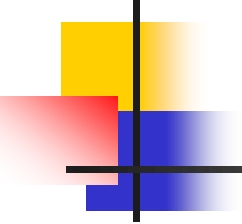


***Практически мерки за  
намаляване на  
облъчването. БЗР***

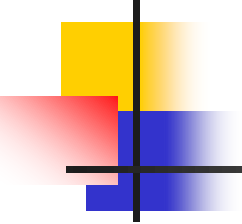
---

*Доц. М. Израел, д.м.*



---

Спазването на приетите гранични стойности за облъчване и радиационната защита, както и намаляването на облъчването до разумно достижими нива, се извършва чрез спазването на изискванията на втория принцип за радиационна защита – ALARA, и се постига чрез прилагането на комплекс от общи и специфични мерки и правила.



---

***Първи етап – запознаване с характеристиката на източника на лъчение, с правилата за работа и средствата за радиационна защита.***

Какво трябва да се знае за източника: вид и енергия на лъчението, вид на източника (радионуклид, рентгенова тръба, линеен ускорител и т.н.), възможно облъчване – външно или вътрешно, параметри на лъчението – аактивност на радиоактивния източник, мощност на дозата и др.



---

***Втори етап – създаване на условия за безопасна работа и намаляване на облъчването.***

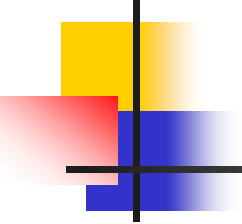
Деятелностите с йонизиращи лъчения трябва да се извършват само в определените за това помещения, в контролираната зона, посочени в съответните лицензи/разрешения за ползване, издадени от АЯР. В тези помещения не могат да се извършват други спомагателни дейности, не пряко свързани с работата с йонизиращите лъчения. Контролираната зона се обозначава, поставят се знаци за радиационна опасност на вратите на помещенията.



---

Съществуват няколко „златни правила“ за намаляване на облъчването с йонизиращи лъчения.

- ***Правило 1. Намаляване на разстоянието до източника.***



---

За фотонни източници с малки размери (закрити гама-радиоактивни източници, телегаматерапевтични уредби, ускорители, гама-дефектоскопи) мощността на дозата намалява приблизително с квадрата на разстоянието. При закритите източници, дори малкото отдалечаване от източника е достатъчно, за да не се очаква облъчване на персонала.

Закритият източник не се пипа с ръка, независимо от неговата активност и вид. Изваждането му се извършва с дистанционни инструменти и със специални приспособления.



---

## ***Правило 2. Намаляване на времето на облъчване.***

- Дозата е пропорционална на продължителността на облъчване. В случаите, когато източниците не се ползват, те трябва да се съхраняват в защитни съоръжения и да се изваждат само при необходимост за прилагането им. Минимизирането на времето на работа с източници на йонизиращо лъчение може да бъде тренирано предварително с нерадиоактивни макети на тези източници.



---

### ***Правило 3. Използване на защитни прегради.***

- Видът и дебелината на защитните прегради се избира в етапа на проектиране на лъчезащитата, като те са съобразени с вида на източника, условията за работа и продължителността на използването му.

При работа с открити радиоактивни източници се спазват универсалните, но и допълнителни специфични правила:

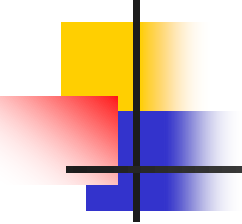




---

- ***Планиране на работните помещения и на операциите.***

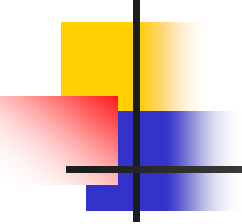
Видовете дейности с открити източници се групират в три класа, в зависимост от групата радиоактивност на използвания радионуклид и от неговата максимално допустима активност. По-високият клас на работата изисква по-строги изисквания към лъчезащитата.



---

Помещенията за работа с източници от клас I се разполагат в отделна сграда или в изолирана част от сградата. В зависимост от степента на радиоактивно замърсяване, помещенията се разделят на части със защитни шлюзове между тях.

Помещенията от клас II се разполагат в отделна част от сградата, като се предвижда да има помещения за постоянно и временно пребиваване на работещите.



---

При помещенията от клас I и II се изисква да има санитарен пропускник с душ и дозиметричен контрол на изхода. Има специфични изисквания за покриване на съоръженията и мебелировката в работните помещения.

При работа с източници от клас III няма специфични изисквания за защита, освен че помещенията трябва да отговарят на изискванията за химически лаборатории. Също се препоръчва да има помещение с душ, както и отделно помещение за съхраняване и разфасоване на радиоактивните материали.



---

- ***Херметизиране на производствените процеси.***

Лабораториите за работа с източници от клас I и II се оборудват с камери, боксове и други херметически затворени помещения, където се работи с дистанционни инструменти, ръкавици, херметично монтирани във фасадната стена на камерите и боксовете, с цел да се избегне разпространение на радиоактивните вещества. Поставят се специални изисквания към вентилацията на помещенията.



---

- ***Вентилация на помещенията.***

Тя е необходима с цел намаляване на концентрацията на радиоактивни аерозоли и прахове във въздуха на работната среда. При лабораториите от I клас са необходими две вентилационни системи – нагнетателно-смукателна за горещите камери и боксове, и общообменна вентилация за осигуряване на движение на въздуха от чистата към горещата зона. Въздухът от вентилационните инсталации се филтрира преди да бъде изхвърлен в околната среда, като се извършва контрол на активността на изхвърлените радиоактивни вещества. Въздухообменът при вентилационни уредби за помещения от II и III клас трябва да е съответно 5 и 3-кратен за час.



---

- ***Използване на индивидуални защитни средства.***

Те предпазват от инхалиране на радиоактивни аерозоли и прахове, както и от контакт с кожата на човека. Личните предпазни средства могат да се разделят на две групи – за ежедневно прилагане (работно облекло, обувки, противопрахови аспиратори), и на такива за краткотрайно използване (пневмокостюми, противогази, кислородни апарати и др.). При работа с източници от I клас не се допуска работа с лично облекло.



---

- ***Спазване на правила за лична хигиена.***

Свързана е с избягване на замърсяване на ръцете, тялото, косата, облеклото. Забранява се пушенето, храненето, внасянето на предмети, несвързани с работата.



---

- ***Дезактивация на замърсени повърхности.***

Дезактивация се нарича намаляването или отстраняването на радиоактивно замърсяване от повърхности или от средата. В обектите за работа с открити източници се поддържа постоянен резерв от деактивиращи средства и миещи препарати, в зависимост от използваните радионуклиди и техните съединения. Прилагат се специфични изисквания за дезактивация от разлети радиоактивни разтвори, повърхности, облекло, средства за индивидуална защита, замърсена коса и кожа и т.н. Ефективността на дезактивация се контролира с дозиметрични уреди.

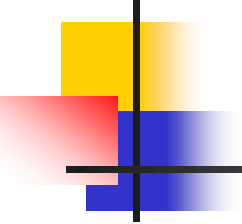




---

## ***Защита от алфа и бета-лъчение.***

Обикновено защитата при външно облъчване с алфа-или бета-лъчения не представлява особен проблем. Ако се работи със закрити препарати, то най-често стените на ампулата на източника поглъщат алфа-или бета-лъчението. При работа с открити източници защитата на ръцете от алфа-лъчението може да се осъществи с леки ръкавици, а поглъщането във въздуха осигурява защитата на другите части на тялото.

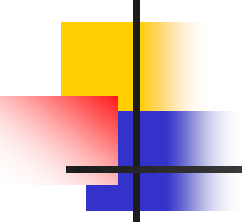


---

При бета-излъчващите радионуклиди за защита се използват леки екрани от алуминий, плексиглас, стъкло и пр. Тяхната дебелина може да се определи, като се изхожда от енергията на бета-лъчението и максималния пробег на бета-частиците.

Защита от външно облъчване с екраниране се налага преди всичко за силно проникващи лъчения: гама- и рентгенови лъчи и неутрони.

За защита от гама-лъчение могат да се използват екрани от различни материали. Дебелината на слоя на отслабване може да се определи и с помощта на слоевете на полуотслабване и десетократно отслабване.

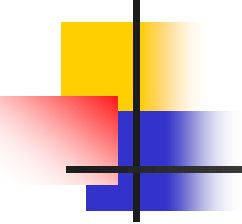


---

Пресмятането на дебелината и разполагането на защитата е инженерно-физически проблем, решаването на който преминава през няколко етапа:

1. Определя се мощността на дозата в точката или точките, които трябва да се екранират.

2. В зависимост от условията на работа и изискването за допустима мощност на дозата, а също и приетия коефициент на сигурност, се определя необходимата кратност на отслабване.



---

3. Съгласно инженерно-техническата задача, а също и от икономически съображения, се избира защитния материал или материали.

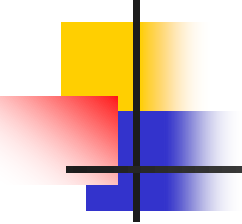
4. Дебелината на защитата се определя в зависимост от енергията на  $\gamma$ -квантите, от материала на екрана и кратността на отслабване по таблици и номограми, за широк сноп  $\gamma$ -лъчение.



---

## ***Защита от вторично лъчение***

Понякога от **първичното** гама-лъчение се защитава само определена зона и се налага да се осигурява защита спрямо разсеяното лъчение. При това съществено значение имат само лъчите, разсеяни под ъгъл  $90^\circ$  или по-голям - до  $180^\circ$ . Енергията на разсеяните фотони е по-малка от тази на първичните.



---

За **практически цели** обикновено се приема, че при разсейване на  $90^\circ$  максималната енергия на фотоните  $\varepsilon = 0,5 \text{ MeV}$ , а при  $180^\circ$ ,  $\varepsilon = 0,25 \text{ MeV}$ . Интензивността на разсеяното лъчение зависи от геометричните условия и вида на разсейващата среда. Едно често използвано в практиката приближение е, че при енергия на първичните фотони в диапазона  $0,3 - 3 \text{ MeV}$ , мощността на дозата на създаденото вторично лъчение е  $1\%$  от мощността на дозите на първичното лъчение при еднакви разстояние от източника до детектора.

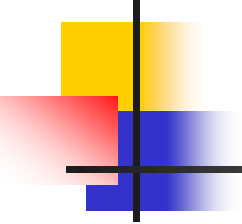
За целите на практиката понякога се оказва по-целесъобразно вместо защита от вторично лъчение да се екранира първичното лъчение, излизащо в страни и по този начин ***да се намали интензивността на разсеяното лъчение.***



---

Освен разсеяните гама-кванти към вторичното лъчение отнасят и **електроните, избивани от защитните екраните.**

В резултат от това, мощността на дозата *непосредствено до повърхността на екрана* (на разстояние от порядъка на максималния пробег на електроните) ще бъде повишена в резултат на йонизацията, предизвикана от електроните.

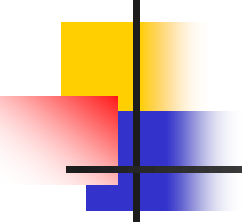


---

Един от най-често използваните материали за защита от рентгеново и гама-лъчение е оловото.

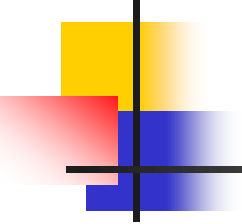
От гледна точка на минималното тегло е целесъобразно да се избират материали с по-голяма плътност и по-голямо атомно тегло.





---

От технологична гледна точка материалите за защита се делят на две групи: материали, съдържащи олово (олово, оловна гума и оловно стъкло) и материали, несъдържащи олово (волфрам, обеднен уран, желязо, барит, бетон, тухла, вода и др). На таблицата по-долу са представени някои от характеристиките на различни защитни материали. За всеки материал се използва **оловен еквивалент**. Това е дебелината на защитата, еквивалентна по кратност на отслабване на 1 mm олово.



---

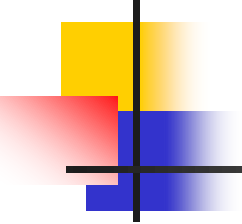
Широко се използват комбинирани защиты: тухла с барит-бетонна замазка, тухла и оловен слой и т.н. Всеки отделен случай конструирането на защита е самостоятелна инженерно-физическа задача. Публикувани са голям брой справочни данни за различни защитни материали и конструкции на защиты.



---

## ***Защита от рентгеновите и $\gamma$ -лъчите***

*Слой на полуотслабване  $d_{1/2}$*  е дебелината на слоя от определено вещество, при преминаването през който интензитетът на фотонно йонизиращо лъчение намалява наполовина. Тази величина се използва в рентгенологията като една от основните характеристики на рентгеновото лъчение, както и в лъчезащитата за грубо, ориентировъчно пресмятане на дебелината на защитни прегради.

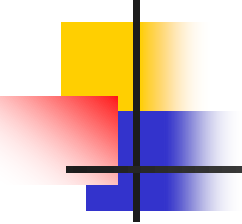


---

От дефиницията на слоя на полуотслабване:  
при  $x = d_{1/2}$ ,  $\psi = 1/2\psi_0$ .

Като заместим тези стойности на дебелината и интензитета в закона за намаление на интензитета на лъчението, се получава следното:

$$\frac{1}{2}\psi_0 = \psi_0 e^{-\mu d_{1/2}}$$



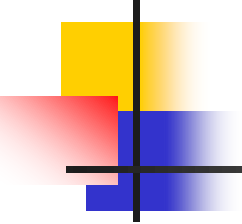
---

След съкращаване на  $\psi_0$  и логаритмуване (при основа  $e$ ) на двете страни на равенството, изразът добива израза:

$$\ln 2 = \mu d_{1/2}$$

ОТКЪДЕТО:

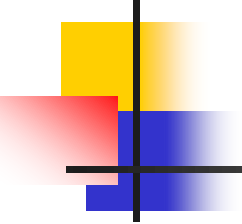
$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}$$



---

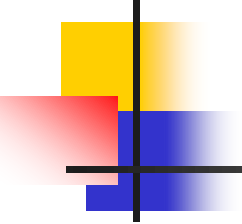
Слоят на полуотслабване може да се определи графично и от кривата на отслабване на интензитета с дебелината. (фиг. 1) Резултатът съответства на горното уравнение –  $d_{1/2}$  е толкова по-малък, колкото е по-голям общият коефициент на отслабване  $\mu$ .

Слоят на полуотслабване в рентгеновата диагностика се определя в милиметри алуминий, а в рентгеновата терапия – в милиметри берилий, алуминий и мед.



---

При рентгеновите лъчи зависимостта на експозицията от разстоянието до анода на рентгеновата тръба и от времето е следната: намалява с квадрата на разстоянието и нараства с продължителността на облъчването. Следователно, основните правила за защита от фотонните йонизиращи лъчения са *отдалечаването от източника и намаляване на времето на пребиваване около него.*

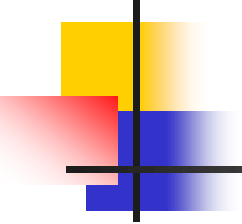


---

Законът за намаляване на интензитета на фотонните йонизиращи лъчения с дебелината на преминатия слой вещество дава другата възможност за защита – чрез използване на прегради от материали с голям линейен коефициент на отслабване и достатъчна дебелина.

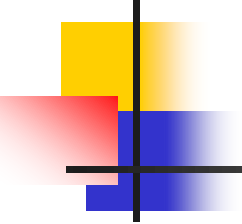
Законът за отслабване на фотонните йонизиращи лъчения с дебелината е основа на методите за изчисляване на дебелината на преградите (екраните) за защита от вредното действие на лъченията.





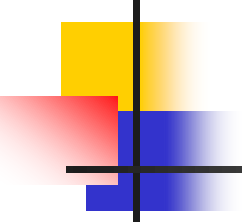
---

Необходимата кратност на отслабване на интензитета, т.е. определената стойност на отношението  $\psi_0/\psi$ , се постига при определена стойност на произведението  $\mu x$  в степенния показател на интегралната форма на закона: дебелината  $x$  на една преграда ще бъде малка при големи стойности на коефициента  $\mu$  и голяма – при негови малки стойности.



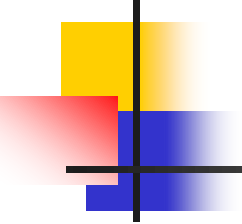
---

Например, за 1000-кратно отслабване на интензитета на гама лъчи от радиоактивен източник с  $^{99}\text{Tc}$  ( $E_\gamma = 0,14 \text{ MeV}$ ,  $\mu_1 = 27,73 \text{ cm}^{-1}$  в олово), и от друг източник с  $^{60}\text{Co}$  ( $E_\gamma = 1,25 \text{ MeV}$ ,  $\mu_1 = 0,68 \text{ cm}^{-1}$  в олово), са необходими оловни екрани с дебелина съответно  $x_1 = 0,25 \text{ cm}$  и  $x_2 = 10,17 \text{ cm}$ .



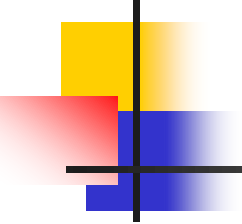
---

Общият линеен коефициент на отслабване има относително най-големи стойности при ниски енергии на фотоните – в областта на рентгеновите и гама лъчите с ниска енергия. Това се отнася най-много за веществата с голям атомен номер, тъй като при ниски енергии преобладава фотоелектричното поглъщане, чийто линеен коефициент зависи само от  $Z$ . По тази причина оловото е предпочитаният материал за защита от рентгеновите и от меките гама-лъчи.



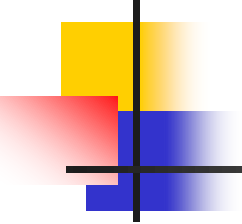
---

Освен екраните от чисто олово (точно с малки примеси от антимоно и други метали за подобряване на механичните му свойства), навсякъде в рентгеновата диагностика и терапия се използват прозорчета от оловно стъкло за визуална връзка с лъчевите помещения, а само в диагностиката – престилки и други защитни средства от оловна гума. Всички тези материали съдържат олово.



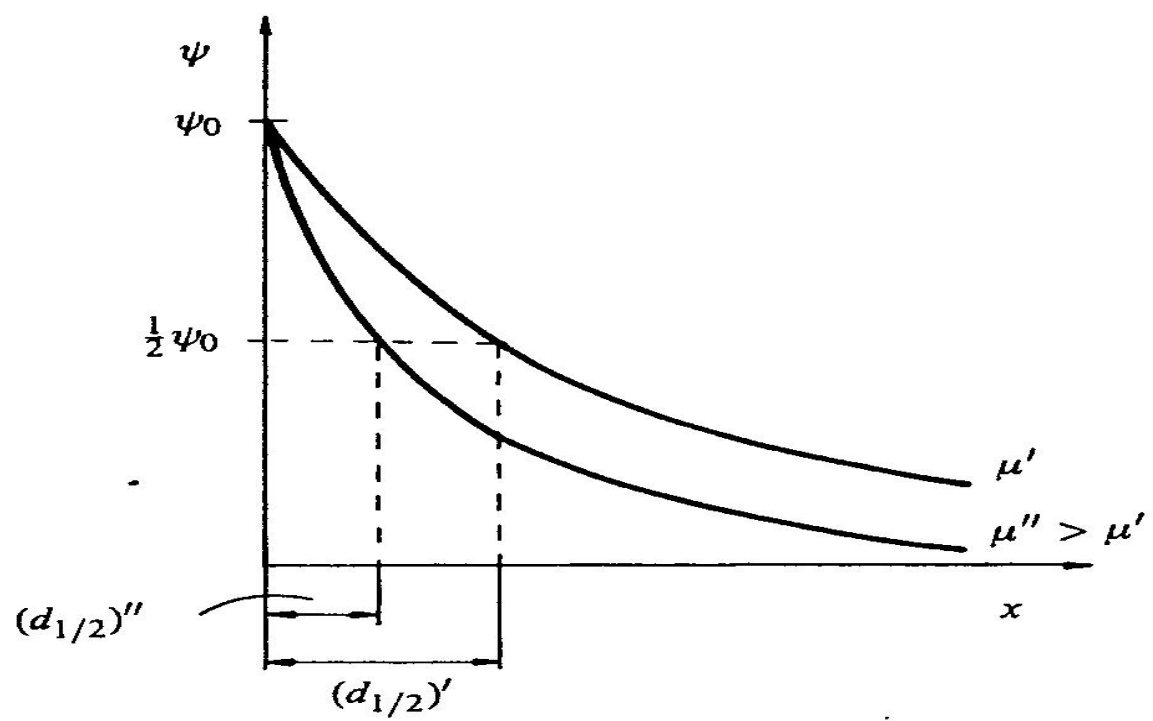
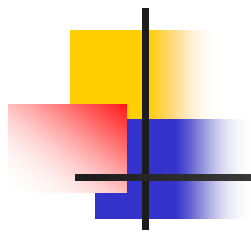
---

Общият линеен коефициент на отслабване има най-малки стойности при средни енергии на фотоните – в областта на гама-лъчите и X-лъчите. Тъй като при тези енергии преобладава комптъновия ефект, чийто линеен коефициент  $\sigma$  не зависи от атомния номер  $Z$ , за лъчезащитни прегради се използват вещества с голяма плътност, добри технологични качества (оловото не е между тях) и с ниска цена.



---

Например, стените на лъчевите помещения на уредбите за дистанционно облъчване с гама-лъчи (телегаматерапия) имат дебелина 1-2 m бетон. Стените на помещенията при ускорителите, използвани за лъчелечение, са още по-дебели. За увеличаване на плътността на бетона, като инертни материали от барит (т.нар. барит-бетон) има плътност  $3,0 - 3,2 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .





---

В рентгенологията се използват защитни ръкавици, престилки, завеси и др. подобни, направени от оловна гума – каучук с голямо съдържание на оловни съединения. Оловното стъкло пред флуоресциращия екран на диагностичните уредби също съдържа такива съединения. Съседните помещения на тези, в които се намират рентгенови уредби, ускорители на електрони и  $\gamma$ -радиоактивни източници, се защитават със стени, изградени от баритни тухли, баритов бетон или се измазват с баритова мазилка, а вратите се облицоват с оловна ламарина или имат по-сложна конструкция.



Материал	Атомно тегло	Плътност [g.cm <sup>-3</sup> ]	Област на приложение
Олово	207	17,3	Универсален материал. За транспортни и технологични контейнери. Защита на измерителни устройства.
Оловна гума		3,3 - 5,8	Защита при рентгеново лъчение.
Оловно стъкло		3,4 - 4,6	Рентгеново лъчение. Горещи камери.
Волфрам	148	17 - 19	Транспортни и технологични контейнери.
Обеднен уран	238	18,9	Контейнери.
Желязо	56	7,5 - 10	Контейнери. Реактори.
Барит		2 - 2,7	Строителни конструкции и мазилки.
Бетон		2,1- 2,4	Строителни конструкции. Реактори.
Тухла		1,4 - 1,9	Строителни конструкции.
Вода		1,0	Реактори.