



РАДИЈАЦИОНА ХЕМИЈА И ФИЗИКА

ПРОГРАМ ПРЕДМЕТА

Редни број	Назив предавања
1	Увод у радијациону хемију. Историјски развој области. Радијациона физика.
2	Извори ј.з. и и инструментација у радијационој хемији и физици
3	Радијациона хемија воде и водених раствора
4	Радијациона хемија органских раствора и реакција у органској фази
5	Радијациона хемија и физика материјала: полимери.
6	Радијациона хемија и физика полупроводника и проводника
7	Радијациона физика модификације материјала.
8	Радијациона хемија и физика реактора
9	Радијациона хемија у преради нуклеарног отпада
10	Радијациона хемија животне средине
11	Радијациона хемија биолошких система

<http://ffh.bg.ac.rs/predmeti/radijaciona-hemija-i-fizika>

<http://radiohemija.ffh.bg.ac.rs/rhf>

ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ РАДИЈАЦИОНЕ ХЕМИЈЕ

- **1895.** *Рентген* – дејство X-зрачења на фотографску плочу слично дејству светлости
- **1896.** *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.
- **1942.** Термин “Радијациона хемија” *Бартон*.
- **1907.** Број молекула воде који се разложи под дејством зрачења је приближно једнак броју јона које оно створи у ваздуху. *В. Х. Браг*

ИСТОРИЈАТ...

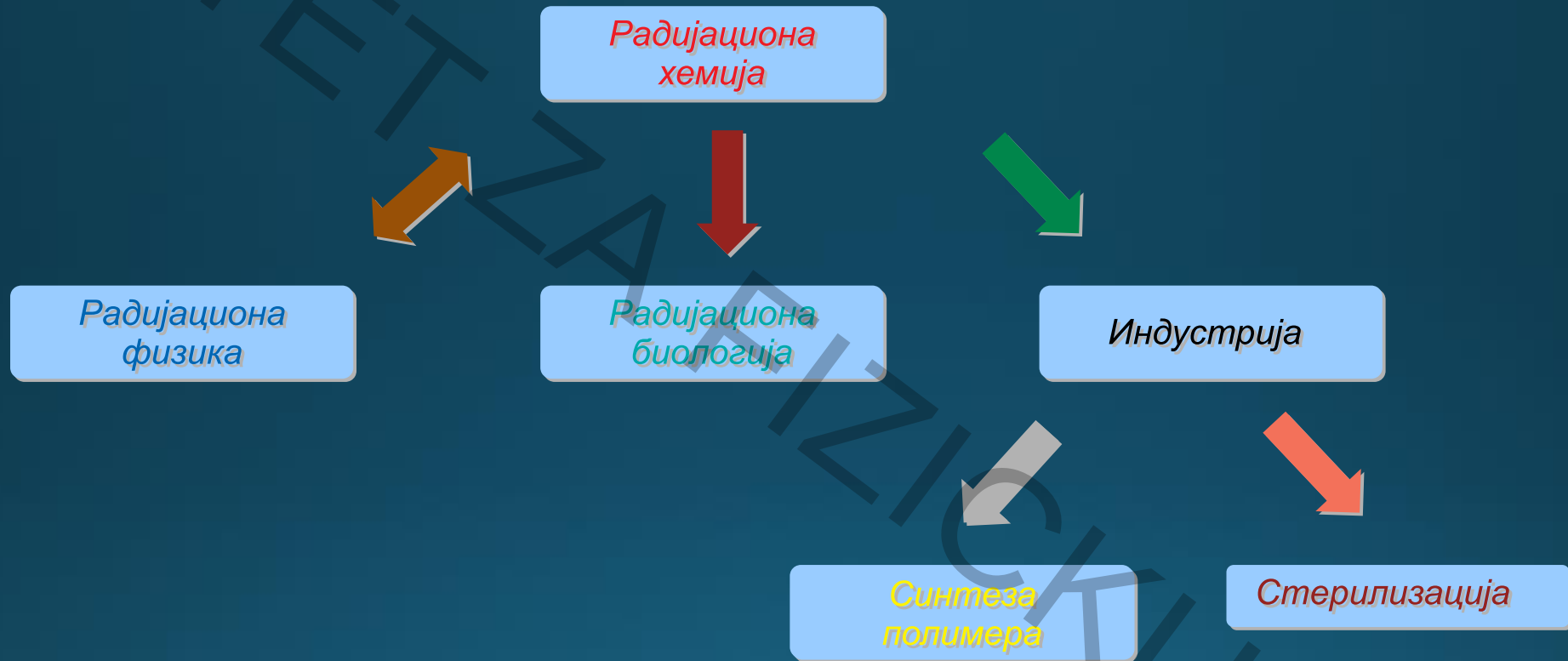
- **1925.** Високоенергетски катодно зраци изазивају сличне хемијске ефекте као и радиоактивно зрачење. *Кулиџ*
- **1934.** Хемијски ефекти проласка X-зрачења кроз растворе. *Фрике*
- **Касне 1930'** Јонизуће зрачење изазива полимеризацију мономера и мења својства полимера.
- *M/N* однос – квантитативна мера дејства јонизујућег зрачења (*M*- број трансформисаних молекула, *N* – број створених јонских парова) *Линд*.
- **1942.** појам радијационог приноса (*G*) који не зависи од механизма настанка/нестанка молекулске врсте. *Бартон*

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

ИСТОРИЈАТ...

- **1940-1945.** Пројекат Менхетн- испитивања везана за радијациону хемију воде и биолошке ефекте јонизујућег зрачења.
- **1950'.** Флеш фотолиза.
- **1960'-1970'-1990'.** Пулсна радиолиза ($\sim 1 \text{ us} - 1 \text{ ps}$)
- **1960.** Комплетиран механизам радиолизе воде.
- Теорије настанка радијационо-хемијских ефеката
 - **1923.** *Десауер* – ефекат локалног загревања.
 - **1947.** *Леа* – модел базиран на Бетеовој теорији зауставне моћи уз посматрање насталих електрона као “слободних” врста.
 - Унапређени *Леа-Греј-Плацман* модел
 - *Меги* – солватисани електрон “заробљен” од стране хемијске врсте доводи до њене дисоцијације и формирања слободних радикала

ВЕЗЕ ИЗМЕЂУ РАДИЈАЦИОНЕ ХЕМИЈЕ И ОСТАЛИХ ОБЛАСТИ НАУКЕ И ИНДУСТРИЈЕ



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)

$$dE/dx \text{ (eV/cm)}$$

- KERMA (*kinetic energy released in matter*)

- Релативна зауоставна моћ

$$S_r = \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_x}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_s}$$

- Домет зрачења

ИНТЕРАКЦИЈА ЗРАЧЕЊА СА МАТЕРИЈОМ

ЛАКЕ ЧЕСТИЦЕ	ТЕШКЕ ЧЕСТИЦЕ
γ	p
X	α
e^+, e^-	$M > \alpha$
μ	

Низак LET	Средњи LET	Висок LET
γ	p	α
X	μ	$M > \alpha$
e^+, e^-	d	ff

Главни предмет разматрања радијационе хемије су ефекти које производе електрони

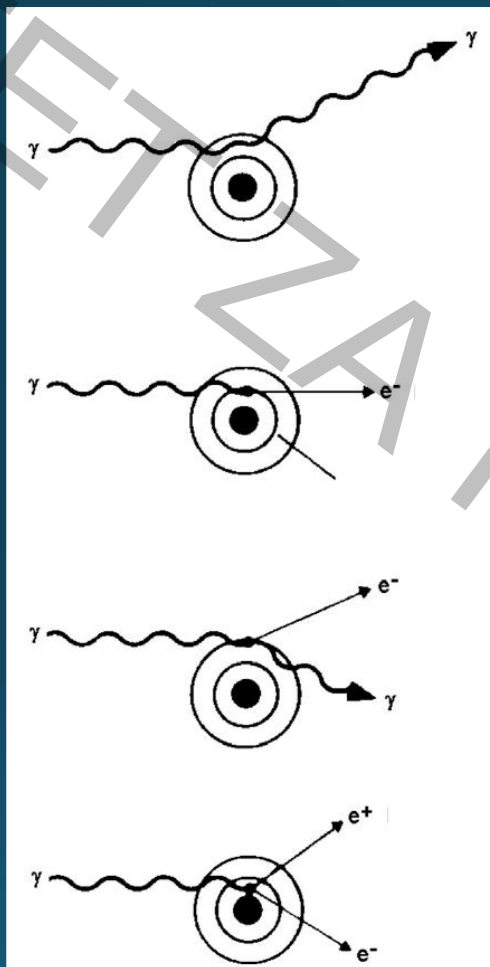
Интеракције електромагнетног зрачења и тешких наелектрисаних честица са материјом

Рејлијево
ресејање

Фотоефекат

Комптонов
ефекат

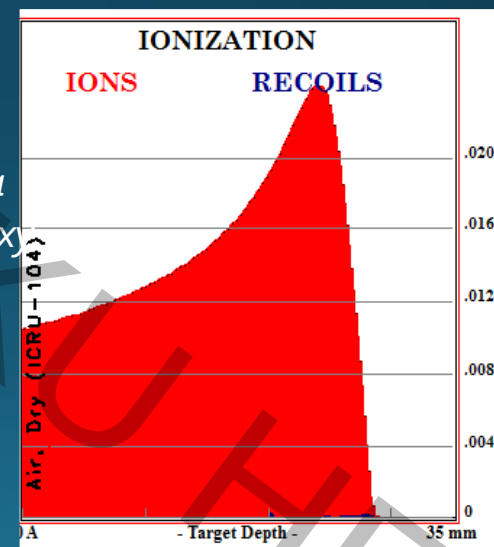
Стварање
парова



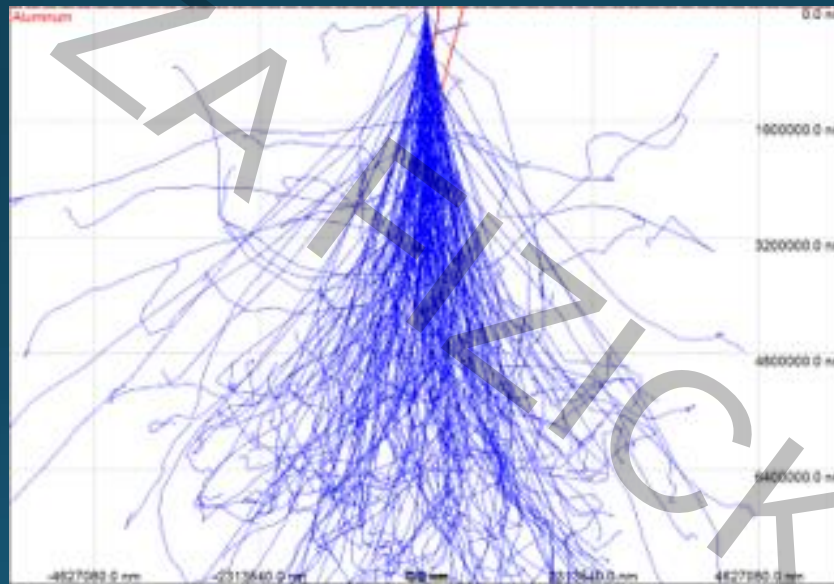
Траг алфа-честице
у Вилсоновој комори



Специфична јонизација
алфа честице у ваздуху



- γ , X губитак енергије у малом броју корака
- p , α , тешке наелектрисане честице у великом броју интеракција
- Електрони губе енергију у великом броју судара и због ефикасног преноса енергије на орбиталне електроне често мењају правац кретања.



- + енергија се губи у емисији заочног и Черенковљевог зрачења. Удео првог расте са поратом енергије електрона и редног броја материјала кроз који електрони пролазе.

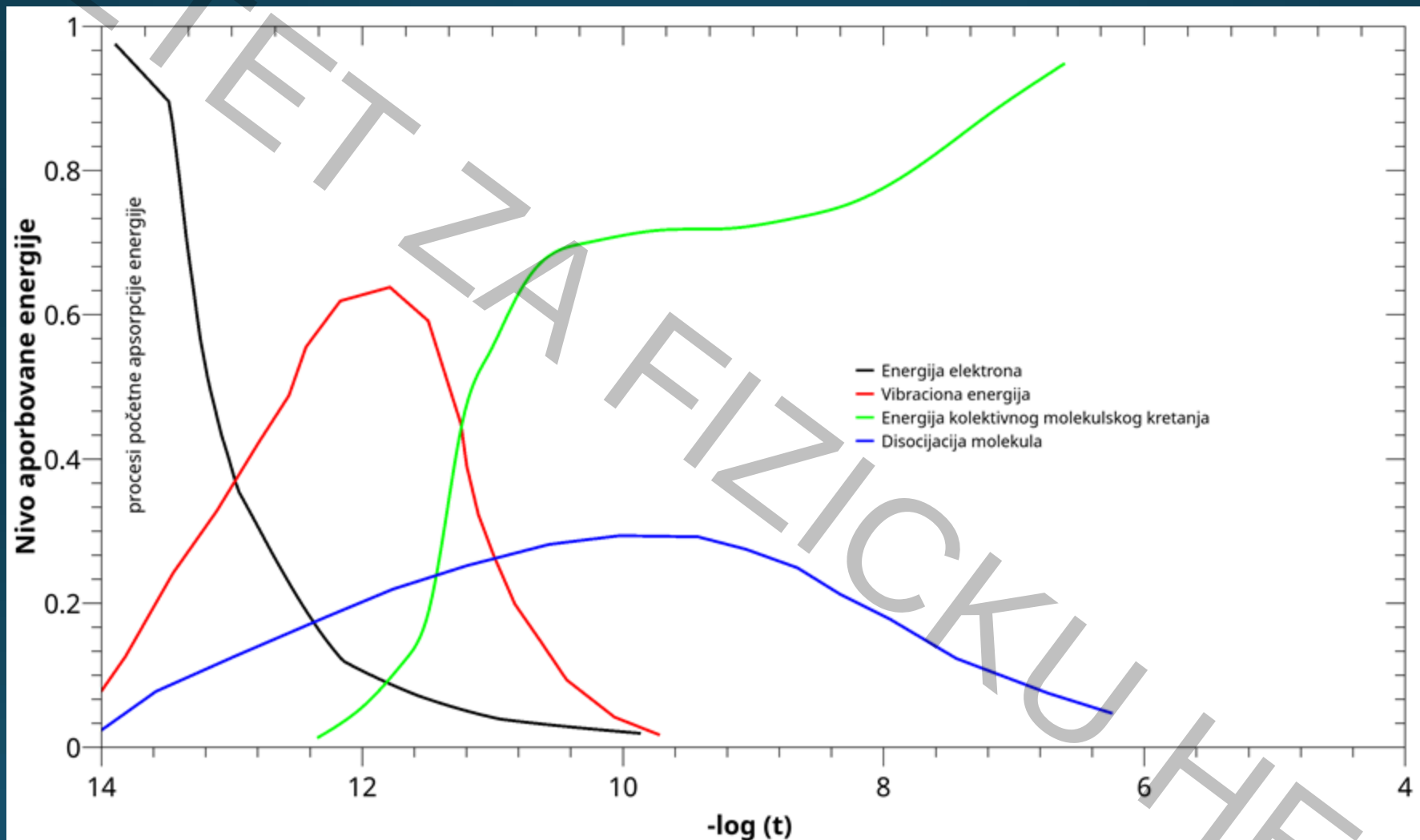
Временска скала догађаја у радијационој хемији

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

14.12.2025.

МАС-Радијациона хемија и физика

Временска скала апсорпција енергије ј.з.



Дозиметрија

- **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)

Остале величине у дозиметрији

- **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 квалитет зрачења. Јединица је J/kg (посебна јединица Сиверт) = Sv

$$H = \sum_R w_R D_R$$

- w_R -фактор радијационе тежине
- D_R – апсорбована доза по целом објекту.

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 > 2 MeV	5
α честице ≈ 5 MeV, брзи јони и фисиони фрагменти	20

За ефекте у биолошким системима...

- Ефективна доза (Sv) узима у обзир различиту осетљивост ткива у људском организму на зрачење преко увођења фактора биолошке ефикасности w_B

$$H_B = \sum_R w_B H_R$$

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

Уређаји за мерење дозе-дозиметри

- 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:
 - ослобађање топлоте у калориметрима
 - број јона формираних у гасу
 - хемијске промене у течностима, фотографској емулзији или полимерима
 - екситацији атома у стаклу или кристалу
 - стварању слободних радикала
- Примарни дозиметар –калориметар
- Секундарни: јонизационе коморе, Фрикеов дозиметар.

Радијационо хемијски принос

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

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

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

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

- n - број створених врста
- G – радијационо хемијски принос