



# Радиохемија и радиографија

основни принципи и  
примена у форензици

Милош Мојовић, в.проф.

# 1. Radiografija i njena primena u forenzičkim ispitivanjima (1) (4) (9) (10) (25) (26) (27)

- Osnove radiografije (25) (26) (27)  
Fizika X-zračenja  
Interakcija X-zračenja sa materijom  
Princip dobijanja radiografske slike
- Kompjuterska tomografija (CT) (9) (25) (26)  
Princip dobijanja slike CT metodom
- Forenzička radiografija (9) (13)  
Primena radiografskih metoda u forenzičkim ispitivanjima
- Mikroradiografija (9)
- Princip radiografskog poređenja (9) (13)
- Radiografski dokazi zlostavljanja dece (10)  
<http://www.radiologyassistant.nl/en/43c63c41ef792>

## 2. Radiohemijske metode i njihova primena u forenzičkim ispitivanjima

- **Radioaktivnost i radioaktivno zračenje (23)**

  - Radioaktivni raspad (23)

  - Tipovi radioaktivnog zračenja (23)

  - Metode i uređaji za detekciju radioaktivnog zračenja (23)

- **Radioaktivna vizualizacija (1)**

  - Scintigrafija

- **Princip radioaktivnog obeležavanja**

  - Radioaktivno obeležavanje u otkrivanju procesa formiranja i porekla lipida (1).

- **Autoradiografija - princip i primena (5) (11) (12) (13) (14) (16)**

  - Upotreba radioaktivnog  $^{35}\text{S}$  u autoradiografiji (1) (8)

- **Mehanizam mapiranja korišćenjem stabilnih izotopa**

  - Primer metamfetamina (2)

- **Analitička toksikologija**

  - Imunoeseji (radioimunološka analiza RIA). (2)

  - Reakcije kompeticije atitelo-antigen. (3) (6) (10) (24)

  - Identifikacija životinjske vrste iz krvi i fragmenata kostiju pRIA metodom (21)

- **Radioaktivno datiranje**

  - Datiranje metodom  $^{14}\text{C}$ , izotopska analiza i primena (7) (15)

  - Datiranje post mortem intervala metodom  $^{90}\text{Sr}$  (18)

  - Procena post mortem intervala metodom  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  i  $^{137}\text{Cs}$  (20) (22)

- **Neutronska aktivaciona analiza (11)**

  - Primena NAA za detekciju FDR (16)

# Радиоактивна визуализација (сцинтиграфија)

- Радиоактивно зрачење се веома успешно може користити у дијагностичкој медицини (нуклеарна медицина).
- Наиме, радиоизотопи се могу интерно узети а емитовано радиоактивно зрачење се може детектовати помоћу детектора као што је нпр. гама-камера.
- Као резултат се добија дводимензиона слика која представља расподелу радиоактивности која се налази у телу.
- Помоћу мерења радиоактивности се може добити и тродимензиона слика и та техника се зове ПЕТ (позитронска емисиона томографија). У овој техници се у тело убризга радиофармацеутик који има особину да у току свог радиоактивног распада даје позитронску емисију. Ти позитрони се у телу сусрећу са електронима и приликом тога долази до ослобађања фотона.



Гама камера

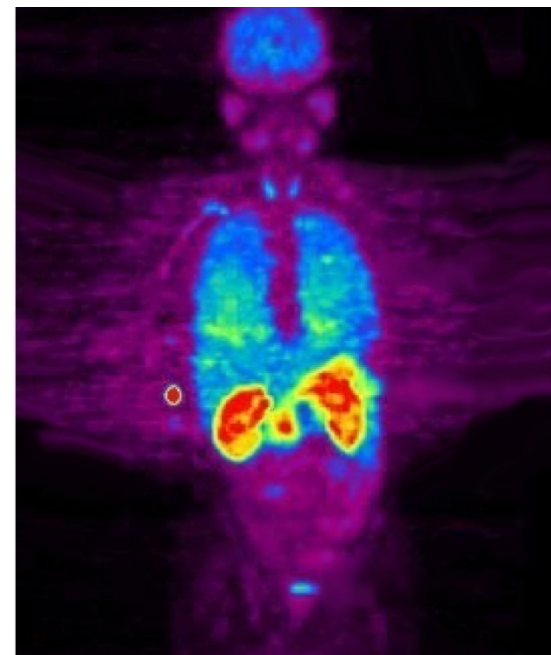


ПЕТ скенер



# Принцип радиоактивног обележавања

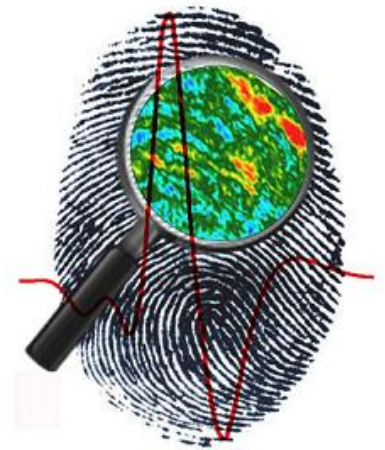
- Овај принцип се заснива на употреби радиоактивног трејсера (обележивача) који представља супстанцију која садржи један или више радиоактивних изотопа који се лако и ефикасно могу детектовати.
- Радиоактивни обележивач има исти хемијски састав као и метаболичка супстанција коју желимо да испитамо и уноси се у систем у минималним количинама.
- Трејсер (обележени молекул) се понаша идентично као и необележени али он константно емитује зрачење које се може детектовати ГМ, сцинтилационим бројачем или неким другим детектором.
- На овај начин можемо испитивати различите метаболичке процесе у биљкама и животињама.
- Велики број радиоактивних изотопа се користе као трејсери:  $^3\text{H}$  (бета распад),  $^{32}\text{P}$  (бета распад),  $^{33}\text{P}$  (бета распад),  $^{11}\text{C}$  (позитронска емисија),  $^{14}\text{C}$  (бета распад),  $^{35}\text{S}$  (бета распад),  $^{123}\text{I}$  (електронски захват, гама зрачење),  $^{125}\text{I}$  (електронски захват, гама зрачење) ...
- Посебан вид експеримената заснивају се на конкурентном везивању обележених и необележених молекула за циљно једињење.



ПЕТ слика

# Радиоактивно обележавање у откривању процеса формирања и порекла липида

- Отисак прста представља комплексну мешавину великог броја различитих хемијских супстанција различитог порекла.
- У форензичким испитивањима отисака прстију велика пажња се посвећује пореклу липида који се могу детектовати.
- Један од начина на који се могу проучавати липиди (њихово порекло и процес формирања) чини радиоактивно обележавање.
- Ауторадиограми из једне студије показали су да је порекло радиоактивности (инкубираног узорка поткожне масти из биопсије коже мерењем  $^{14}\text{C}$  изотопа) пронађена у тоталном липидном екстракту, ограничена на сквален, воштане естре, триглицериде и фосфолипиде.
- Овим истраживањем је показано да холестерол и масне киселине нису показале значајнију радиоактивност.
- Ово нам даје знак да ли су ова једињења епидермалног порекла или су продукти лојних жлезда.
- Такође, познавање хемијског састава супстанција у отиску прста може нам знатно помоћи у одабиру адекватних реагенаса у циљу визуелизације отиска.

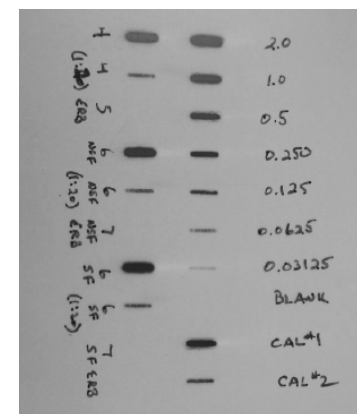


# Ауторадиографија

- Ауторадиографија (ауторадиограф) представља фотографију на филму или плочи која је добијена као резултат деловања радиоактивности или хемилуминесценције у процесу анализе фрагмената ДНК.
- Узорак ДНК се прво обележи радиоактивним изотопом (као што је нпр.  $^{32}\text{P}$ ) а затим се изложи филму осетљивом на радиоактивно зрачење.
- Хибридизација комплементарних фрагмената се може тада детектовати увидом у мрљу (слику) која се добија на филму.
- Радиоактивни сигнал на ауторадиограму (ауторад) се најчешће добија тако што се фрагмент људске (или бактеријске) ДНК комбинује са ДНК радиообележене пробе.
- За потврду ДНК узорка често се користе радиограми мултилокусних проба. Провера генетских варијација на више места увек даје поузданије резултате али и знатно компликованије ауторадиограме (ДНК отисак прста).
- Локус је специфична локација гена тј. ДНК секвенце на хромозому.



Касета за развијање ауторадиограма



Ауторадиограм

# Употреба $^{35}\text{S}$ у ауторадиографији

- У ауторадиографији бета-емитер  $^{35}\text{S}$  се успешно може искористити за детекцију отисака прстију (који садрже сумпор), као и за детекцију слабо видљивих отисака на порозним материјалима (документима, новчаницама) који су добијени стандардним поступком користећи развијаче на бази сребра.
- У првом случају користи се гас сумпор-диоксид који је обележен са радиоактивном сумпором ( $^{35}\text{SO}_2$ ). Отисци прстију се излажу овом гасу приликом чега се врши обележавање сумпора из узорка те он постаје радиоактиван. Као такав, он нам може дати јасну радиографску слику отиска.

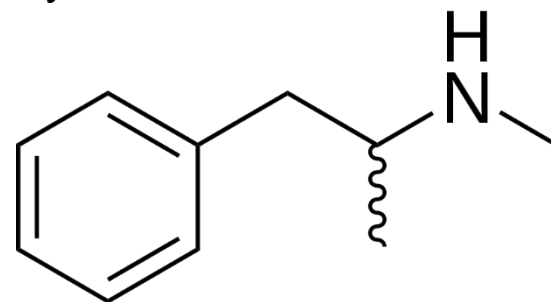


- У другом случају, стандардно добијени отисак на коме се налазе трагови сребра (које се налази у Ag-типу развијача) може се лакше протумачити уколико за то сребро вежемо  $^{32}\text{S}$ . Приликом овог поступка сребро се конверује у  $\text{Ag}_2^{35}\text{S}$ , који је радиоактиван па нам такође може нам дати јасну радиографску слику.
- Проблем код ове методе је уколико позадина папирног документа на коме се налази отисак такође садржи честице сребра (нпр. у мастилу које се користи за штампање докумената или новчаница) јер ће и оно бити конвертовано у радиоактивни медијум и учинити добијени ауторадиограф лошије видљивим.

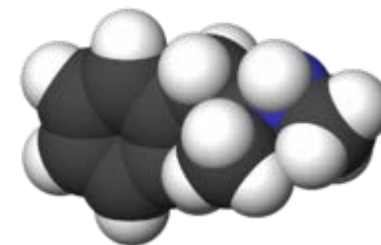


## Механизам мапирања коришћењем стабилних изотопа

- Као пример ове методе навешћемо мапирање психостимуланса метамфетамина који се често јавља на илегалном тржишту дроге.
- Ово хемијско једињење често се користи у медицинске сврхе као лек за третман различитих типова обољења.
- Међутим, због његове честе злоупотребе, у процесу његове производње приступа се процесу изотопског обележавања овог једињења стабилним изотопом  $^{13}\text{C}$  (који је природно присутан у концентрацији од 1.1%) којим се намерно делимично измењује стандардни угљеник  $^{12}\text{C}$ .
- Праћењем односа  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  различитим физичкохемијским методама (најчешће употребом гасно-масене спектрометрије) може се поуздано утврдити порекло овог лека.
- Вештачко обогаћивање оваквих типова лекова различитим врстама изотопа је чест принцип којим се врши њихово мапирање и којег учесници у илегалној трговини овим производима често нису свесни.



*N*-метил-1-фенилпропан-2-амин



# Аналитичка токсикологија

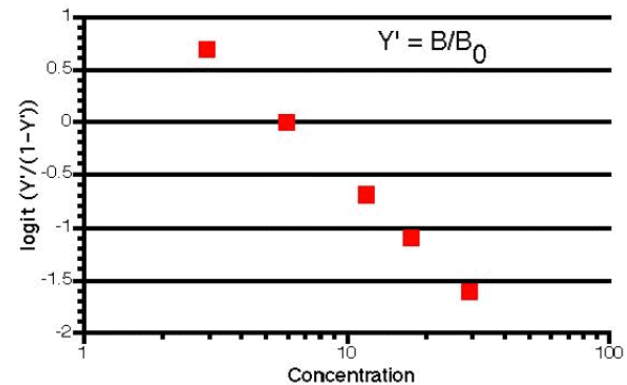
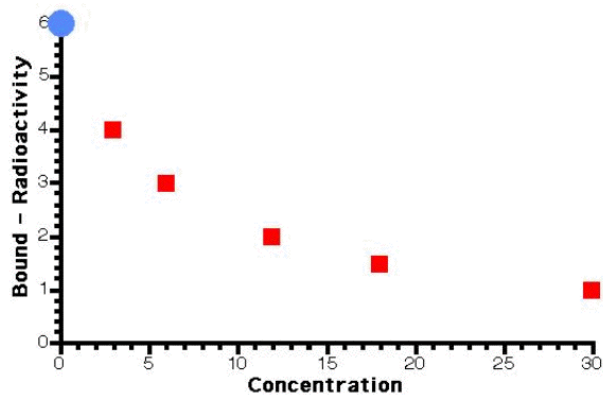
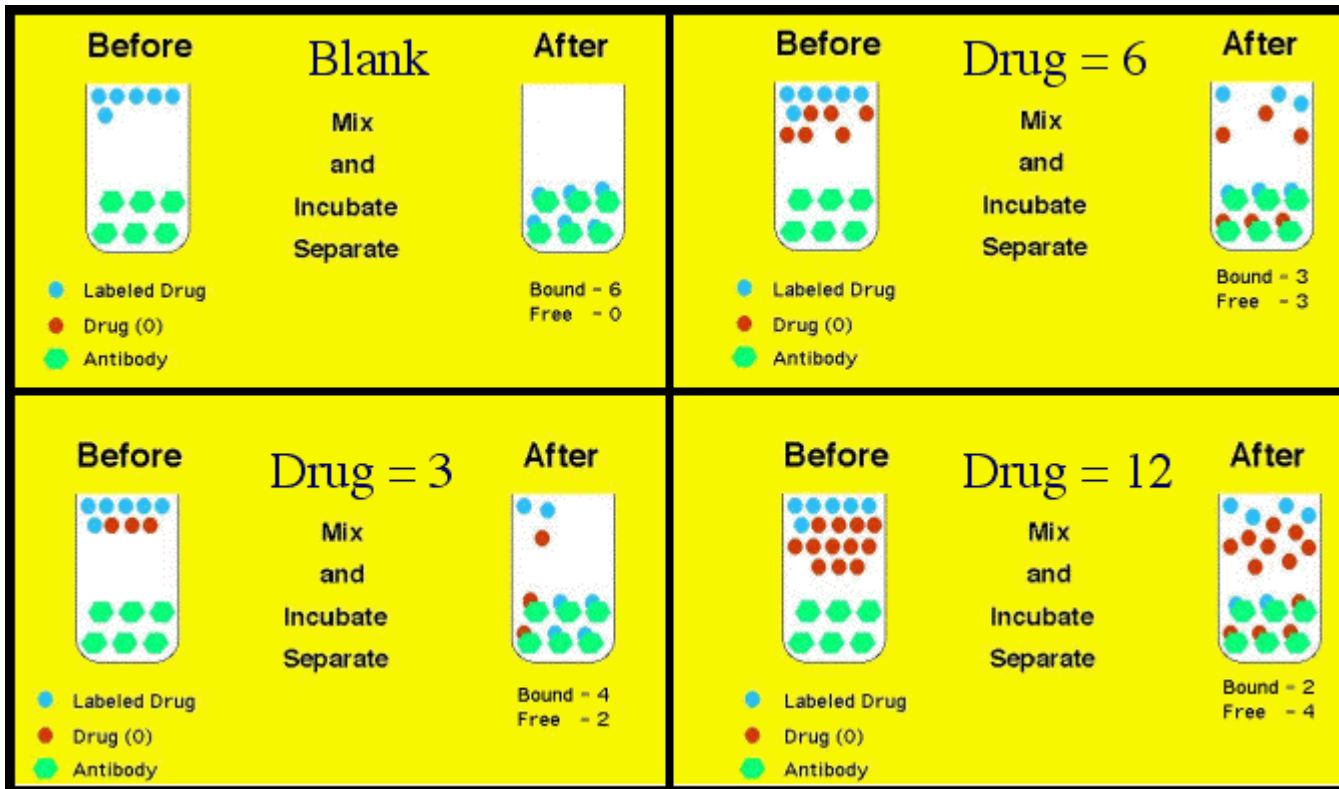
- **Имуноесеји (радиоимунолошка анализа – РИА)**

- Идентификација, детекција и квантификација различитих хормона у крви је веома важна за форензичку токсикологију.
- На пример, присуство говеђег или свињског инсулина у крви особе која не пати од дијабетеса може нам послужити као доказ тровања.
- Једна од метода за детекцију хормона у серуму је метод **радиоимунолошке анализе**. Овај метод заснива се на конкуренцији обележаних и необележених антитела за специфичне антигене у серуму.
- На овај начин можемо прецизно одредити количину антигена у серуму (хормона панкреаса, штитне и других жлезда).

## **Принцип РИА методе:**

- У овој методи се у првој фази вештачки, радиоактивно обележени, антигени (који су истог хемијског састава као и антигени у крви) везују за одговарајућа антитела. Мери се (почетна) радиоактивност.
- Даље се обележени антигени мешају са необележеним антигенима из крви при чему се догађа њихова међусобна конкуренција везивања за антитела. Опет се мери радиоактивност.
- Уколико се изведе концентрациона зависност измерене радиоактивности за неколико познатих концентрација необележених антигена добићемо **калибрациону криву** са које се касније лако може очитати вредност концентрације антигена у серуму за непознат узорак.

# РИА – принцип методе



# Идентификација животињске врсте из крви и фрагмената костију пРИА методом

- У форензици веома је важно разликовати људске од животињских остатака из узорака крви и костију. За ову сврху често се користе протеински имуноесеји (пРИА).
- Принцип ове методе датира из 1980. године када је Ловенштајн открио да су извесни протеини (као што је албумин или колаген) карактеристични за различите животињске врсте.
- Ове протеине можемо идентификовати пРИА методом чак и из узорака који су стари 1.9 милиона година.
- У сврху радиоактивног обележавања антигена најчешће се користи  $^{125}\text{I}$  чији је период полураспада 59.4 дана (распада се електронским захватом уз пратећу емисију гама зрачења енергије 35 keV, кога можемо лако детектовати употребом сцинтилационог детектора).
- За употребу ове методе постоје разрађени сетови антитела који су специфични за различите животињске врсте.

Submitter's list of possible species	Reagents used in pRIA		
	Control sera	Antisera	Antigen
Bovidae <i>Ovis dalli</i> (Dall's Sheep)	Sheep	Sheep	Albumin
Bovidae <i>Ovibos moschatus</i> (Musk ox)	Musk ox	Musk ox	Serum
Camivora <i>Canis lupus</i> (Gray wolf)	Dog	Dog	Albumin
Bovidae <i>Bison bison</i> (Bison)	Bison	Bison	Albumin
Ursidae <i>Ursus americanus</i> (Black bear)	Black bear	Black bear	Albumin
Ursidae <i>Ursus middendorffi</i> (Brown bear)			
Equidae (Horse)	Horse	Horse	Serum and albumin
<i>Thymallus arcticus</i> (Grayling)	Trout	Trout	Serum and albumin
Anseriformes <i>Anas platyrhynchos</i> (Mallard)	Chicken	Chicken	Albumin
Cervidae <i>Alces alces</i> (Moose)	Tule elk	Tule elk	Albumin



# Радиактивно датирање

- Радиактивно датирање је метода помоћу које можемо одредити старост неког узорка мерењем затупљености одређених радиоактивних изотопа и њихових продуката који се у њему природно налазе.
- У зависности од типа радиоактивних изотопа које меримо, ова метода се може користити за одређивање геолошке или археолошке старости.
- У сврху форензике, археолошка старост се најчешће одређује мерењем присуства:  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{137}\text{Cs}$  у узорку.
- Основна једначина на основу које се прерачунава старост неког предмета је закон радиоактивног распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Број преосталих језгара  $N$  након времена  $t$

- Пошто је  $A = \lambda N$ , док је,  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  имаћемо једначину:

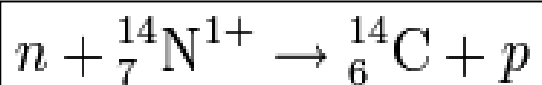
$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t}$$

Преостала активност узорка након времена  $t$

- На основу ове формуле видимо да ћемо мерењем активности неког узорка моћи да закључимо колико је он стар уколико нам је позната његова активност на почетку и уколико знамо време полураспада радиоактивног изотопа који меримо.

# Радиактивно датирање методом $^{14}\text{C}$

- Ова метода се другачије зове и радиокарбонско датирање. Ова метода користи природно заступљени радиоактивни изотоп угљеника  $^{14}\text{C}$  да би се проценила старост неког објекта који у свом саставу садржи угљеник.
- Овом методом можемо проценити старост предмета који је стар од 150 до највише 52000 - 65000 година (археолошка старост).
- Разлог за то је што је време полураспада  $^{14}\text{C}$  једнака 5730 година.
- Овај изотоп угљеника би се давно распао да се на Земљи он константно не прави. У ствари, он се прави у атмосфери у реакцији:



(неутрони се добијају у атмосфери деловањем космичких зрака; протона и алфа-честица, на њу)

- Добијени  $^{14}\text{C}$  у облику  $\text{CO}_2$  долази у биљке па у животиње и у току живота је његова концентрација константна у неком бићу. Када биће умре, не постоји нормална размена  $^{14}\text{C}$  те његова концентрација временом опада распадајући се по реакцији:

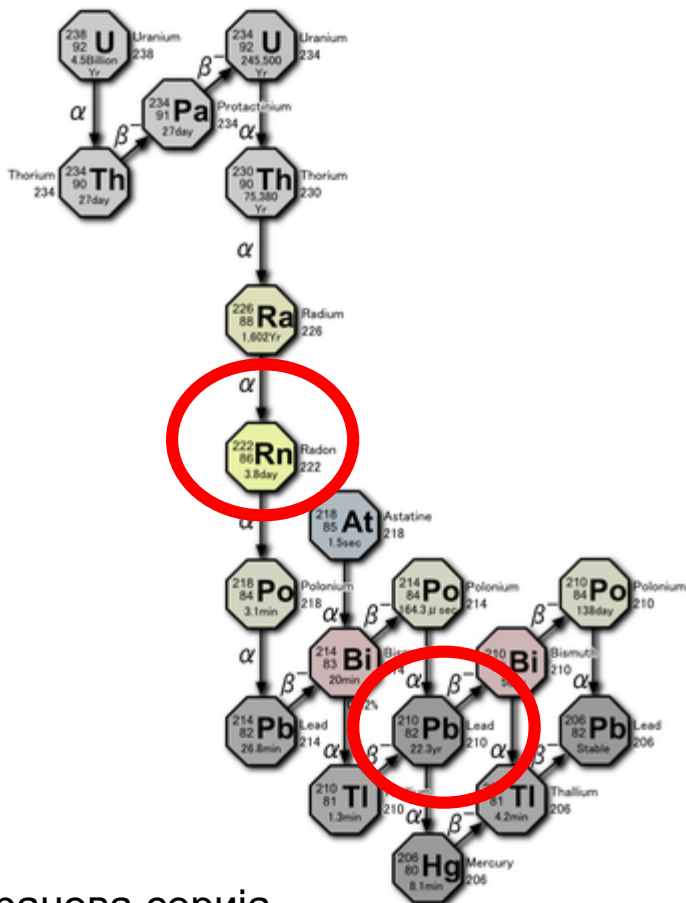


што је бета минус радиоактивни распад

- Мерећи колико је  $^{14}\text{C}$  остало у неком узорку (мерећи његову активност) ми можемо израчунати колико је тај узорак стар.
- Мерење  $^{14}\text{C}$  методом је релативно скупа техника (до 800 USD по узорку). Такође, добијени резултати су поуздани само за период од 150 година до 65000 година.

# Радиоактивно датирање помоћу других изотопа

- Поред  $^{14}\text{C}$  за одређивање старости људских остатака могу се корисити и други изотопи који су у микроконцентрацијама присутни у нама.
- Један од изотопа који је у вема малим концентрацијама присутан у костима је  $^{210}\text{Pb}$ . Овај изотоп се добија као последица уношења путем хране и после распада радиоактивног гаса  $^{222}\text{Rn}$  који удишемо током живота ( $^{222}\text{Rn}$  се на крају распадне до  $^{210}\text{Pb}$ ).



Уранова серија

- Пошто  $^{210}\text{Pb}$  има период полураспада само 22.3 године, он се може искористити за детекцију старости људских остатака који су скоријег датума (за разлику од  $^{14}\text{C}$  где је минимум 100 година).
- Занимљиво је поменути да се проценат присутности одређених радиоактивних изотопа у организму може искористити и као показатељ области у којој је одређена особа живела.
- На пример, концентрација стронцијума  $^{90}\text{Sr}$  у зубима је добар показатељ за то.

## Изотопска анализа

- Такође, преко односа стабилних изотопа неких елемената (који нису радиоактивни) као нпр.  $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ ;  $^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}$  и  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  можемо одредити порекло различитих живих бића.

## Одређивање пост-мортем интервала методом $^{90}\text{Sr}$

- Стронцијум  $^{90}\text{Sr}$  је вештачки добијен радиоактивни изотоп који се у атмосферу проширио након тестирања А-бомби у периоду од 1945. до 1979. године.
- Пошто је стронцијум аналог калцијума, може лако доспети у људске кости одакле се може екстраховати и мерити.
- Занимљив је податак да је количина овог изотопа у северној хемисфери три до пет пута већа него у јужној хемисфери.
- Овај радиоизотоп је бета-емитер са периодом полураспада од 28.8 година.

Sample no.	Dry mass (g)	Live age	Net counts per min
1	36.2		0.0192
2	45.5	7	0.0763
3	38.4		0.0306
4	68.2		3.425
5	88.1	26	8.354
6	64.1	16	6.813
7	55.9		6.622
8	22.3		1.3655
9	51.5	54	0.237

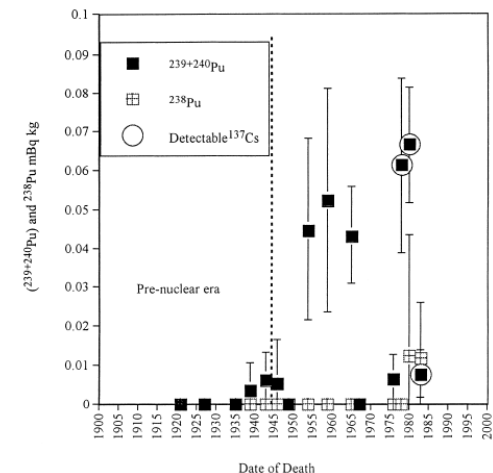
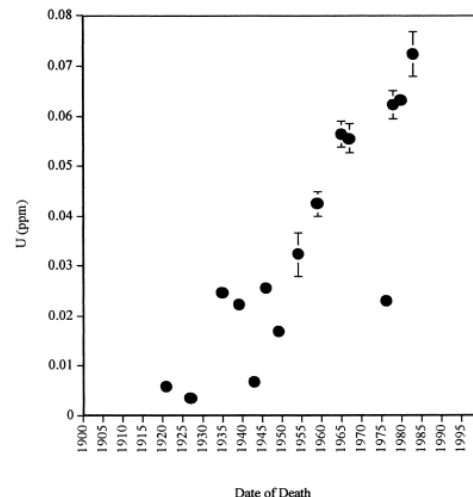
- Мерења овог изотопа се могу вршити на бета-бројачима високе осетљивости преко његове ћерка-изотопа итријума  $^{90}\text{Y}$  (који је такође бета-емитер али са периодом полураспада од 64 часова).
- Наиме, итријум се прво одвоји од стронцијума, запише се време, па се сачека две недеље да се постигне радиоактивна равнотежа између  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{90}\text{Y}$ . Тада се итријум одваја и мери на бројачу.



# Алфа и гама спектрометријска анализа пост-мортем интервала

- Алфа и гама спектрометрија су веома ефикасне за детекцију различитих врста радиоактивних изотопа који се у траговима могу наћи у различитим типовима људских остатака.
- Ове методе се заснивају на мерењу енергије алфа и гама зрачења које су посебна карактеристика за сваки од изотопа (отисак прста радионуклеида).
- Силицијумски алфа и германијумски гама детектори високих перформанси се најчешће користе за овакве типове анализа. У суштини методе је појава да се у кристалу под утицајем зрачења различитих енергија ствара електронски ток који се након појачања а затим путем вишеканалне анализе може преточити у информације о типу и садржају неког изотопа.
- Ове методе су се почеле примењивати са развојем нових детектора и показале су се веома кориснима јер је велики број изотопа који се може детектовати овим путем. Неки од њих су:
  - Алфа спектрометријски:  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$ .
  - Гама спектрометријски:  $^{228}\text{Ac}$  ( $^{228}\text{Ra}$ ),  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

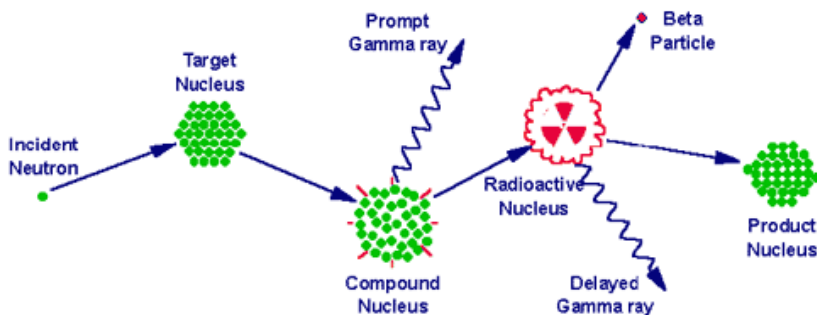
- Занимљиво је поменути да се подаци мерења за постојање неких изотопа битно разликују у пре и пост нуклеарној ери, што говори о радиоактивном загађењу на глобалном нивоу.



# Неутронска активациона анализа (НАА)



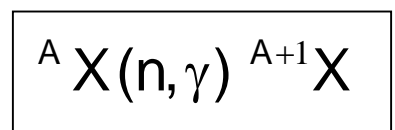
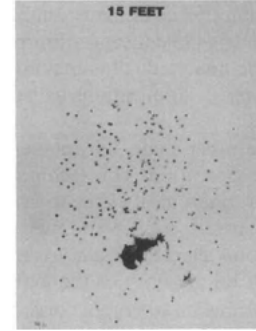
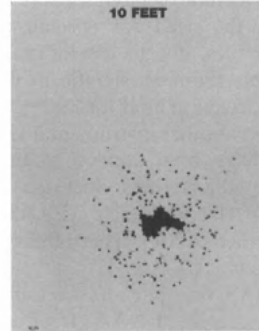
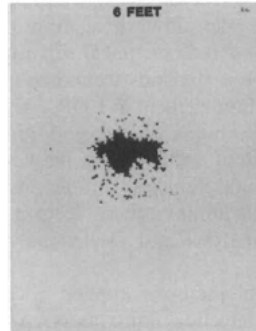
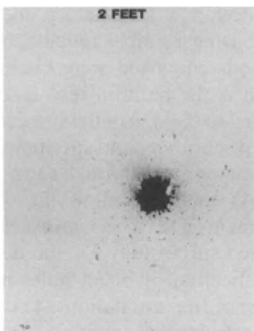
- **Активациона анализа** представља аналитичку технику у којој се користи нуклеарна реакција да би се детектовали елементи у траговима.
- **Неутронска активациона анализа** је посебан подтип активационе анализе при чему се за нуклеарну реакцију активирања елемента који се детектује користе неутрони.
- Да би извршили активацију мете неутронима потребно је да поседујемо неутронски извор. Неутронски извори могу бити нуклеарни реактори и лабораторијски извори неутрона.
- Поступак је следећи: мету (коју представља наш елемент у траговима) бомбардујемо неутронима при чему језгро мете апсорбује неутрон. При овом процесу оно постаје радиоактивно.
- Пошто је сада наш елемент (мета) у траговима радиоактиван, можемо га мерити стандардним методама за детекцију радиоактивности (различити типови бројача и детектора). Обично је у питању бета минус и пратеће гама зрачење.
- Мерећи активност добијеног радиоактивног нуклеида можемо сазнати и концентрацију микроелемента у узорку.



- У процесу ове анализе се узорак не оштећује. Пошто су енергије и времена полураспада различитих изотопа добро познати, ова метода се може користити и за квалитативну и за квантитативну анализу.
- У зависности од типа добијеног радионуклеида осетљивост ове методе иде и до  $10^{-12}$  грама.

## Употреба активационе анализе за детекцију "FDR"

- Велики пробој на пољу употребе НАА у форензици имао је експеримент из 1964. године када је НАА метода искоришћена за квантитативну детекцију антимона и баријума као FDR (Firearms Discharge Residues).
- Ова метода се и данас успешно користи за детекцију ових метала у који се у траговима могу наћи око места опаљења, рукама, одећи или рупама од метка.
- Проблем код ове методе је релативно ниска остљивост на присуство олова.
- У остацима опаљења морају бити присутни остаци баријума и антимона тако да је њихова детекција поуздан доказ. Пошто је НАА веома осетљива метода она се може користити у ову сврху.
- Уколико изложимо баријум и антимон један сат неутронском флуксу од  $2 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s, детекциони лимит за баријум је 0.05 µg а за антимон чак 0.005 µg. Овај детекциони лимит може бити повећан чак сто пута уколико се примени дуже озрачивање и јачи неутронски флукс.
- <sup>138</sup>Ba након своје активације и преласка у <sup>139</sup>Ba даје читав низ гама зрака карактеристичних енергија <http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=560139>
- <sup>121</sup>Sb након своје активације и преласка у <sup>122</sup>Sb даје такође низ гама зрака карактеристичних енергија <http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=510122>



Концентрација барутних честица у зависности од растојања

# Електрон Парамагнетна Резонанција (ЕПР)

- **Основни принципи ЕПР технике**

- ЕПР је резонантна апсорпција микроталасног зрачења од стране неспареног електрона у присуству магнетног поља.

## Терминологија

Electron Paramagnetic Resonance (EPR)

Electron Spin Resonance (ESR)

Electron Magnetic Resonance (EMR)

$EPR = ESR = EMR$

## Како се може добити ЕПР сигнал?

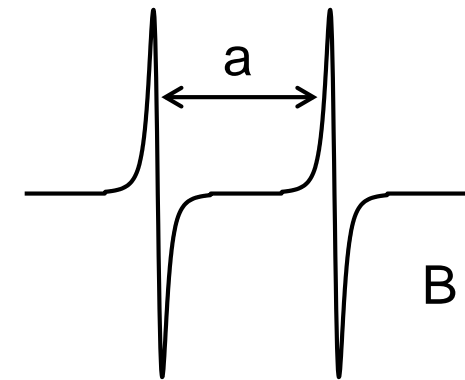
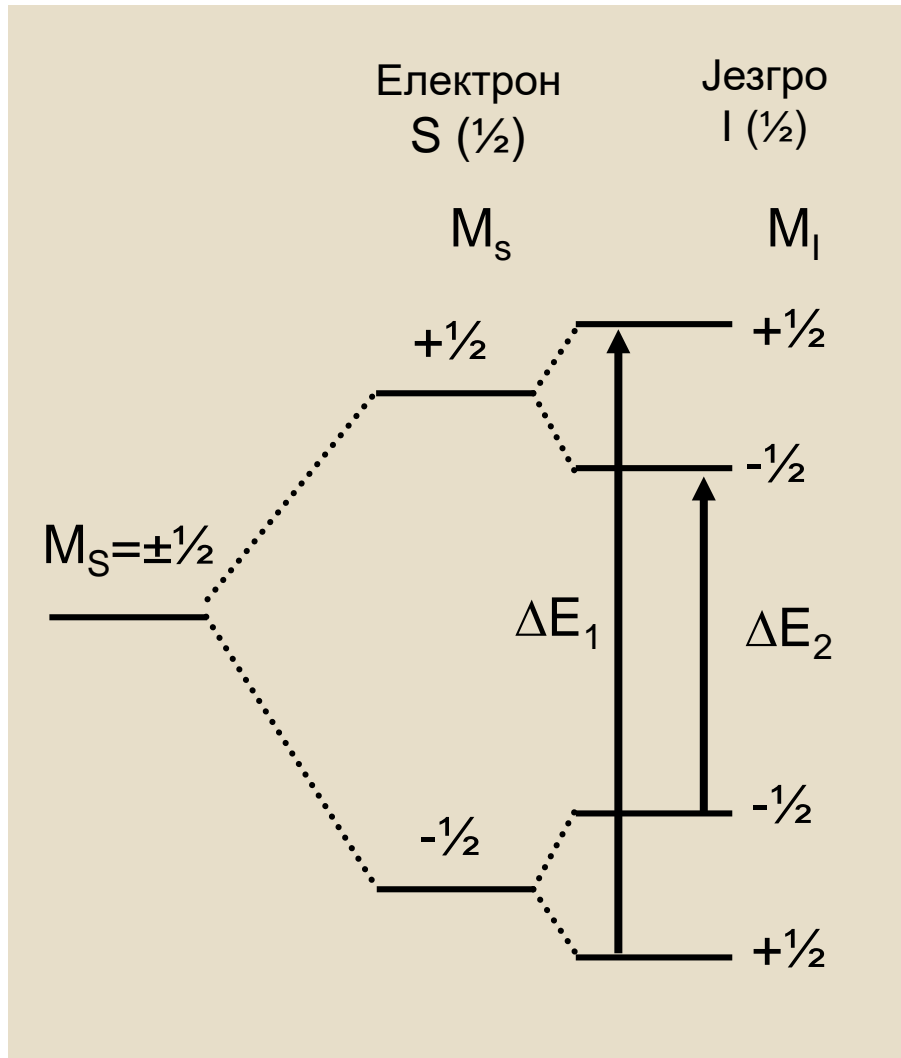
- 1) Држи се константна микроталасна фреквенција а континуално се мења магнетно поље.
- 2) На константном магнетном пољу се примењује пулс електромагнетних таласа.



# Класични ЕПР инструмент



# Спински нивои електрона и хиперфино спрезање услед интеракција електронских и нуклеарних спинова



“дублет”

$$E = g\beta BS_z + (hA_0)S_z I_z$$

$$E = g\beta BS_z + (a)S_z I_z$$

$(hA_0 \text{ (Hz)} \rightarrow a \text{ (G)} \text{ g-faktor})$

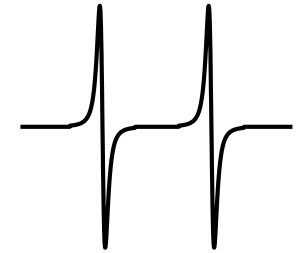
Изборна правила

$$\Delta M_S = \pm 1 \text{ (elektron)}$$

$$\Delta M_I = 0 \text{ (jezgro)}$$

# Зашто ЕПР?

1. Можемо детектовати и мерити слободне радикале и парамагнетне врсте
2. Висока осетљивост (наномлоарне концентрације)
3. Квалитативна & квантитативна техника



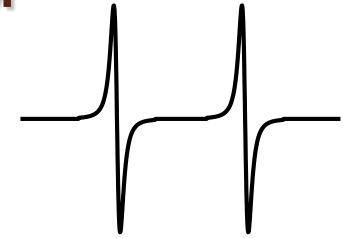
## Примери примене ЕПР:

- Врсте које имају неспарен електрон сам по себи (семихинони, нитроксиди, прелазни метали, делокализовани електрони ...)
- Врсте које се могу детектовати методом спин-трапинга (супероксидни, хидроксилни, азот-моноксид, ... радикали)

## Примена ЕПР технике у фроензици:

- ЕПР (електрон спин резонантна спектроскопија) има широку употребу у форензици. Крв, јетра, кожа, мека ткива и велики крвни судови су најчешћи објекти проучавања у ЕПР форензичким испитивањима.
- Иако је веома мали број супстанција природно ЕПР активно могуће их је помоћу различитих процедура ексцитовати у погодно парамагнетично стање и учинито их ЕПР видљивим.

# Примена ЕПР технике у форензичким испитивањима

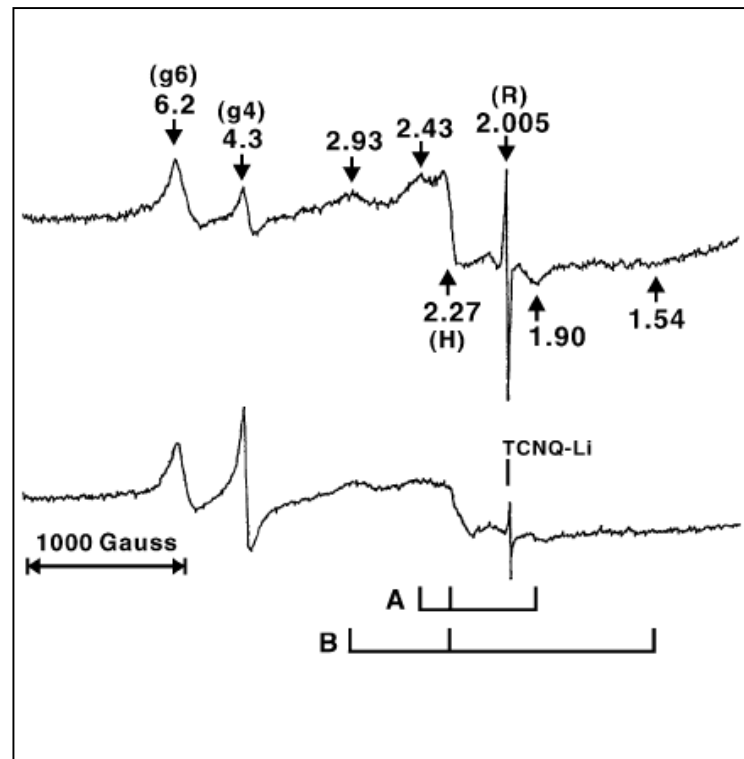


- Као једна од метода користи се и додавање посебних ЕПР спински обележених молекула ткиву да би се могло закључити о времену настанка трауме.
- ЕПР метода се у форензици може користити за једноставну анализу присуства различитих агенаса у крви, серуму, урину и ткивима (нпр. антипсихотика хлорпромазина или токсичног параквата) преко хемијски или на други начин индукованих стаблиних или краткоживећих радикалских врста.
- ЕПР спектрометрија се може применити за детекцију парамагнетних врста које се добијају или као последице изложености радиоактивном зрачењу (зубна глеђ, кости, кожа, коса) или као резултат деловања хемијских агенаса.
- ЕПР датирање се као метода за одређивање времена смрти или времена коагулације крви увелико користи у форензичким испитивањима нарочито у случајевима када то није могуће реализовати употребом других метода.



## Примена ЕПР технике за одређивање старости крви

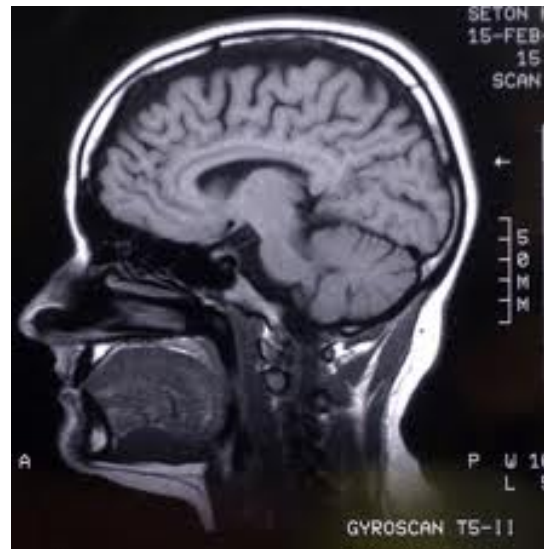
- Суштина ове методе је чињеница да крв на 77°К даје четири карактеристична ЕПР пика на:  $g = 6.2$  (g6), 4.3 (g4), 2.27 (H) и 2.005 (R).
- Ова појава се јавља услед постојања: *ferric high-spin*, *ferric non-heme*, *ferric low-spin* и осталих слободнорадикалских врста, респективно.
- Установљено је да приказ логаритма односа интензитета ЕПР сигнала H/g4 у зависности од логаритма времена од тренутка крварења, представља линеарну зависност и то у периоду од чак 432 дана (са грешком од максимално 25%).
- Ипак, извесни спољашњи фактори као што су на пример: различита подлога апсорбанта, изложеност светлошћу и флукуације у температури, могу утицати на прецизност добијених резултата.
- На слици су приказани ЕПР спектри на 77°К осушене људске крви првог (горе) и 775 (доле) дана после екстраховања. Као стандардна  $g$ -вредност узет је пик тетрацијаноквинод иметан литијумове соли (TCNQ-Li) на  $g=2.00252$ .
- Запазити промене код релевантних ЕПР пикова.



## Примена ЕПР технике за одређивање експозиције високим дозама зрачења (ЕПР дозиметрија)



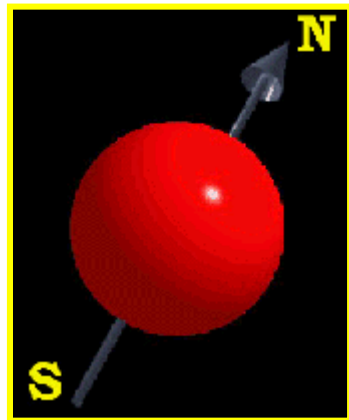
- ЕПР техника је најефикаснији метод да би се открила изложеност неког предмета или живог бића високим дозама радиоактивног зрачења.
- У суштини ове методе је појава да јонизујуће зрачење у ткивима индукује појаву слободних радикала и то да је количина произведених радикала сразмерна апсорбованој дози радиоактивног зрачења.
- ЕПР методом се могу детектовати сигнали који се јављају у различитим типовим ткива: костима, дентину и зубној глеђи.
- Као једна од најчешће коришћених техника примењује се ЕПР дозиметрија зубне глеђи. Она се базира на одређивању концентрације  $\cdot(\text{CO}_3)^{2-}$  јон-радикала у хидроксиапатиту (минералу који је саставни део зубне глеђи).
- Повољно је то што је  $\cdot(\text{CO}_3)^{2-}$  јон-радикал дугоживећи и што се временом (годинама) акумулира у глеђи.
- Такође, различити људски продукти: крв, пљувачка, урин, фецес имају велики број специфичних биомолекула који имају карактеристичне ЕПР сигнале. Сви они се, уз адекватно познавање биохемијских механизма, могу повезати са различитим патолошким стањима и у вези с тим се свакодневно изводи велики број научних истраживања.
- Треба само имати у виду то да је већина оваквих испитивања и даље у процесу развоја тако да често још увек не могу да се употребе као поуздани форензички докази.



**MPI**

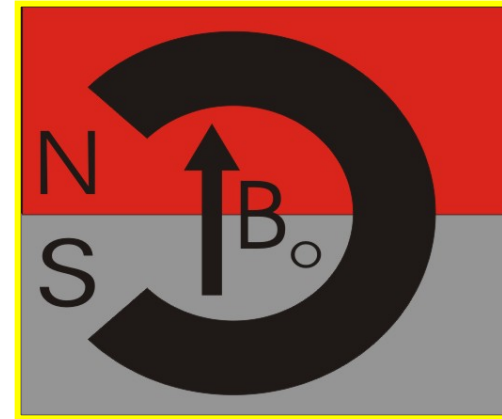
***Magnetic Resonance Imaging***

# Језгра у магнетном пољу $B_0$

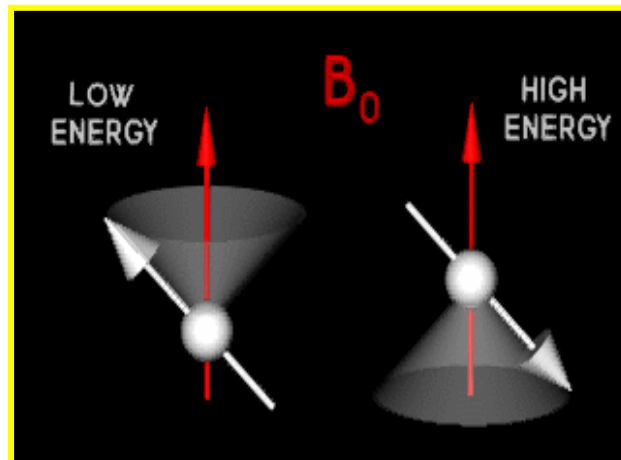


Језгра са  $I \neq 0$

+



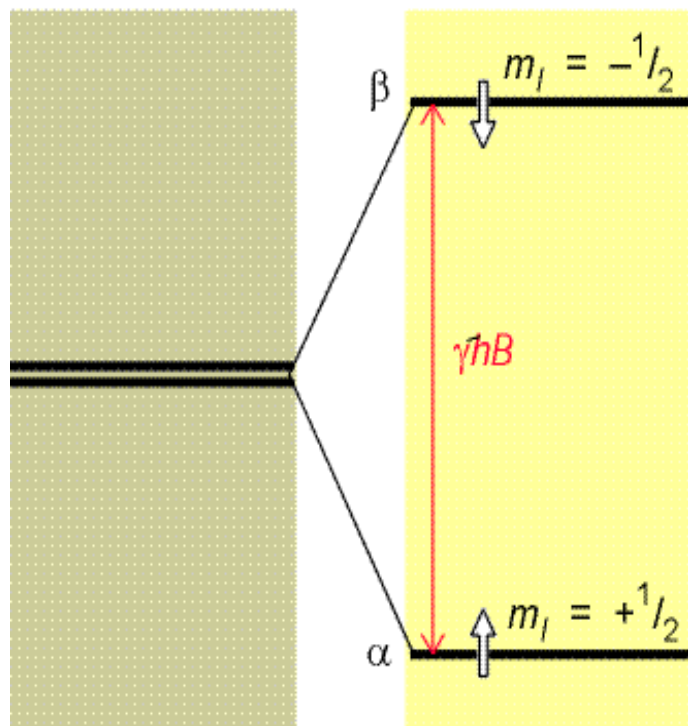
Магнетно поље  $B_0$



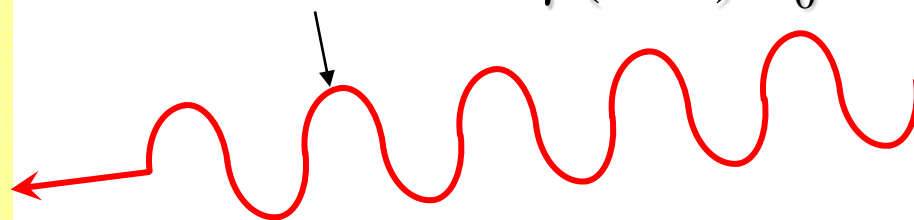
Прецесија спина језгра у  $B_0$  и раздвајање по енергијама



# Цепанье енергијских нивоа спинова у спољашњем магнетном пољу $B_0$



$$E = h\nu = \Delta E = \gamma \left(\frac{h}{2\pi}\right) B_0$$



Резонантна апсорпција  
(радиофреквентна област)

# Шта се све види на МРИ слици?

- Вода? – **Да** ( $H_2O$ )
- Масл ? – **Да** ( $CH_2$ )
- Протеини? – **Не** (мало их је), али утичу на сигнал околне воде
  
- Мека ткива? – **Да**.
- Кости? – Делимично
  - а) коштана срж? **Да** (садржи воду и масл)
  - б) кортекс? **Не** (нема покретљивих протона)
- Ваздух? – **Не**

