

Факултет за

ДОЗИМЕТРИЈА ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА

Физичку хемију Београд

• Област радиохемије која за предмет има праћење и мерење апсорпције јонизујућег зрачења се зове **дозиметрија**.

- Основни појам у дозиметрији је доза (грчки δόσις - давање) - мера енергије зрачења апсорбоване у материји
- У употреби су различите величине и јединице

Доза

- Апсорбована доза – D - количина апсорбоване енергије зрачења по јединици масе

$$D = \frac{dE_{aps}}{dm}$$

Јединице:

SI $1\text{J/kg} = 1\text{Gy}$ (Греј)

$1\text{ rad (radiation absorbed dose)} = 10^{-2}\text{ Gy}$

$1\text{ rad} = 100\text{ erg/g}$

$1\text{ erg} = 10^{-7}\text{ J}$

Не зависи од врсте апсорбованог зрачења

- Брзина дозе (јачина дозе) – апсорбована доза (D) по јединици времена

Јединице: Gy/s или rad/s

- Експозициона доза – мерило јонизације коју зрачење произведе у материји
- За γ и x зрачење- моћ јонизације
Јединице: C/kg (SI)
- R (Rentgen) = доза при којој у 1 cm³ сувог ваздуха (н.у.) настане једна cgs јединица количине наелектрисања било ког знака ($2,082 \cdot 10^9$ јонских парова)

$$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3880 \text{ R.}$$

Еквивалентна доза узима у обзир врсту зрачења

$$H = \sum_R w_R D_R \quad (\text{Sv}) - \text{Сиверт}$$

w_R - фактор радијационе тежине

Тип и енергија зрачења	w_R
Фотони (x, g)	1
Сви електрони >5 keV	1
Спори неутрони < 10 keV	5
Брзи неутрони 2-20 MeV	10
Протони > 2MeV	5
α честице $\approx 5\text{MeV}$, брзи јони и фисиони фрагменти	20

- D_R - апсорбована доза усредњена по целом органу
- Сумира се по свим изворима зрачења којима је материја (орган) изложена.

Јединице: SI Sv (Sivert) $1 \text{ Sv} = \text{J/kg}$
rem (***R**oentgen **e**quivalent **m**an*)

- Ефективна доза је сума производа ткивних тежинских фактора и еквивалентне дозе

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Вредности w_T

Ткиво или орган	ICRP-1996	ICRP-2007
Полни органи	0,20	0,08
Црвена коштана срж	0,12	0,12
Дебело црево	0,12	0,12
Плућа	0,12	0,12
Желудац	0,12	0,12
Бешика	0,05	0,04
Јетра	0,05	0,04
Мозак	0,01	0,01
Кожа	0,01	0,01
Штитна жлезда	0,05	0,04

• Дозиметар зрачења- уређај, инструмент или систем којим се мери или процењује:

- Апсорбована доза – D ,
- Еквивалентна доза - H ,
- Брзина дозе,
- Експозициона доза,
- Kerma (kinetic energy released in matter - J/kg , Gy),
- Друге величине које су у вези са јонизујућим зрачењем

Да би се неки систем користио као дозиметар мора имати бар једну физичку/хемијску величину која зависи од дозе зрачења и може да се уз калибрацију користи за њено мерење.

- Рад дозиметара се може заснивати на мерењу различитих величина и процеса, као што су :

- ослобађање топлоте у калориметрима
- број јона формираних у гасу
- хемијске промене у течностима, фотографској емулзији или полимерима
- ексцитацији атома у стаклу или кристалу
- стварању слободних радикала

Прва два типа користе примарни дозиметри, који се користе се за калибрацију осталих

Радијационо-хемијски дозиметри

- Мерење хемијских врста које настају или нестају у неком систему под дејством зрачења

$$G:100=n:E_{\text{aps}}$$

$$E_{\text{aps}}=100n/G$$

$$D= E_{\text{aps}}/m$$

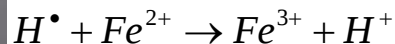
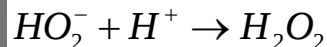
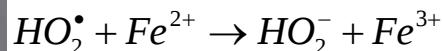
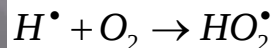
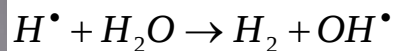
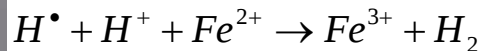
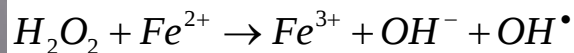
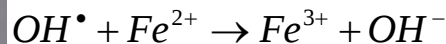
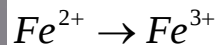
- n - број створених врста
- Неопходно познавање радијационохемијског приноса реакције - G

озрачивање → мерење (n) → израчунавање

Фрикеов (феросульфатни) дозиметар

Водени раствор Морове соли $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ и $0,4 \text{ M}$
 H_2SO_4

- Приликом озрачивања Fe^{2+} се оксидује до Fe^{3+}
- Концентрација Fe^{3+} јона се одређује спектрофотометријски
- Линеран је до дозе од 400 Gy
- На 700 Gy је процес оксидације комплетан (максимална доза која се може одредити)



У присуству O_2

$$G(\text{Fe}^{3+}) = 3G(\text{H}^\bullet) + 2G(\text{H}_2\text{O}_2) + G(\text{OH}^\bullet)$$

- Драганићев дозиметар – Оксална киселина

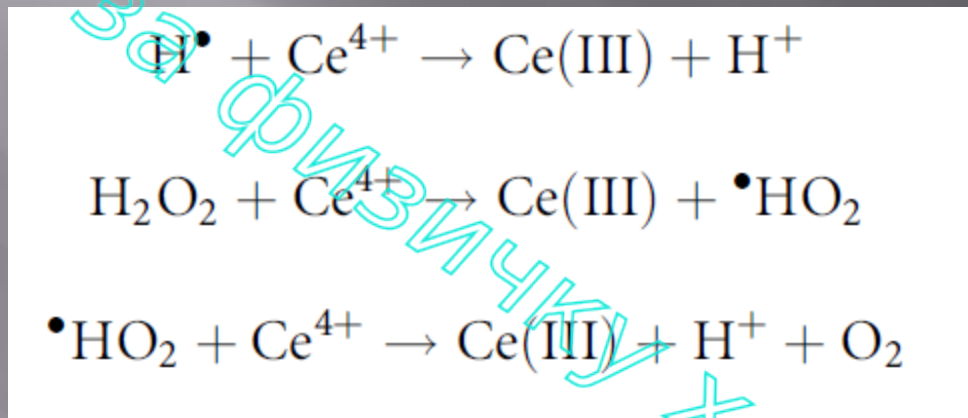


- Оксална киселина се може користити као водени раствор или као чиста киселина у чврстом стању (погодна за мерење екстремно високих доза)

- Церијум сулфатни дозиметар 1-10 М кисели раствор



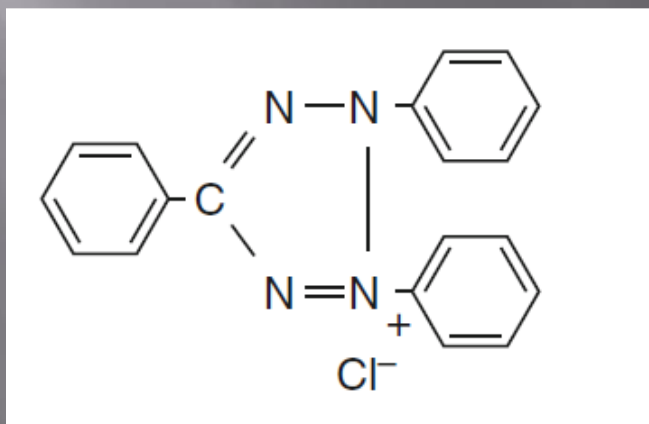
- Под дејством зрачења Ce^{4+} се редукује до Ce^{3+}



- Одређује се спектрофотометријски на таласној дужини $\lambda = 320 \text{ nm}$.
- Принос $G(\text{Ce}^{3+}) = 2,44$.
- Погодан за високе дозе (MGy)

Органски дозиметри

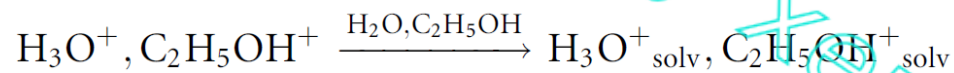
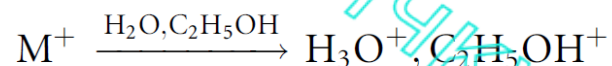
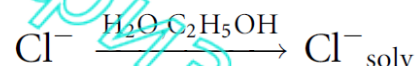
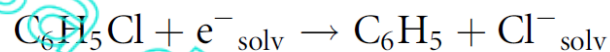
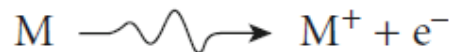
- ▣ Водени раствори тетразолиумових соли који при озрачивању граде јарко црвени талог-формаза
- ▣ Двостепени процес-формирање тетразолиниум радикала који се затим редукује до формазана



Триофенил тетразолиум хлорид

Опсег рада 1-16 kGy

▣ Монохлор бензен –етанол дозиметар



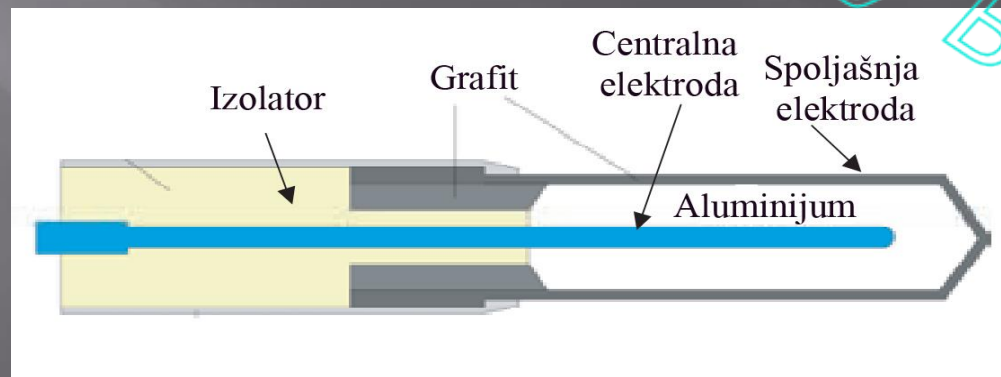
- ▣ У процесу озрачивања настаје HCl чија концентрација се може утврдити титрацијом или потенциометријски
- ▣ Погодан за дозе од 0,4-400 kGy

Раствори радиоохромних боја

- ▣ Леукоцијаниди или леукометоксиди трифенилметанских боја у слабо киселој средини и у присуству поларних органских растварача
- ▣ При озрачивању отпуштају цијанидни радикал при чему остатак једињења добија интензивну плаву боју.
- ▣ Промена се мери спектрофотометријски
- ▣ Опсег доза 10-30000 Gy

Јонизационе коморе

- Цилиндрична
 - Са паралелним плочама
 - Брахитерапијска
-
- Састоје се од шупљине испуњене гасом, која је окружена проводним зидом (спољашња електрода, најчешће од графита) и централне електроде (коллектора).
 - Електрони настали јонизацијом ваздуха се скупљају колектором, а њихова струја се мери електрометром који је повезан са комором.



Чврсти дозиметри

- ▣ Кристали са радијационо индукованим центрима носиоцима боје
- ▣ Изложеност кристала (најчешће LiF) јонизујућем зрачењу у њему индукује дефекте који показују апсорпцију у видљивој области спектра
- ▣ Чврсти системи без додатка боје
 - Транспарентни полимери у којима под дејством зрачења долази до промене у сатурацији полиенских група у полиолефинима и карбонилним групама у бочним ланцима. Промена апсорпције се мери у UV области

Дозиметријски филмови

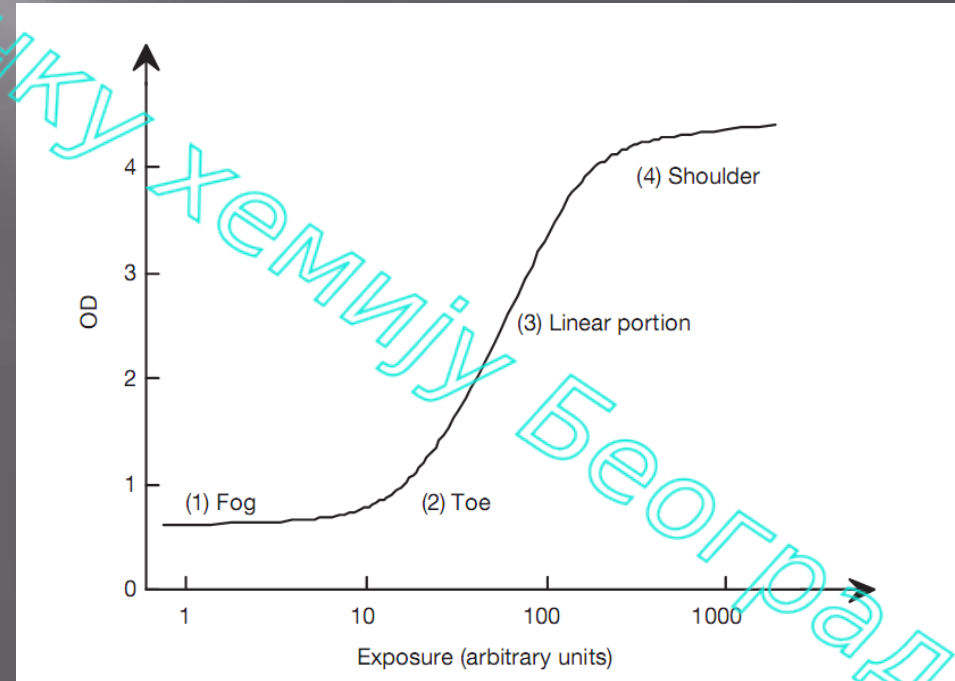
Радисграфски филмови

- Састоје се од пластичног носача који је са једне или обе стране премазан емулзијом осетљивом на зрачење (зрна AgBr суспендована у желатину)

Када се филм озрачи, долази до јонизације AgBr и формирања латенте слике која постаје видљива развијањем и представља зацрњење филма. Светлосна пропустљивост филма зависи од зацрњења тј. од дозе зрачење и мери се као оптичка густина (OD):

$$OD = \log I_0/I$$

Да би се филм користио као дозиметар, мора бити одређен његов дијаграм зависности OD од дозе (сензитометријска крива или H&D крива)

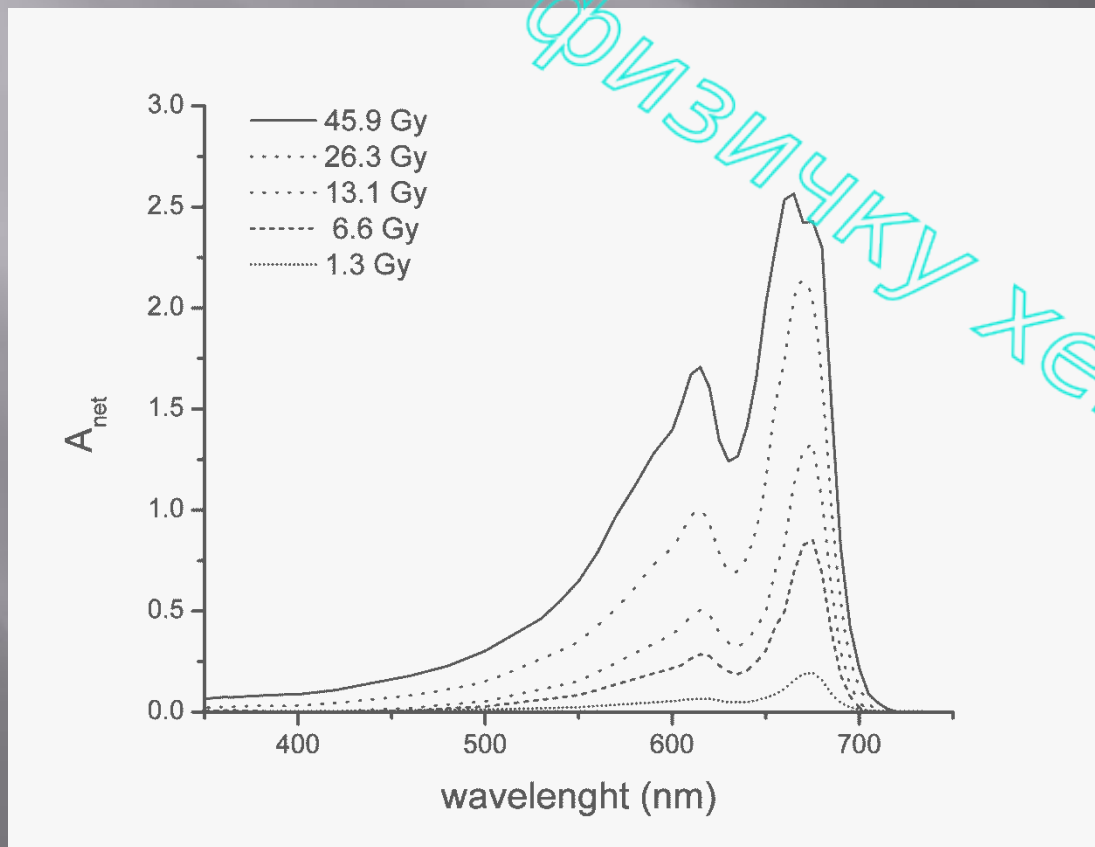


Радиоохромни филмови

- ▣ Филмови базирани на полимерима који садрже леукоцијаниде трифенилметана
- ▣ Поливинил бутирал филм са допираним леукоцианидом параросалинина
- ▣ Поливинил алкохол допиран са различитим тетразолинима

Гафхромик филмови

- Новији тип филм дозиметара који је по густини еквивалентан ткиву: 9.0% водоника, 60.6 % угљеника, 11.2% азота и 19.2% кисеоника
- Приликом зрачења мењају боју у плаво јер се поликристалични супституисани диацетилен који је нанесен на полиестер полимеризује (умрежава) под дејством зрачења и апсорбује светлост у зависности од примењене дозе
- Предности у односу на радиографски филм:
 - није му потребно развијање
 - независан је од брзине дозе
 - боље енергијске карактеристике (осим за x-зрачење $< 25 \text{ keV}$)
 - мања осетљивост на спољашње услове

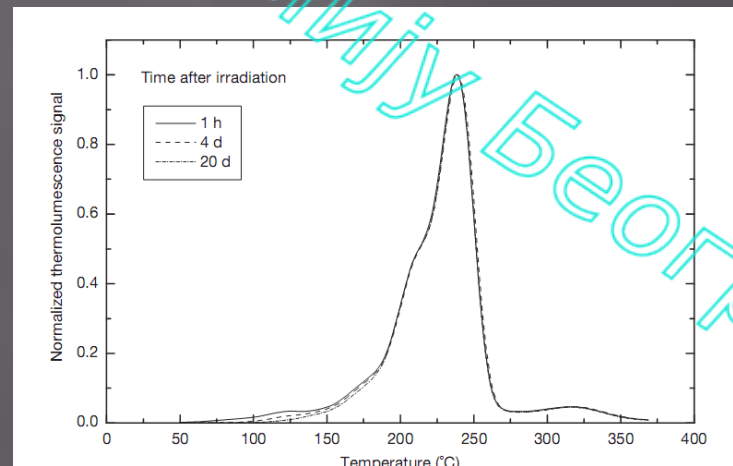


Мерење се врши
спектрофотометријски на
више таласних дужина

Луминесцентни дозиметри

- Термолуминесцентни дозиметри (TLD)
- Најкоришћенији TLD су LiF:Mg,Ti ; LiF:Mg, Cu, P и $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ због сличности са ткивима и $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ и $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ због велике осетљивости
- Доступни су у различитим облицима: као штапићи, прах, траке и дискови
- Неопходно их је одгревати пре употребе да би се уклонио резидуални сигнал

- TLD систем се састоји из металног диска за одгревање TLD-а пре употребе, фотомултипликационе цеви (PMT) за детекцију термолуминисценције и претварање сигнала у пропорционални електрични и електрометра за снимање PMT сигнала као струје или наелектрисања
- Интензитет термолуминисценције је пропорционалан температури TLD-а, а може се пратити и у функцији времена ако је брзина загревања константна.
- Крива ове зависности се зове TLD крива сјаја (луминисцентни термограм). Интегрални интензитет пика се калибрацијом доводи у везу са дозом
- За тачну дозиметрију је потребна добра цикличност система приликом грејања и хлађења
- Специјалана варијанта лиолу-минесцентни дозиметри

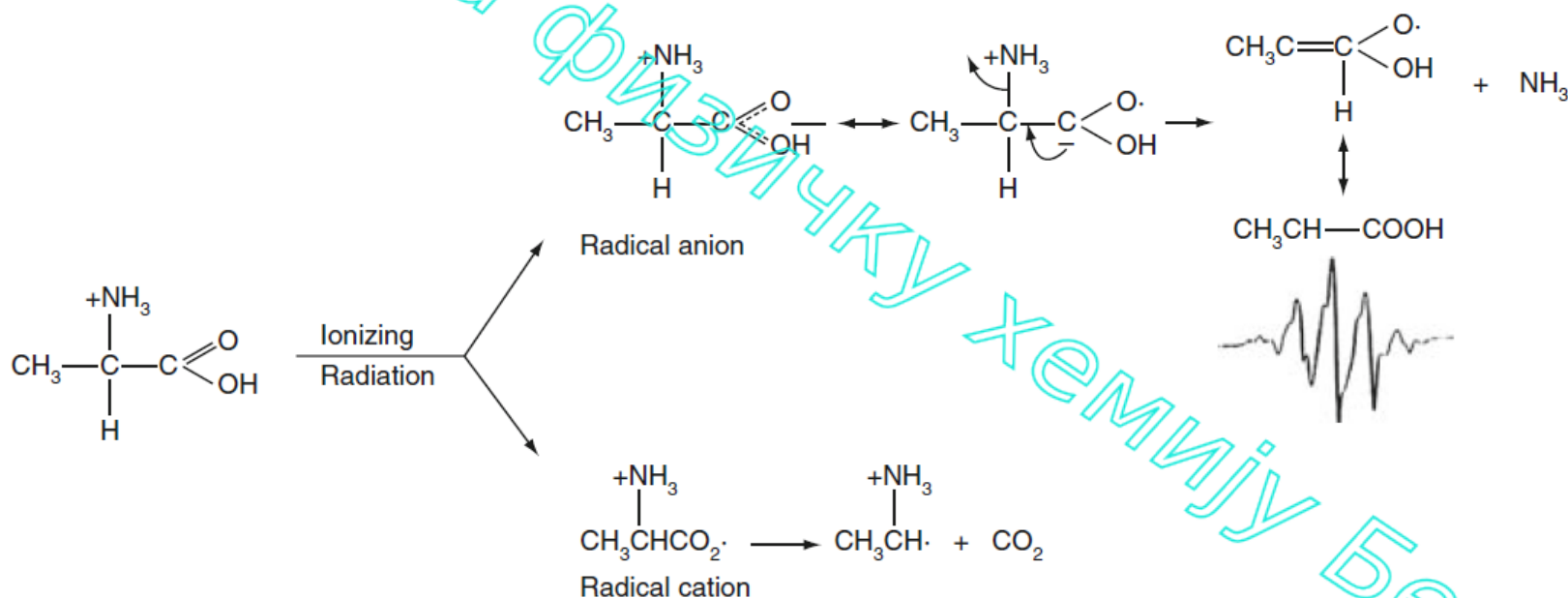


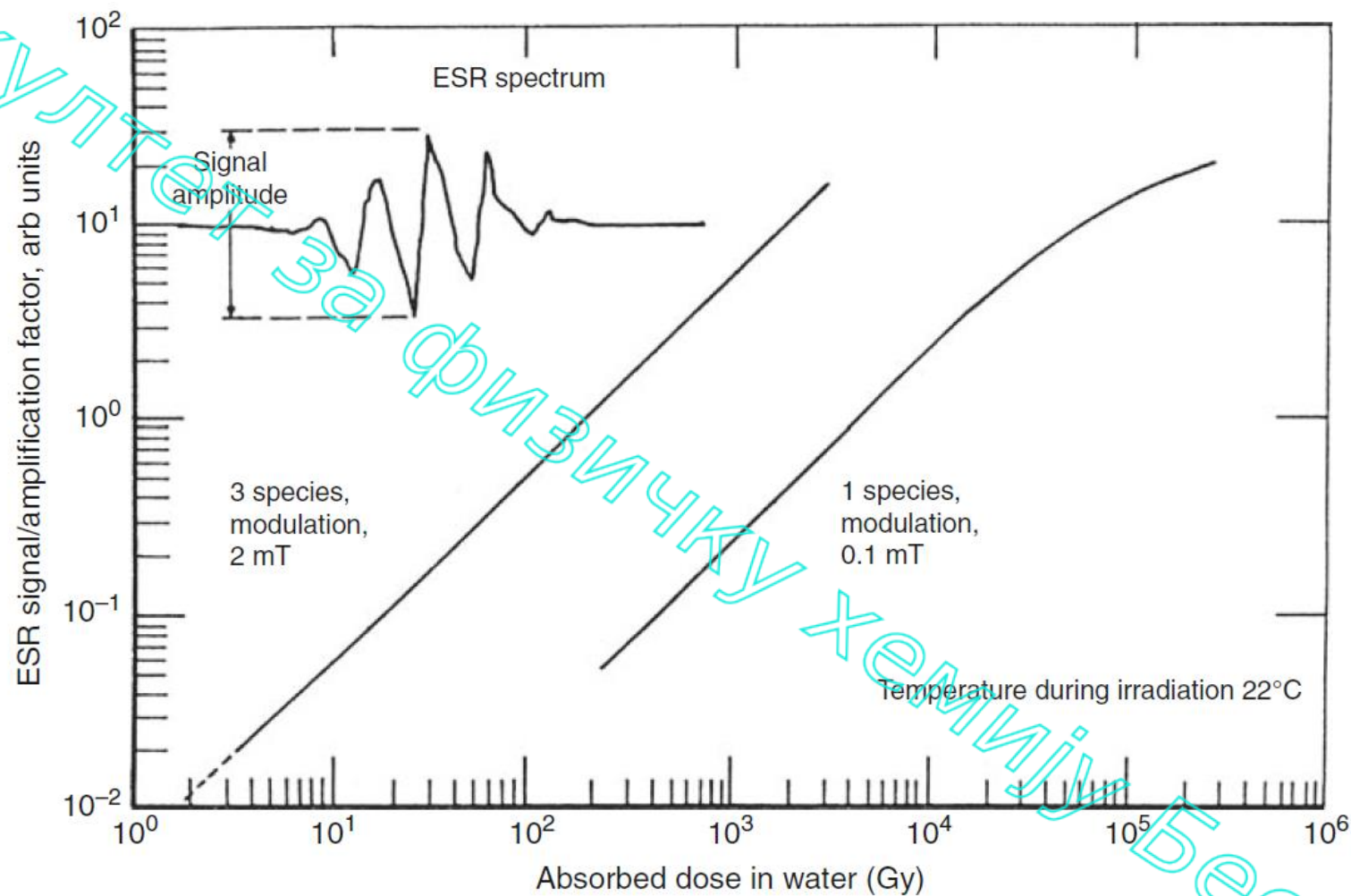
Полупроводнички дозиметри

- Радијација доводи до стварања пара електрон шупљина у дозиметру и кретања наелектрисања
- ка рп споју диоде где долази до кретање струје кроз спој
- Диода се користи као кратко спојена јер је тако струја директно пропорционална дози
- Показују зависност од температуре, брзине дозе, правца и енергије зрачења
- Код MOSFET транзистора праг провођења је линеарно пропорционалан дози

Аланински дозиметар

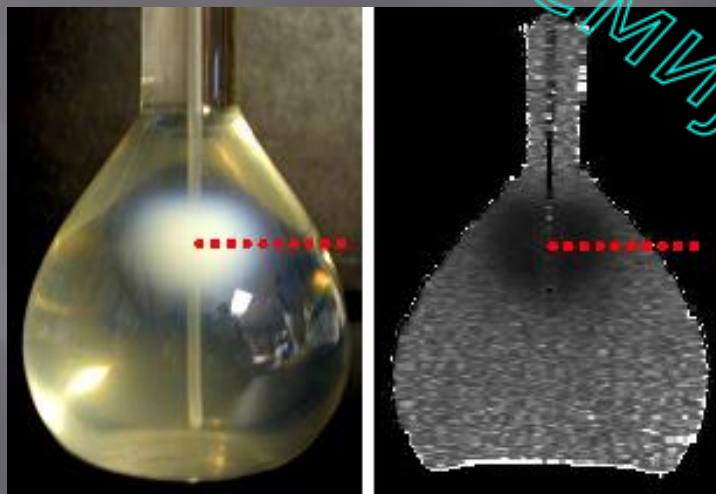
- Јонизујуће зрачење у аланину индукује слободне радикале који се могу детектовати и чија концентрација се може мерити електронском парамагнетном резонанцијом





3D дозиметрија

- ▣ Фриков дозиметар инкорпориран у већ у запремину агара или желатина. Јонизујуће зрачење индукује оксидају гвожђа из фери у фери облик.
- ▣ Фери облик је парамагнетик и његова дистрибуција се може детектовати путем МРИ



Преглед дозиметара

Дозиметар	Предност	Мана
Јонизациона комора	Тачан и прецизан, препоручљив за калибрацију снопа, добро проучене неопходне корекције, читава се одмах	Потребно напајање из мреже, висок напон за напајање и пуно корекција за дозиметрију зрачења високе енергије
Филм	2D просторна резолуција, веома танак, не ремети снап	Непходна мрачна комора за развијање, тешко је контролисати обраду, потребна калибрација, зависност од енергије зрачења
TLD	Малих димензија, доступни у различитим облицима, јефтини	Сигнал се брише приликом читавања, лако се губе подаци, не читава се одмах, захтева пажљиво руковање
Диода	Малих димензија, велике осетљивости, читава се одмах, лако руковање	Потребно напајање из мреже, зависност од температуре, промена у осетљивости приликом акумулирања дозе, захтева пажљиво руковање