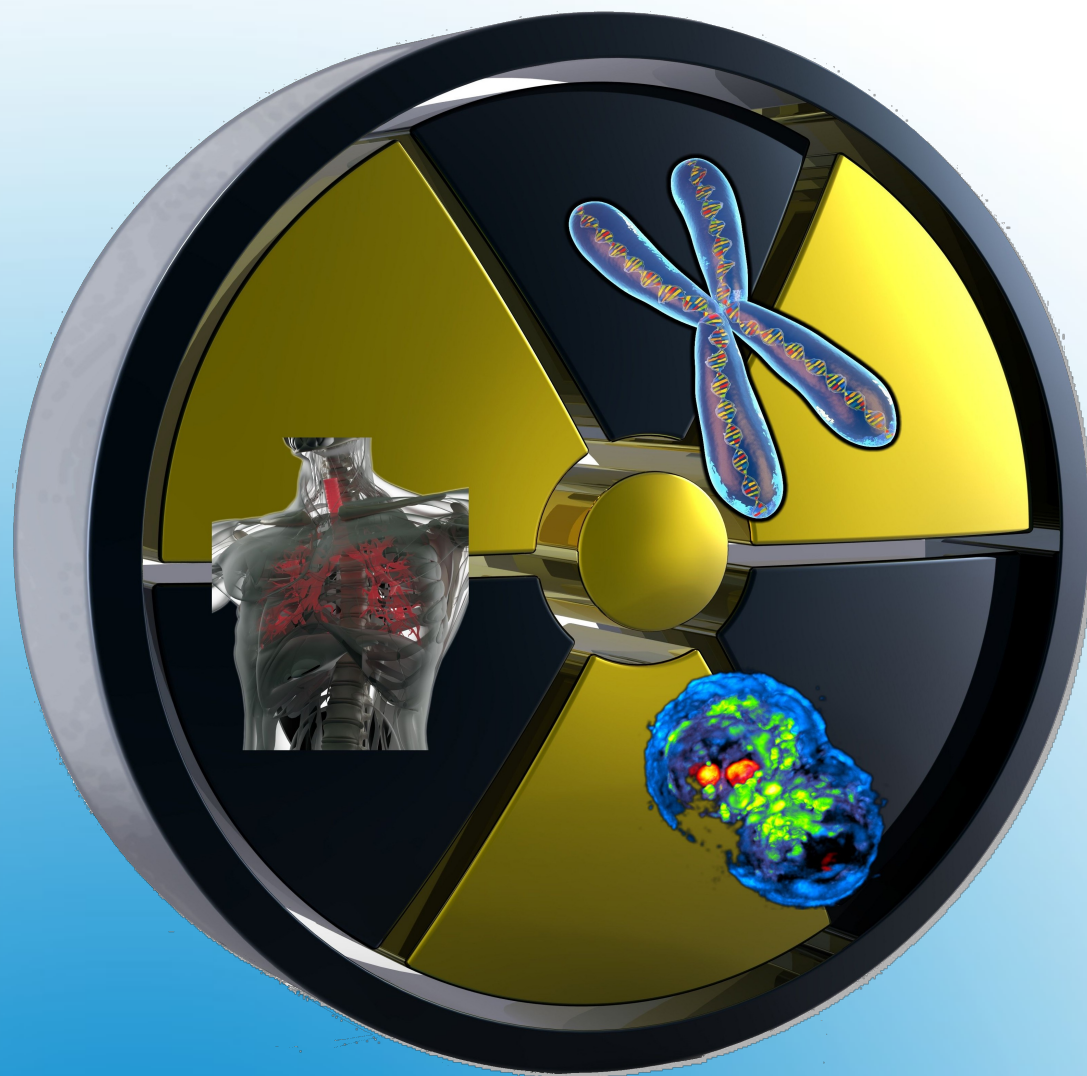




Увод у радијациону хемију

Историјски преглед

- Рентген – дејство X-зрачења на фотографску плочу слично дејству светлости
- Бекрел запазио исто и за зрачење из уранијума
- Радиоактивно зрачење утиче на промену боје стакла и кристалних супстанција (Киријеви, Гизел)
- Издвајање водоника и кисеоника из раствора радијумових соли.

Термин “Радијациона хемија” 1942. Бартон.

- Браг 1907. : Број молекула воде који се разложи под дејством зрачења је приближно једнак броју јона које оно створи у ваздуху
- Кулиџ 1925. : Високоенергетски катодно зраци изазивају сличне хемијске ефекте као и радиоактивно зрачење.
- Фрике 1934. Хемијски ефекти проласка X-зрачења кроз растворе
- 1930` Јонизуће зрачење изазива полимеризацију мономера и мења својства полимера

*Радијациона хемија је наука која проучава хемијске ефекте настале апсорпцијом јонизујућег зрачења у материји.
Линд 1961.*

- WW2. Пројекат Менхетн: испитивања везана за радијациону хемију воде и биолошке ефекте јонизујућег зрачења.
- Квантификација ефеката интеракције јонизујућег зрачења са материјом
 - Линд: M/N однос – квантитативна мера дејства јонизујућег зрачења (M - број трансформисаних молекула, N – број створених јонских парова)
 - Бартон (1942) – појам радијационог приноса (G) који не зависи од механизма настанка/нестанка молекулске врсте

Радијациони принос G – број хемијских врста створених или разложених на 100 eV апсорбованог јонизујућег зрачења

- Теорије настанка радијационо-хемијских ефеката
 - Десауер (1923) – ефекат локалног загревања
 - Леа (1947) – модел базиран на Бетеовој теорији зауставне моћи уз посматрање насталих електрона као “слободних” врста.
 - Унапређени Леа-Греј-Плацман модел
 - Мегии – солватисани електрон “заробљен” од стране хемијске врсте доводи до њене дисоцијације и формирања слободних радикала



Повезаност са другим областима



Енергија коју предају радиоактивне честице уносе у систем енергију која се не може унети на други начин (нпр. хемијском активацијом)

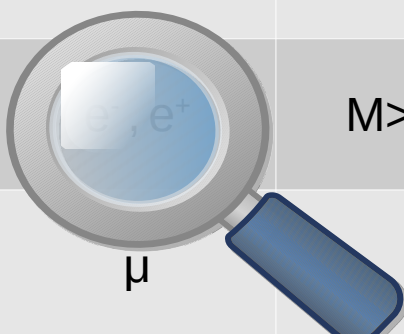
Величине које карактеришу пролаз зрачења кроз материју

- Зауоставна моћ $-dE/dx$ (eV/cm)
-
- LET (линеарни трансфер енергије) dE/dx (eV/cm)
-
- KERMA
-
- Релативна зауоставна моћ
-
- Домет

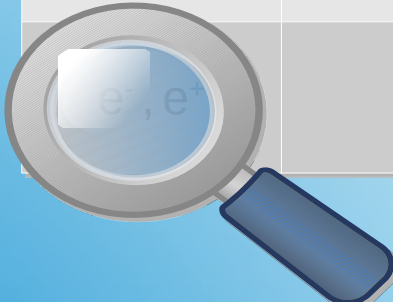
$$S_r = \frac{(dE/dx)_m}{(dE/dx)_{st}}$$

Интеракција зрачења са материјом

“Лаке”	“Тешке”
γ	p
X	α
e^-, e^+	$M > \alpha$
μ	



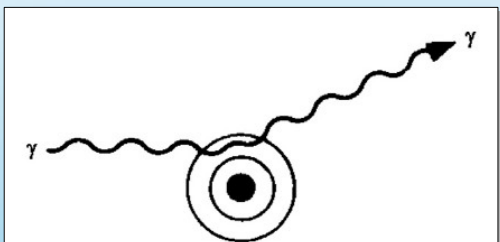
Ниског LET	Средњег LET	Високог LET
γ	p	α
X	μ	$M > \alpha$
e^-, e^+	d	$\Phi\Phi$



Главни предмет разматрања радијационе хемије су ефекти које производе електрони

Інтеракції електромагнетног зрачења и тешких наелектрисаних честица са материјом

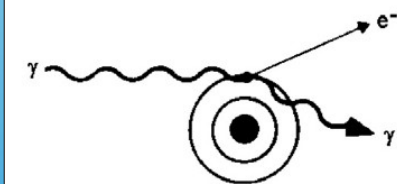
Рејлијево
ресејање



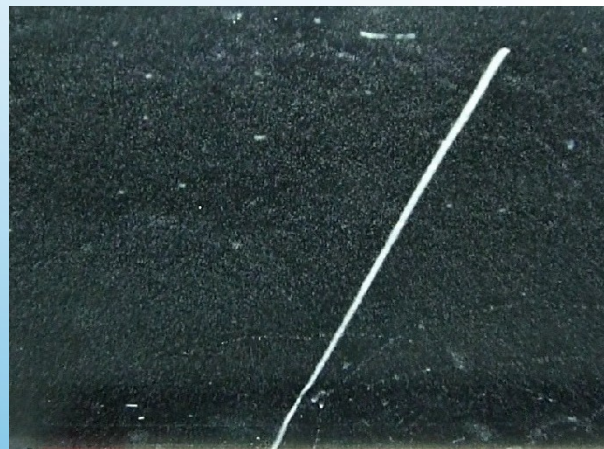
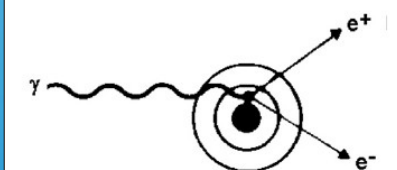
Фотоефекат



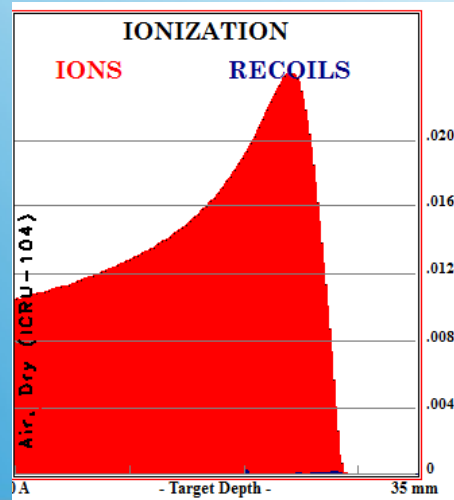
Комптонов
ефекат



Стварање
парова



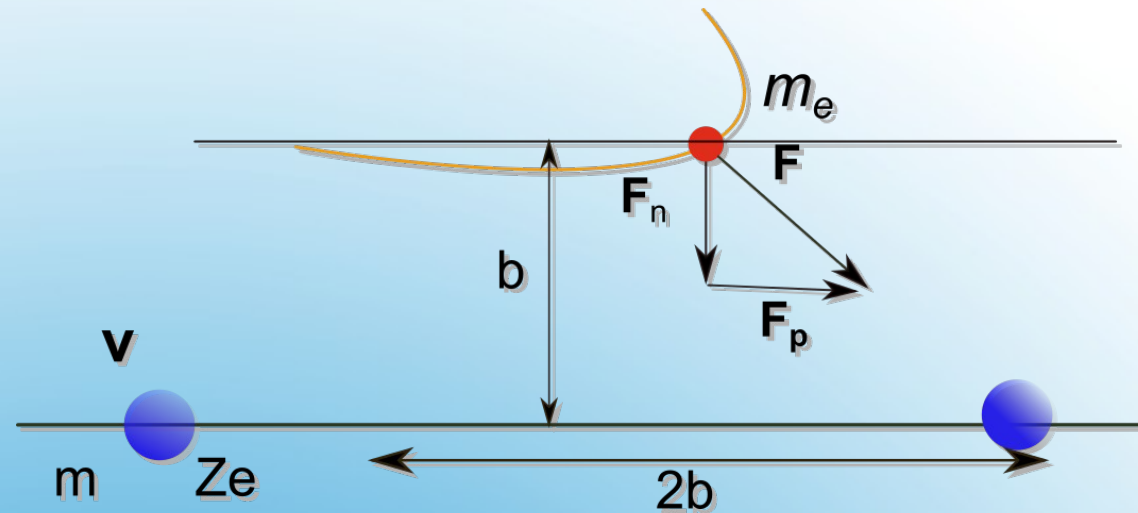
Траг алфа-
честице у
Вилсоновој
комори



Специфична
јонизација алфа
честице у
ваздуху

γ , X губитак енергије у малом броју корака
 ρ , α , HP у великом броју интеракција

Интеракција електрона са материјом



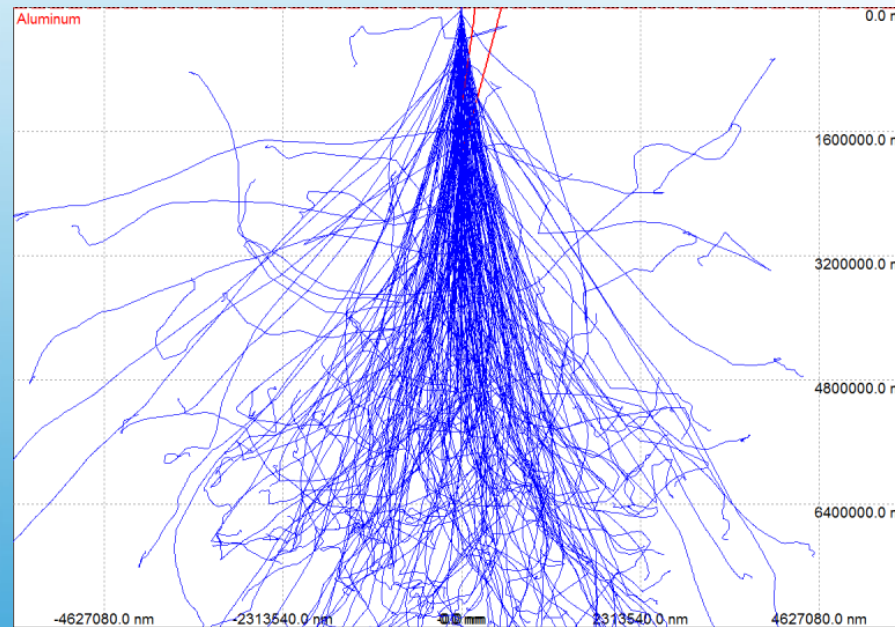
Борова формула за зауставну моћ

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Bohr} = \frac{4\pi Z^2 n_e e^4}{mv^2} \int_{b_{min}}^{b_{max}} \frac{db}{b} = \frac{4\pi Z^2 n_e e^4}{mv^2} \ln \frac{\gamma^2 m_e v^3 f(Z)}{qe^2}$$

Блохова формула

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{B-B} = \frac{4\pi n Z^2 e^4}{m_e v^2} Z_A \left[\ln \frac{m_e v^2}{E_j} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

- Електрони губе енергију у великом броју судара али због ефикасног преноса енергије на орбиталне електроне често мењају првац кретања



- + губитак енергије на заочно и Черенковљево зрачење
- Удео $3Z$ у губитку расте са енергијом електрона и Z материјала кроз који пролазе

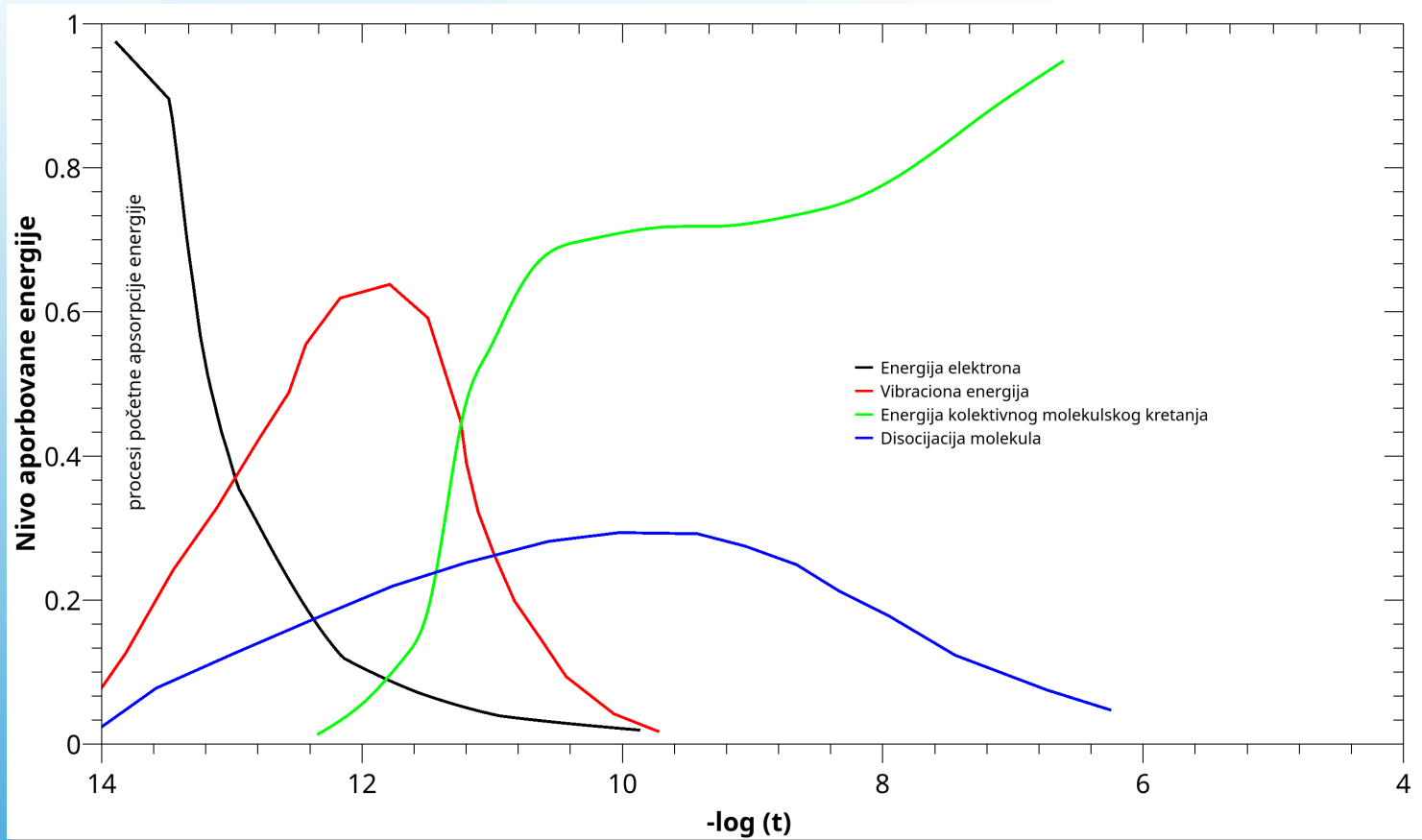
Зауставна моћ у сложеном материјалу једнака је суми производа удела компоненти и парцијалних зауставних моћи

Временска скала догађаја у радијационој хемији

Време (s)	Процес(и)	Ступањ	
10^{-18}	Брзи електрон пролази у близини молекула		
10^{-17}	Брзи (1 MeV) протон пролази у близини молекула Губитак енергије на производњу секундарних електрона		
10^{-16}	Губитак енергије услед деекситације електронских стања		
10^{-14}	Брзе јон-молекулске интеракције (Трансфер атома водоника). Деекситација вибрација		
10^{-13}	Формирање хидратисаног електрона. Лонгитудинална диелектрична релаксација. Брза дисоцијација.		
10^{-12}	Термализација електрона у неполарним медијумима. Формирање “мамузе” (spur). Просечно време самодифузије у једноставним течностима		
10^{-11}	Губици због трансверзалне диелектричне релаксације		
10^{-9}	Наставак реакција у “мамузама”		
10^{-8}	Неутрализација наелектрисања у нисковискозним медијумима. Секундарне реакције		
10^{-6}	Време бега електрона из нисковискозних медијума		
1	Време живота триплета		
1000	Време неутрализације у медијумима велике вискозности		

	ф. стад.
	Фх. стад.
	х. стад.

+ бх. стад.
+ биол. стад.



Доза

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

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 cm^3 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

(Sv) - Сиверт

w_R -фактор радијационе тежине

Тип и енергија зрачења	w_R
Фотони (α , γ)	1
Сви електрони >5 keV	1
Спори неутрони < 10 keV	5
Брзи неутрони 2-20 MeV	10
Протони > 2 MeV	5
α честице ≈ 5 MeV, брзи јони и фисиони фрагменти	20

D_R -апсорбована доза усредњена по целом објекту

- Сумира се по свим изворима зрачења којима је материја изложена.

Јединице: SI Sv (Sivert) $1 \text{ Sv} = \text{J/kg}$
rem (*Roentgen equivalent man*)

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

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