

РАДИОХЕМИЈА И НУКЛЕАРНА ХЕМИЈА

ОБАВЕЗНИ ПРЕДМЕТ ТРЕЋЕ ГОДИНЕ ОАС

РАДИОХЕМИЈА И НУКЛЕАРНА ХЕМИЈА

ОБАВЕЗНИ ПРЕДМЕТ ТРЕЋЕ ГОДИНЕ ОАС

- Наставник: др Марко Даковић, ванр. професор
- Асистент: Стефана Дејковић мастер физ. хем.
- Технички сарадник: Марко Брашњевић

- Контакти
Кабинет: 273

marko@ffh.bg.ac.rs

stefana@ffh.bg.ac.rs

marko.brasnjevic@ffh.bg.ac.rs

Број часова активне наставе	Предавања	Вежбе
7	3	4
	2+1	

Информације о предмету:

- <http://ffh.bg.ac.rs/predmeti/radiohemija-i-nuklearna-hemija>
- radiohemija.ffh.bg.ac.rs (+станица за обавештења)
- [MS Teams](#)
- [Google Classroom](#)

ПЛАН ПРЕДАВАЊА

ОСНОВЕ	Увод у Радиохемију и нуклеарну хемију	ПРИМЕНЕ	Нуклеосинтеза
	Језгра, изотопи. Стабилност језгара		Космичко зрачење и природна радиоактивност
	Нестабилна језгра: радиоактивни распади		Трансурански елементи
	Пролаз зрачења кроз материју		Нуклеарна енергетика
	Детекција и мерење радиоактивног зрачења		Нуклеарни и термонуклеарни реактори
	Дозиметрија јонизујућег зрачења		Нуклеарни гориви циклус
	<i>Наставни колоквијум 1</i>		Изотопско обогаћивање
МОДЕЛИ	Енергија везе у језгру. Модели језгра.		Производња радиоизотопа и примене
	Теорија α и β распада		Хемија “врућих” атома
	Нуклеарне реакције		Примене радиоизотопа
	Теорија фисије и фузије		Елементарне честице
	Акцелератори		<i>Наставни колоквијум 3</i>
	<i>Наставни колоквијум 2</i>		

ПРОГРАМ КОЛОКВИЈУМА И ВЕЖБИ

1. колоквијум

- V1. Одређивање карактеристика Гајгер-Милеровог бројача
- V2. Одређивање времена полираспада графичком методом и методом мерења апсолутне активности
- V3. Одређивање енергије β и γ зрачења методом самоапсорпције
- V4. Одређивање енергије γ зрачења сцинтилационим спектрометром

2. Колоквијум

- V1. Одређивање количине микрокомпоненте у узорку методом активационе анализе
- V2. Радиоимунолошка анализа (РИА) хормона штитне жлезде

3. Колоквијум

- V1. Одвајање радиоактивног $^{56}\text{MnO}_2$ из KMnO_4 озраченог неутронима
- V2. Идентификација природно присутних радионуклида у земљишту коришћењем HP Ge γ спектрометрије
- V3. Раздвајање ^{90}Sr и ^{90}Y у микроконцентрацијама употребом катјонске смоле

Литература: М. Даковић, М. Мојовић, Практикум из радиохемије, Београд 2023.

ЛИТЕРАТУРА НА СРПСКОМ ЈЕЗИКУ

- Х. Ј. Арникар, Основи нуклеарне хемије, Факултет за физичку хемију, Београд, 1992.
- Иван Драганић ед. Радиоактивни изотопи и зрачења, Научна књига, Београд, 1968.
- М. Haissinsky, Нуклеарна хемија и њене примене, Научна књига, Београд, превод са француског
- Ш. Миљанић, Нуклеарна хемија-скрипта
- Поглавља (на веб страници предмета):
 - Модели језгра и радиоактивних распада
 - Акцелератори
 - Елементарне честице и интеракције

ЛИТЕРАТУРА НА ЕНГЛЕСКОМ ЈЕЗИКУ

- *Gregory Chopin et al., Radiochemistry and Nuclear Chemistry, Elsevier, London, 4th ed 2013.*
- *W. D. Loveland, D. J. Morrissey, G. T. Seaborg, Modern Nuclear Chemistry, John Wiley & Sons, New Jersey, 2006.*
- *J-V. Kratz, K. H. Lieser Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications, 3rd Edition, Wiley KAH, Weinheim*

БОДОВАЊЕ

Предиспитне обавезе	Поени		Завршни испит	Поени
Активност у току предавања	5	2,5	Наставни колоквијуми	19
		2,5		18
				18
Практична настава	10 + 10			
Колоквијуми	20		Усмени испит	55

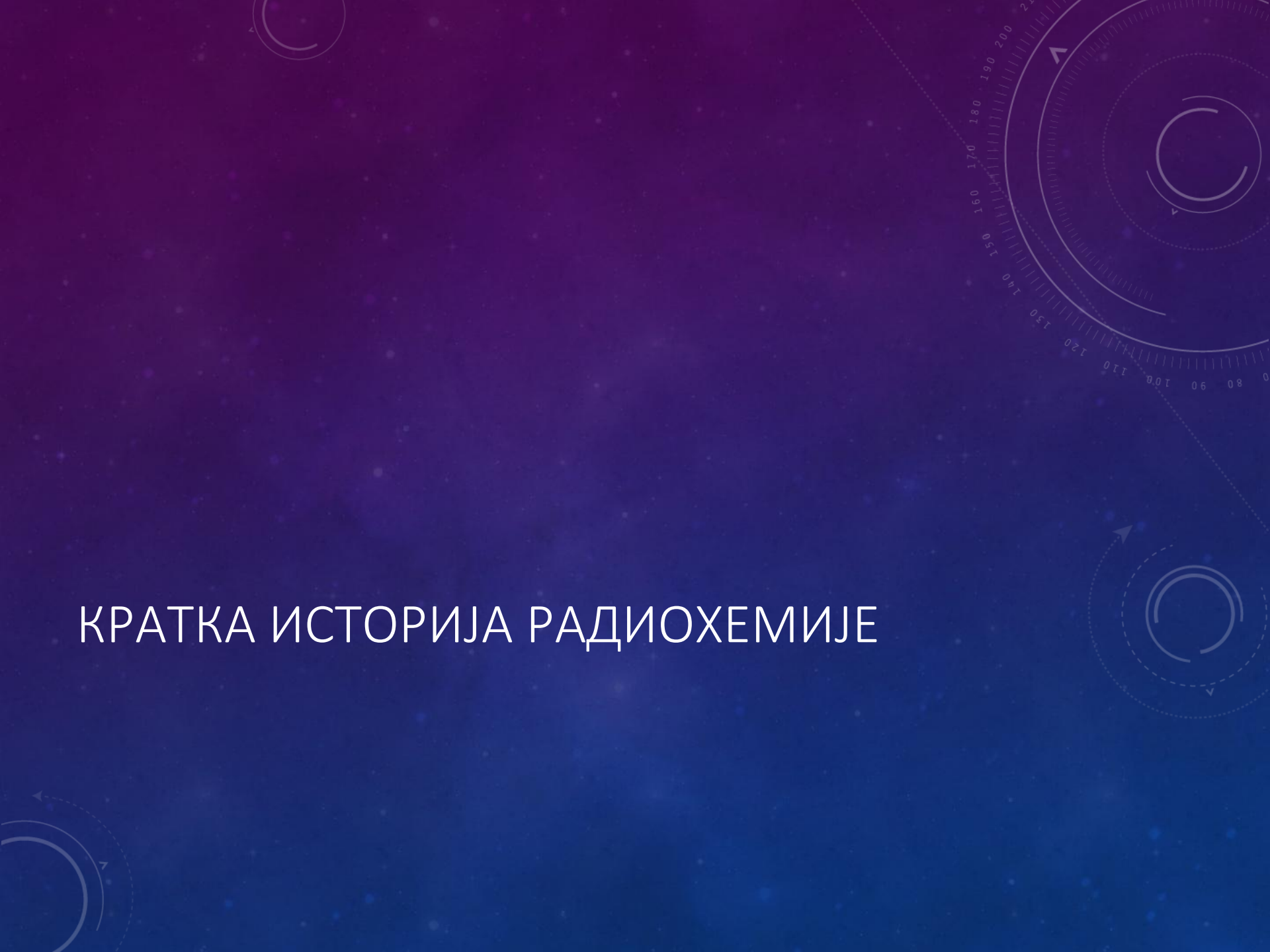
ПОЛАГАЊЕ ИСПИТА

- На испит можете изаћи ако имате положене све испите из прве године, положене колоквијуме и одрађене вежбе, те **минимум 50% присуства** предавањима (Статут Факултета – 70%)
- Начини полагања испита:
 - Усмено (цео испит)
 - Преко три наставна колоквијума (усмено). Положен наставни колоквијум **важи док не положите цео испит**
 - Усмено, из три дела, при чему једном положен део испита **важи док не положите цео испит. Делови испита се морају полагати редом.** Други и трећи део испита је могуће полагати заједно.

ЧЕСТО ПОСТАВЉАНА ПИТАЊА

- Слушао/ла сам предмет у претходним школским годинама и испунио услов за присуство на предавањима. Да ли је потребно да поново слушам предавања?
- Положио/ла сам колоквијуме, одрадио и оверио вежбе. Да ли је потребно да поново полажем колоквијуме и радим вежбе?
- Нисам положио/ла све колоквијуме, али сам оверио/ла извештаје од вежби које сам урадио/ла. Да ли морам да поново радим све вежбе?
- Да ли потребно да одрадим све вежбе после једног колоквијума, да бих полагао/ла наредни колоквијум?

КРАТКА ИСТОРИЈА РАДИОХЕМИЈЕ

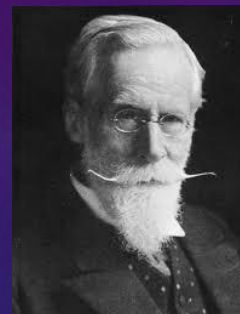


ДЕФИНИЦИЈЕ...

- Радиохемија је наука која проучава природу и својства радиоактивних елемената и производа њиховог распада. (Cameron 1910, Soddy 1911)
- Радиохемија је област (физичке) хемије, која проучава хемију радиоактивних изотопа, елемената и једињења, њихових физичкохемијских својстава, хемију нуклеарних реакција и пратећих физичкохемијских процеса. (Несмејанов)
- Нуклеарна хемија проучава (Seaborg):
 - хемијске и физичке особине најтежих елемената
 - нуклеарне особине као што су структура, реакције и радиоактивни распад
 - макроскопске феномене (као што су геохронологија и астрофизика) који зависе од нуклеарних процеса

ПРЕДИСТОРИЈА...

- Експерименти са проласком струје кроз гасове под ниским притиском
 - Гајслерова (Geissler) цев 1857.
 - Круксова (H. Crookes) цев – 1878.



Sir William Crookes



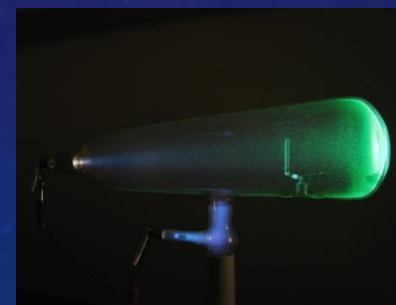
Crookes-ова цев



Rumkoff индуктор

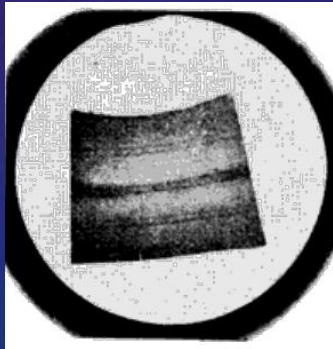
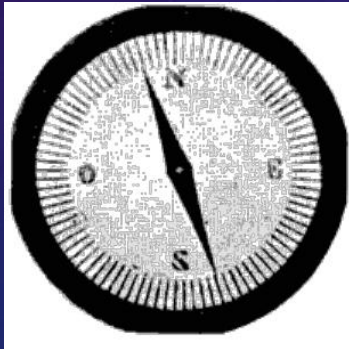
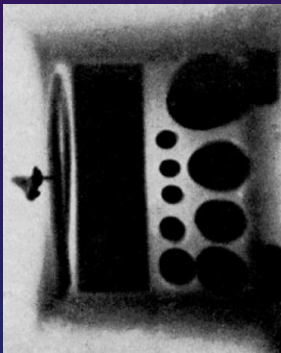
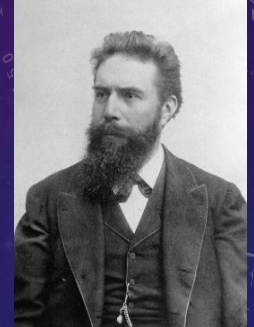


Geissler-ова цев

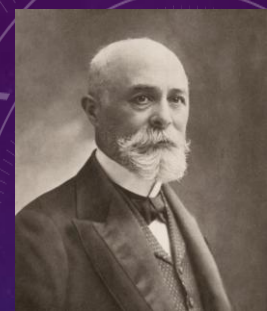


ОТКРИЋЕ Х-ЗРАКА

- W. C. Röntgen 28. 12. 1895.
- „Стога сам дошао до закључка да Х-зраци нису идентични са катодним зрацима већ их производе катодни зраци у стакленом зиду апарата за пражњење.



ОТКРИЋЕ РАДИОАКТИВНОСТИ



- Antoine Henri Becquerel 1. 03. 1896.
- Експерименти – озрачивање сунчевом $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ светлошћу

- Прво саопштење 24. 02. 1896.

PHYSIQUE. — *Sur les radiations émises par phosphorescence.*
Note de M. HENRI BECQUEREL.

- “Лимијерова фотографска плоча са бромидном емулзијом умота се у два листа веома дебелог црног папира, тако да се избегне замагљивање плоче услед излагања сунцу. Постави се лист папира и на њега плочица од флуоресцентне супстанције и све се то изложи сунчевој светлости у трајању од неколико часова”
- “Када се фотографска плоча развије, уочава се силуета фосфоресцентне супстанције као зацрњење на негативу.”
- “Из ових експеримената се може извести закључак да фосфоресцентна супстанца у питању емитује зраке који пролазе кроз непрозиран папир и редукују соли сребра.”

*Формула по Бекерелу
је била $[SO^4(UO)K + H^2O]$

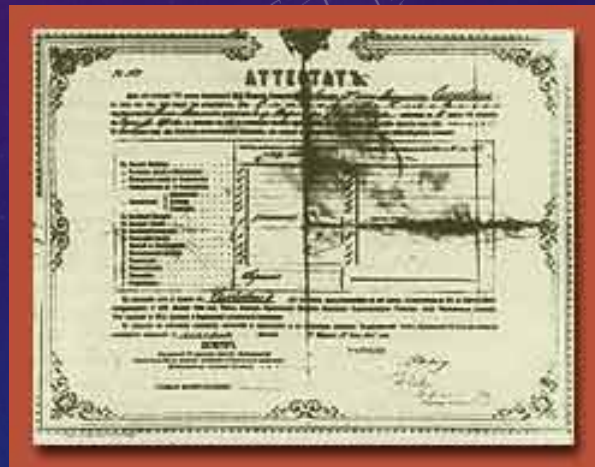
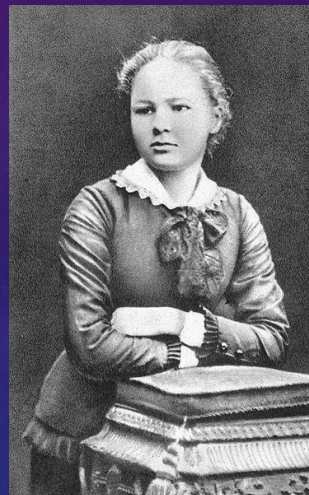
Друго саопштење 2. 03. 1896.

PHYSIQUE. — *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents.*
Note de M. **HENRI BECQUEREL.**



- “Посебно ћу инсистирати (истаћи) на следећој чињеници, која ми се чини веома значајна и која је изнад феномена за који се могу очекивати: Иста кристална кора, постављена на исти начин у односу на фотографску плочу, под истим условима и кроз исти прозор, али заштићена од експитације упадних зрака и чувана у мраку, и даљњ производи исте фотографске слике. Следеће околности су ме водиле ка наведеним запажањима: између претходних експеримената, неки су били припремљени у среду 26-тог и четвртак 27-ог фебруара и пошто се Сунце само повремено појављивало тих дана, сачувао сам припремљене апаратуре и вратио кутије у таму писаћег стола, са плочицом (кором) уранијумове соли на њима. Како се Сунце није појављивало у следећим данима, 1. марта сам развио плоче, очекујући појаву само веома слабих слика. Уместо тога појавиле су се силуете великог интензитета.”
- “Важно је приметити да изгледа да се овај феномен не може приписати светлосном зрачењу емитованом фосфорсценцијом, пошто она на крају стотог дела секунде постаје тако слаба да се више не може запазити.”
- “Хипотеза која се природно намеће би била претпоставка да су ови зраци, чије дејство има (показује) велику сличност са зрацима проучаваним од стране господина Ленарда и господина Рентгена, невидљиви зраци емитовани фофоресценцијом и да опстају много (бесконечно) дуже од светлосних зрака емитованих од стране ових објеката.”

MARIA SKŁODOWSKA



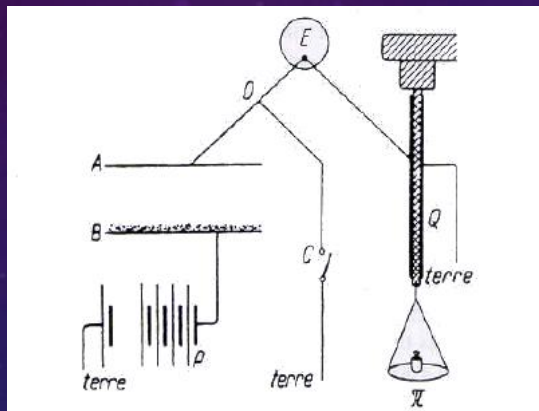
MARIE SKLODOWSKA-CURIE & PIERRE CURIE

- 1891-1894. Сорбона, студије физике и математике
- 1894-1897. Истраживања везана за магнетне особине метала и легура
- 1895. удаје се за Пјера Кирија

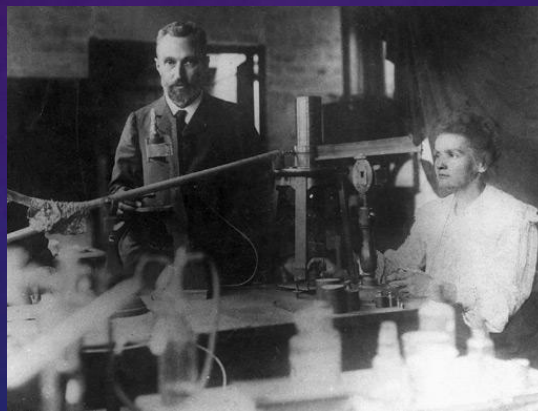


ИСТРАЖИВАЊА ВЕЗАНА ЗА БЕКЕРЕЛОВЕ (УРАНИЈУМСКЕ) ЗРАКЕ

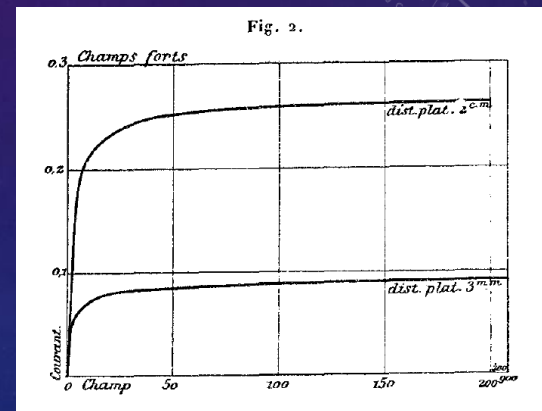
- 1898. почетак истраживања везаних за зрачење из уранијумових једињења и минерала



Пиезоелектрична вага



М. Кири користи пиезо вагу

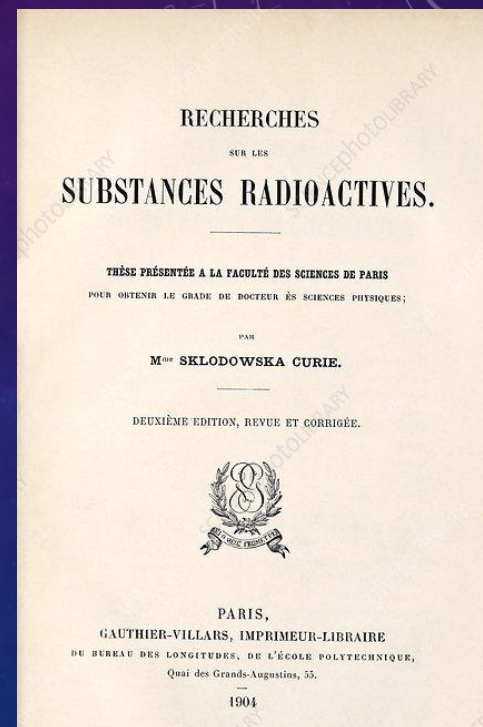


Мерење сатурационе струје

PHYSIQUE. — *Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium.*
 Note de M^{me} SKŁODOWSKA CURIE (¹), présentée par M. Lippmann.

	$i \times 10^{11}$.
Uranium métallique (contenant un peu de carbone)	2,3
Oxyde d'urane noir U^2O^3	2,6
Oxyde d'urane vert U^3O^4	1,8
Acide uranique hydraté.....	0,6
Uranate de sodium.....	1,2
Uranate de potassium	1,2
Uranate d'ammonium.....	1,3
Sulfate uraneux	0,7
Sulfate d'uranyle et de potassium... ..	0,7
Azotate d'uranyle.....	0,7
Phosphate de cuivre et d'uranyle.....	0,9
Oxysulfure d'urane.....	1,2

	$i \times 10^{11}$.
Uranium	2,3
Pechblende de Johanngeorgenstadt....	8,3
» de Joachimsthal	7,0
	$i \times 10^{11}$.
Pechblende de Pzibran	6,5
» de Cornwallis.....	1,6
Clévéite.....	1,4
Chalcolite.....	5,2
Autunite.....	2,7
Thorites diverses.....	0,1
	0,3
	0,7
	1,3
Orangite.....	1,4
	2,0
Monazite.....	0,5
Xenotime.....	0,03
Aeschynite.....	0,7
Fergusonite, 2 échantillons.....	0,4
	0,1
Samarskite	1,1
Niobite, 2 échantillons.....	0,1
	0,3
Tantalite.....	0,02
Carnotite (¹).....	6,2



Сатурационе струје уранијумових
једињења

Сатурационе струје уранијумових
минерала

Докторска дисертација Марије Кири

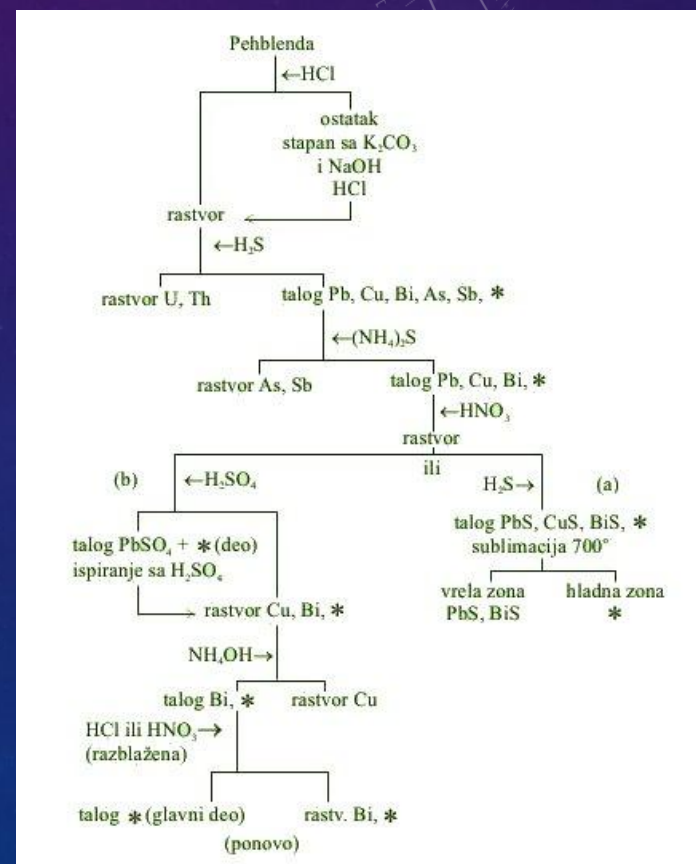
ЗАКЉУЧЦИ ИСТРАЖИВАЊА СА АКТИВНОШЋУ УРАНИЈУМОВИХ МИНЕРАЛА

- “Сва проучавана уранијумова једињења су активна, и генерално су, активнија су што садрже више уранијума.”
- “Једињења торијума су веома активна. Торијум оксид по активности чак премашује метални уранијум.”
- “Сви минерали који показују активност садрже активне елементе. Два минерала уранијума, пехбленда и чалколит су много више активни него сам уранијум. Ова чињеница је посебно значајна и сугерише да ови минерали могу садржати елемент много активнији од уранијума.”

ОТКРИЋЕ ПОЛОНИЈУМА

PHYSICO-CHIMIE. — *Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende* (¹). Note de M. P. CURIE et de M^{me} S. CURIE, présentée par M. Becquerel.

- “Настојали смо да изолујемо ову супстанцију из пехбленде и експеримент је управо потврдио раније претпоставке.”
- “Наша хемијска истраживања су се константно одвијала уз проверу радијантне активности одвојених продуката у току поступка. Сваки производ је постављан на једну од плоча кондензатора и проводљивост створена у ваздуху је мерена помоћу електрометра и пиезоелектричног кварца (као у претходном раду)”



- “Верујемо стога да супстанција коју смо издвојили из пехбленде садржи метал чије постојање још није објављено и који је по својим аналитичким особинама близак бизмуту. Ако се потврди постојање овог новог метала, предлажемо да се зове **полонијум** по имену земље из које једно од нас потиче.”
- 1910 снимљен атомски спектар полонијума

Sur le polonium
 Par M^{me} P. CURIE et A. DEBIERNE
 [Faculté des Sciences de Paris].

4642.0	faible,
4170.5	assez forte,
5915.6	faible,
5652.1	très faible.



Атомски емисиони спектар полонијума.

ОТКРИЋЕ РАДИЈУМА



- “У току ових истраживања дошли смо до друге, јако радиоактивне супстанције, потпуно другачије по хемијским особинама од претходне” (*полонијума).
- “Нова радиоактивна супстанција коју смо управо открили има хемијску појаву скоро чистог баријума.”
- “Ипак ми вериујемо да је ова супстанција, иако у великом делу састављена од баријума, као додатак садржи нови елемент који одаје своју радиоактивност и који је уз то блиско повезан са баријумом и његовим хемијским особинама.”
- “Различити разлози које смо навели довели су нас до уверења да нова радиоактивна супстанција садржи нови елемент за који предлажемо да се зове **радијум.**”

ПОТВРДА ОТКРИЋА НОВОГ ЕЛЕМЕНТА

- Одређивање атомске масе радијума – изоловање чистог радијума из неколико тона отпада из прераде пехбленде. Чист радијум је изолован 20. 04. 1902.



Лабораторија у којој је изолован радијум



Атомски спектар радијума забележен од стране Марије Кири

РАДИЈУМ!

**Most Amazing Sight
you ever saw!
WORLDS
DESTROYED
BEFORE YOUR EYES—
as you look through the
RADIUMSCOPE!**



IF YOU want to see a most awe-inspiring sight, view the actual destruction of thousands of worlds as they smolder through the lens of the new RADIUMSCOPE. See RADIUM DISINTEGRATED AND DESTROYED RIGHT BEFORE YOUR EYES. Witness a real atomic super-bombardment—a never-to-be-forgotten sight! You plainly see radium rays and the discharge and bombardment of the alpha particles. There is no more remarkable and awe-inspiring spectacle in the whole world than what you can see in this marvelous RADIUMSCOPE.

The RADIUMSCOPE is without a doubt one of the most amazing scientific wonders ever invented. For ages scientists thought that atoms were indestructible. Yet the RADIUMSCOPE shows plainly that radium actually destroys atoms (atoms are scientific worlds). Look into the RADIUMSCOPE and behold the most astounding sight. You see a brilliant "light sky" alive with thousands of "stars" and myriads of bright flashes similar to showers of shooting stars. Every flash is the result of the destruction of one atom of radium. As each radium atom is destroyed, it creates a Helium gas atom which it shoots out like a bullet at the terrific speed of 15,000 miles a second. These fast-traveling Helium atoms (also called alpha rays) make a vivid flash of light when they strike a fine soluble crystal, inside the RADIUMSCOPE. A strong magnifying lens makes these flashes visible and you actually see the over-riding motion of the tiniest particles of matter known to science. The bombardment keeps on going not only for a few days, but for over 1,000 years, never stopping. Thus, the Radium is the RADIUMSCOPE, if preserved, will soothe you and many succeeding generations.

This is how the RADIUMSCOPE looks. Metal, nickel-plated telescope case. Handy and easy to focus in any eye-sight. Carry it in your pocket.



MAIL COUPON NOW—TODAY

M. L. J. MAGAZINES, INC.,
160 W. BROADWAY, NEW YORK, N. Y.

Please rush to me quickly your new RADIUMSCOPE, as described above.
I enclose \$10 in coin, money order, or new U. S. stamps.

NAME.....
ADDRESS (print clearly).....
CITY..... STATE.....
(For Canada And Foreign Countries Add 5c Extra)

March 1916 Vol. 1, No. 1 BLUE RIBBON COMICS is published quarterly by M. L. J. Magazines, Inc., 175 DeLoe Avenue, St. Louis, Mo. Subscription Office: The M. L. J. Magazines, Inc., 175 DeLoe Avenue, St. Louis, Mo. Single Copies: 10c. Copyright 1915, M. L. J. Magazines, Inc. Every advertisement in this magazine is subject to the approval of the publisher. No advertiser's name will be used in any advertisement unless it is so stated in the copy. No advertiser's name will be used in any advertisement unless it is so stated in the copy. No advertiser's name will be used in any advertisement unless it is so stated in the copy.

SELS DE RADIUM
POLONIUM -- ACTINIUM
et autres substances radioactives
ARMET DE L'ISLE
VEINES
NOUENT-SUR-MERNE
BUREAUX
15, Rue Vignon, PARIS

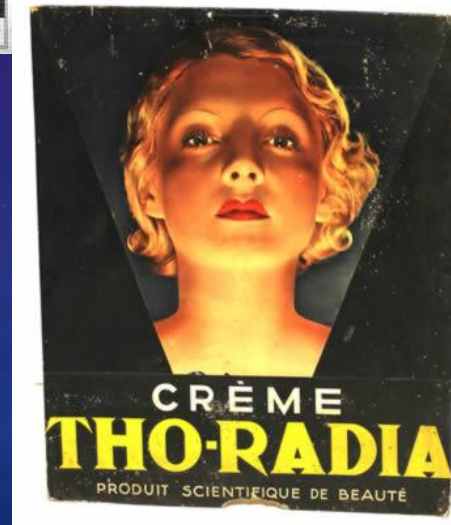
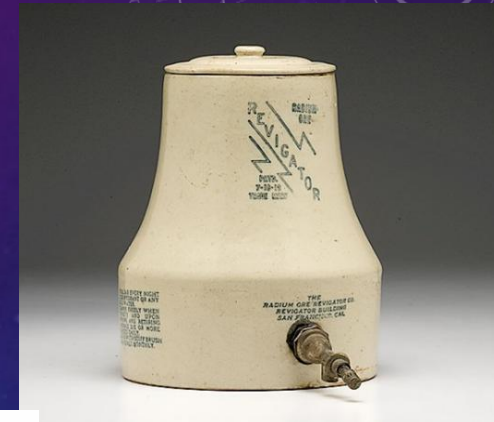
PRIX DES SELS DE RADIUM

Quantité	Prix	Quantité	Prix
1 gramme	100 francs	10 grammes	1000 francs
5 grammes	500 francs	50 grammes	5000 francs
10 grammes	1000 francs	100 grammes	10000 francs
50 grammes	5000 francs	500 grammes	50000 francs
100 grammes	10000 francs	1000 grammes	100000 francs

REMARQUE: Les sels de radium sont vendus en flacons de verre, sous le vide, et sont accompagnés d'un certificat d'authenticité.



РАДИЈУМ!



Радијумска вода

РАДИЈУМ-ПОСЛЕДИЦЕ



Пјер Кири је већ патио од радијационе болести када је погинуо у саобраћајној несрећи.

Марија Кири је 1934. умрла од апластичне анемије која је последица излагања великим дозама зрачења.

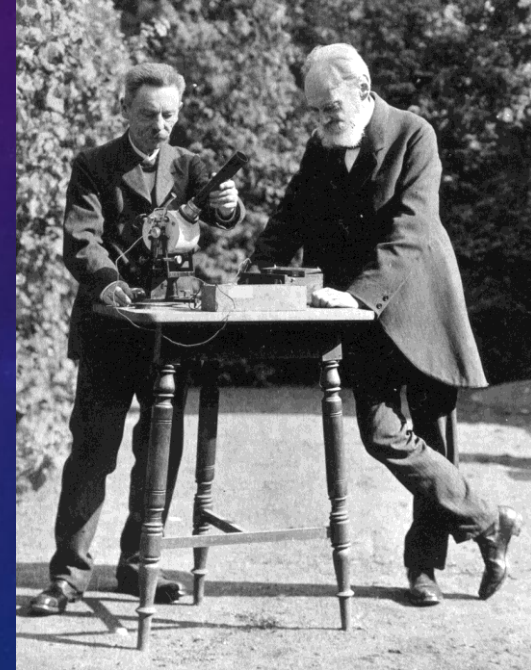
ПРИЗНАЊА

- 1903. Нобелова награда за физику заједно са Анри Бекерелом
- „Морамо се запитати да ли човечанство може имати користи од познавања сила природе или ће ово знање штетити свету“ P. Curie
- 1912. Нобелова награда за хемију



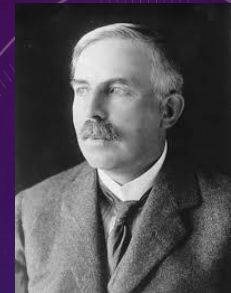
ОДАКЛЕ ПОТИЧЕ РАДИОАКТИВНОСТ?

- Етер?
- Озрачивање сунчевом светлошћу?
- Експерименти Elster & Geitel-a
- Нешто у самим атомима “производи” радиоактивност.
- М. Curie: Радиоактивност је знак да тешки атоми еволуирају у различите облике



Elster & Geitel

ШТА ЈЕ РАДИОАКТИВНО ЗРАЧЕЊЕ



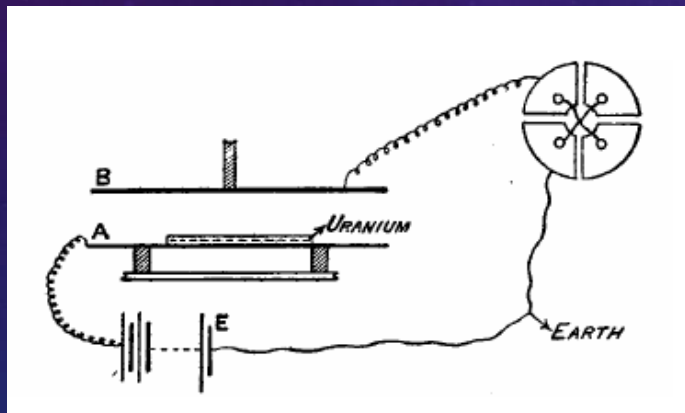
Ернест Ратерфорд је испитивао природу емисије из радиоактивних елемената U, Th и Ra преко њихове интеракције са различитим материјалима.

E. Rutherford, Philos. Mag. 47, 109

1899

Uranium Radiation and the Electrical conduction Produced by it

E. Rutherford,
(Received September, 1st, 1898)



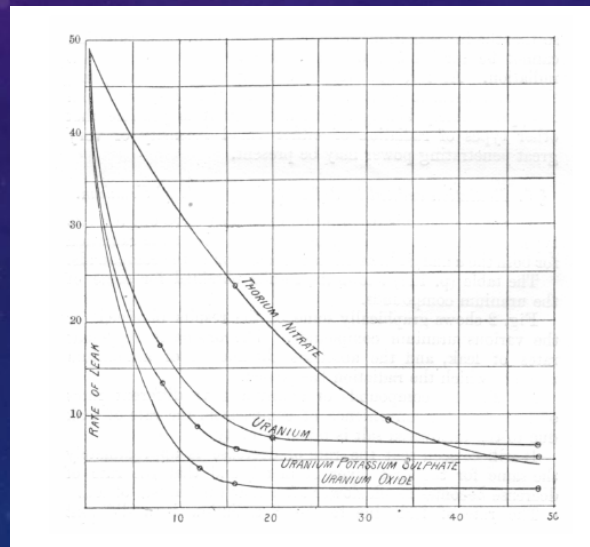
Квадрантни електрометар

Number of Layers Of Aluminium foil	Leak per min. in scale-divisions	Ratio
0	182	
1	77	0.42
2	33	0.43
3	14.6	0.44
4	9.4	0.65
12	7	

Комплексна природа зрачења уранијума!

Ернест Ратерфорд:

- Ови експерименти показују да је зрачење уранијума сложено, и да постоје **најмање две различите врсте зрачења**: једна која се веома лако апсорбује и која ће због једноставности бити названа **α зрачењем**, док ће друга која има већу продорност бити названа **β зрачењем**.
- “ β зрачење је приближно хомогеног карактера”



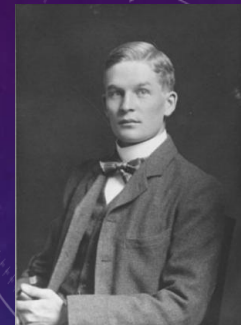
β ЗРАЧЕЊЕ

- Thompson: Катодни зраци су наелектрисане честице – “корпускуле”
- M. Curie (1899): Бекерелово (уранијумско) зрачење је састављено од делића материје.
- if (катодни зраци) = честице
 - then (Бекерелово зрачење) = честице ?
 - else (X-зрачење)
 - endif
- Скретање наелектрисаних честица у магнетном/електричном пољу → потврда

“ИНДУКОВАНА” РАДИОАКТИВНОСТ

- Радиоактивност стална и непроменљива?
- R. B. Owens: Зрачење из ThO_2 зависи од струјања ваздуха ?!
- Rutherford: “еманација”
- Све што је “еманација” додирнула постајало је радиоактивно ?!!
- Радиоактивност “еманације” опада са временом !
- Dorn 1900. “и радијум има еманацију”
- Радиоактивност уранијума и торијума потиче од нечистоћа?

ALCHEMY REVISITED

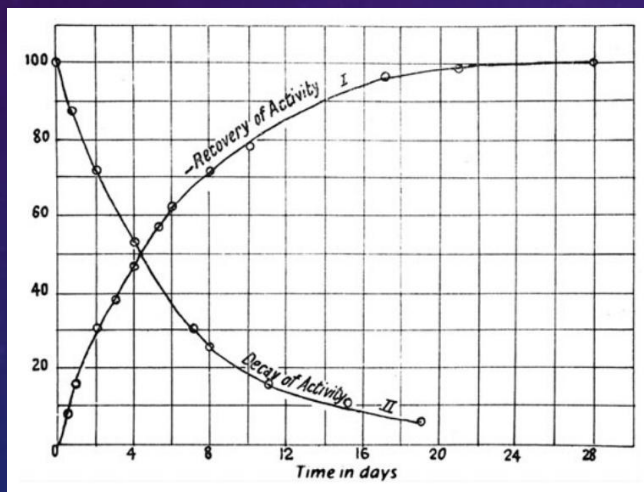


F. Soddy

- Експерименти Rutherford-Soddy
- “Еманација” није хемијски реактивна –инертни гас.
- Soddy: “Rutherford, this is transmutation: the thorium is disintegrating and transmuting itself into an argon gas.”
- Rutherford: “For Mike’s sake, Soddy, don’t call it transmutation. They’ll have our heads off as alchemists.”

НОВА АЛХЕМИЈА

- Soddy – екстракција ThX из торијум оксида-остатак неактиван.
- Giesel: Свеже изоловани радијум у почетку добија на активности

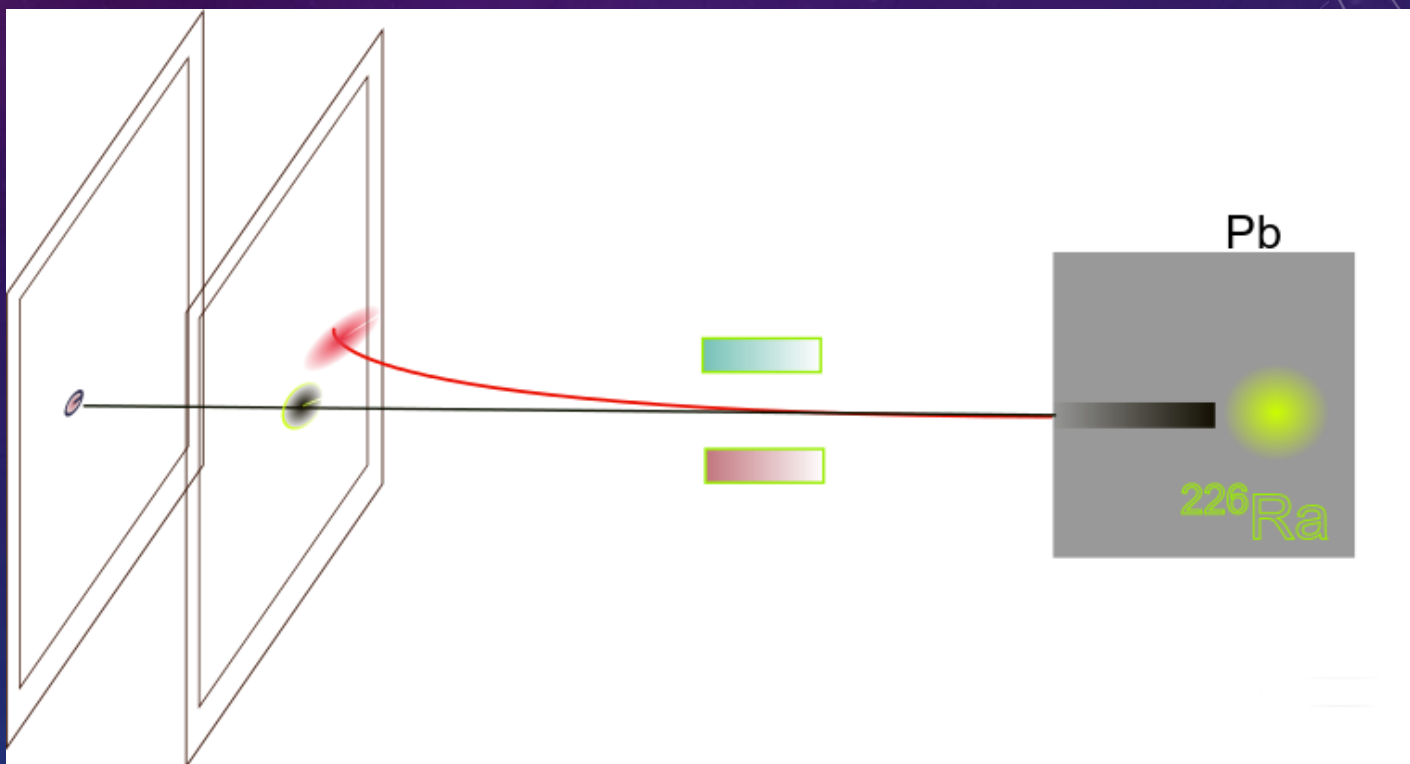


Трансмутација!

Радиоактивни
распад!

ОТКРИЋЕ γ ЗРАКА

- Paul Villard 1900.



ОСТАЛА ВАЖНИЈА ОТКРИЋА ИЗ ОБЛАСТИ НУКЛЕАРНИХ НАУКА

1905	Einstein формулише $E=mc^2$
1911	Rutherford, Geiger & Marsden – атомско језгро
1912	Wilson-маглена комора за детекцију честица
1913	Hess- космичко зрачење
1913	Soddy, радиоактивне серије, појам изотопа
1919	Rutherford - прва нуклеарна реакција у лабораторијским условима
1921	Hahn – нуклеарна изомерија
1924	de Broglie- дуалистичка природа материје
1925-1927	Паулијев принцип, Шредингера једначина
1928	Geiger-Muller детектор
1932	Chadwick – откриће неутрона
1934	I & F. Jolio-Curie- вештачка радиоактивност
1938	Hahn-Strassman – откриће фисије