu}$	122
$^{75}\text{Se}$	265
$^{192}\text{Ir}$	380
$^{137}\text{Cs}$	662
$^{60}\text{Co}$	1250



## II. Неутронна дефектоскопия

- недостатъци: също като  $\gamma$ -дефектоскопията, този метод не открива дефекти, разположени перпендикулярно на лъчението.

- предимства: n-дефектоскопия позволява получаването на качествено изображение на детайл, който е направен от материали с различни плътности (пластмаса + стомана). Това е възможно поради силното разсейване на неутроните от пластмасата и слабото им поглъщане и разсейване от стоманата. Неутронните детектори са слабо чувствителни към естествения  $\gamma$ -фон  $\rightarrow$  получава се добро изображение на обекти с висока активност или в област с такава.

### II.1. Източници на неутрони

- първоначално: ускорители, работещи с  $(\alpha, n)$ -реакция;
- ядрени реактори – достатъчен поток неутрони, който може да се колимира. Интензитетите са 1010-1014 n/(cm<sup>2</sup>s), а след колимиране: 107-1011 n/(cm<sup>2</sup>s). Реакторът не позволява пренасяне;
- неутрони от радиоактивни източници – спонтанно делене или реакциите  $(\alpha, n)$ ,  $(\gamma, n)$ ,  $(d, n)$ , ядрено делене;

Най-често за неутронография се използват топлинни неутрони.

название	студени	топлинни	резонансни	бързи
енергия, eV	< 0,005	0,005-0,5	0,5-1000	>1000

### II.2. Детекция на неутронни и получаване на изображение

Неутроните нямат електрически заряд, те не йонизират директно веществата. Затова детектирането им се извършва чрез предизвиканите от тях ядрени реакции, при които възникват вторично заредени частици или  $\gamma$ -кванти. Всеки неутронен детектор се състои от мишена, в която неутронът поражда заредената частица и подходящ детектор за полученото йонизиращо лъчение.

Обикновено се използват реакциите  $(n, \alpha)$  и  $(n, \gamma)$ .

Материали, в които се използва реакцията  $(n, \alpha)$ , могат да работят или непосредствено с плаката, или много по-ефективно, когато този материал се смеси с прах от светещо вещество, например ZnS(Ag). Други сцинтилационни материали са Gd, In, Dy.