Radiační biofyzika ~ radiobiologie

Přednáška 4+5

2025

QUIZ:

Q1: RTG záření:

a) Vzniká interakcí urychlených elektronů s materiálem terče (anody rentgenky)

b) Je totéž, co katodové záření, avšak vyvedené ven z rentgenky (např. Lenardovým okénkem)

c) Vzniká, pokud urychlené nabité částice, zejména elektrony, intenzivně brzdí v elektrickém poli atomů terčového materiálu (anody)

d) Vzniká, pokud je energickou částicí (elektronem) vyražen elektron z atomu cílového materiálu (anody), a to z valenční nebo jiné elektronové hladiny vzdálené atomovému jádru.

e) Vzniká, pokud je energickou částicí (elektronem) vyražen elektron z atomu cílového materiálu (anody), a to z elektronové hladiny blízké atomovému jádru.

QUIZ:

Q2: Specifické RTG záření vzniká:

a) Je-li energickou částicí (elektronem) vyražen z nějakého atomu elektron z hladiny blízké atomovému jádru. Následně dochází k zaplnění vzniklé elektronové díry přeskokem elektronu z některé z vyšších elektronových hladin, přičemž je uvolněná energie vyzářena ve formě fotonu X o specifické energii

b) Vzájemnou interakcí elektronu a pozitronu

c) Pokud mezi katodou a anodou evakuované výbojové trubice vytvoříme vysoké napětí, začnou být z katody trubice emitovány fotony se specifickou energií

d) pokud urychlené nabité částice prolétají elektrickým polem atomů, čímž dochází ke změnám dráhy jejich letu (forma zrychlení) a uvolnění energie ve formě fotonu X o specifické energii

e) Pouze při velmi energetických procesech ve vesmíru (výbuchy supernov a srážky neutronových hvězd)

QUIZ:

Q3: Brzdné RTG záření vzniká:

a) Mají-li interagující (urychlené) elektrony minimálně takovou energii, která se rovná nebo je větší než vazebná energie elektronů terčového materiálu na hladinách K, L, M.

b) Decelerací elektronů (případně i jiných nabitých částic) v cílovém materiálu, a to již při nižších energiích, než jsou nutné k produkci specifického RTG záření.

c) Pouze pokud se foton přiblíží do blízkosti atomového jádra

d) pokud urychlené nabité částice prolétají elektrickým polem atomů, čímž dochází ke změnám dráhy jejich letu (forma zrychlení) a uvolnění energie ve formě fotonu X o specifické energii

e) Pouze jako vedlejší produkt na při srážkách částic na velkých urychlovačích

QUIZ:

Q4: Radiodiagnostika je založená na:

a) Comptonovu rozptylu (rozdílném rozptylu fotonů X v různých tkáních)

b) Fotoefektu (rozdílné absorbci fotonů X v různých tkáních)

c) Rozdílně efektivní produkci elektron pozitronových párů, k níž dochází přiblíží-li se foton X k atomovému jádru

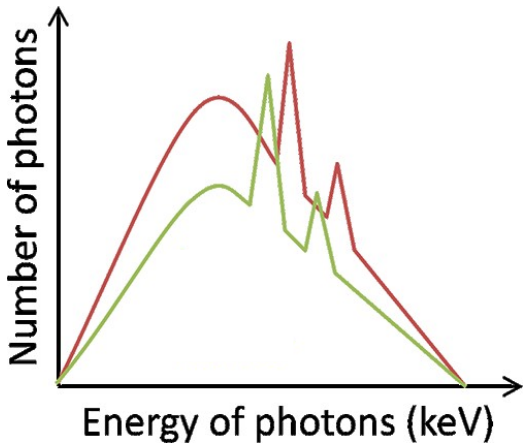
d) Různě intenzívní ionizaci atomů v různých tkáních těla

e) Různě intenzívní excitaci atomů v různých tkáních těla

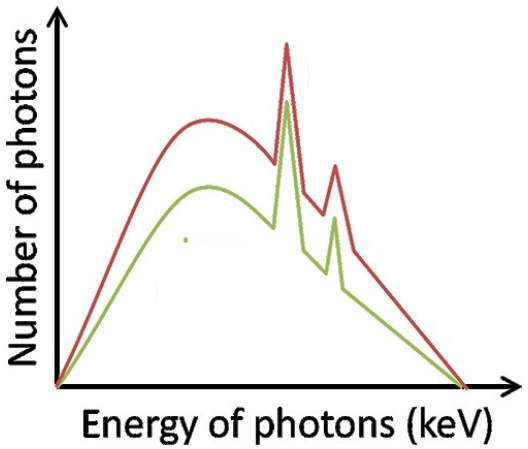
QUIZ:

Q5: Pokud budeme zvyšovat urychlovací napětí mezi katodou a anodou rentgenky, budeme pozorovat následující změny spektra produkovaného RTG záření:

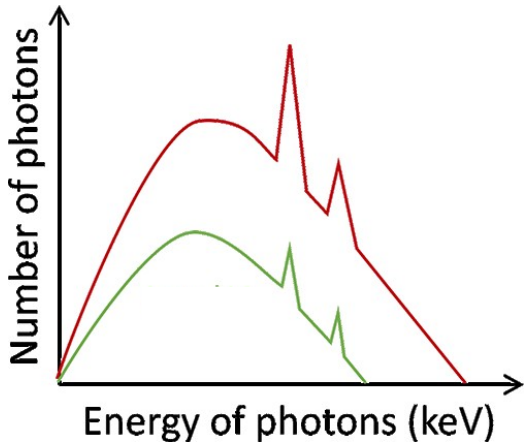
a)



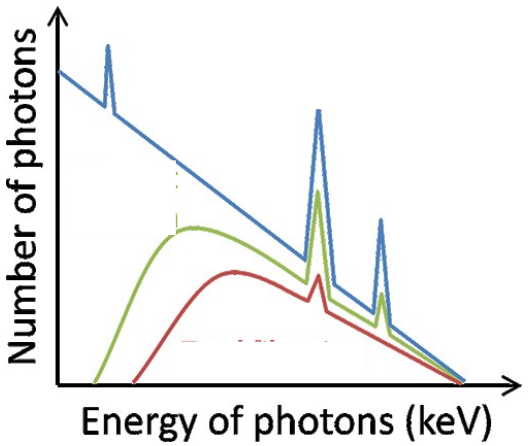
b)



c)



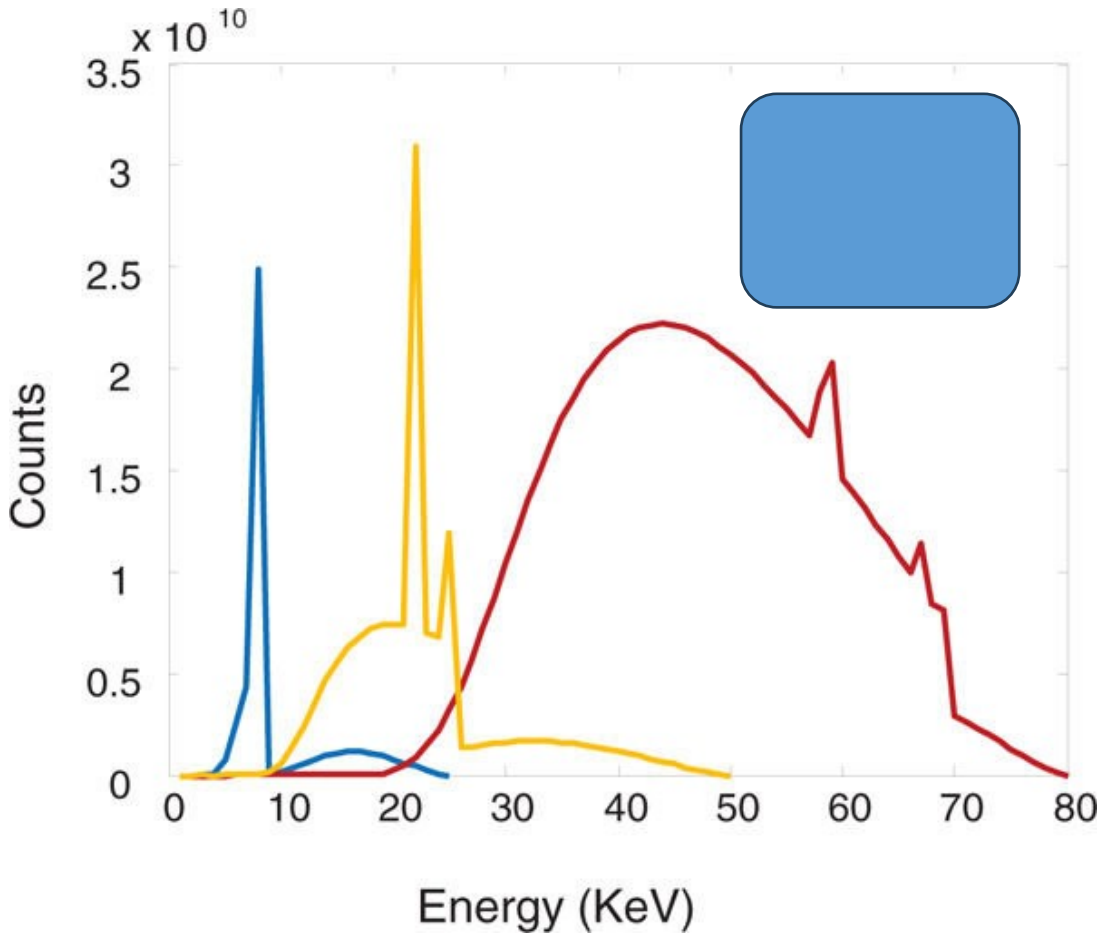
d)



QUIZ Q6

Změny RTG spektra uvedené na obrázku můžeme pozorovat pokud měníme:

- A) katodový (žhavící) proud
- B) materiál katody
- C) urychlovací napětí mezi anodou a katodou
- D) materiál anody
- E) hodnotu vakua v rentgence
- F) rozsah filtrace nízkých, diagnosticky nevyužitelných energií RTG záření za účelem snížení expozice pacienta



QUIZ:

Q7: Spektrum brzdného RTG záření má:

a) Spojitý charakter, s maximální energií danou součinem e.U [keV]

b) Charakter diskrétních maxim (píků) energeticky odpovídajících přeskokům specifických elektronů zahrnutých v produkci RTG záření

c) Spojitý charakter, s maximem (píkem) v oblasti maximální energie (dané součinem e.U [keV])

d) Diskrétní charakter, jde-li o filtrované RTG záření (eliminace fotonů X nízkých energií)

e) Spojitý charakter z něhož vystupují periodicky se opakující triplety peaků

QUIZ:

Q8: Při dopadu urychlených elektronů (vytržených z katody) na anodu rentgenky vzniká především:

a) Brzdné RTG záření
b) Katodové záření
c) Anodové záření
d) Teplo
e) Specifické RTG záření
f) Čerenkovovo záření

	Breaking radiation X-rays (Bremsstrahlung)	**Characteristic (specific) X-rays**
occurs due to	**Acceleration (deflection/breaking) of incident electrons** by the electromagnetic field of the target (anode) atoms; Coulomb interactions between negatively charged e- and positively charged nuclei of anode atoms. In general: Charged particle (here an electron) is slowed down or deflected by the e.m. field of a charged nucleus or another charged particle.	**Electron transitions between inner shells of the target (anode) atoms**. The **accelerated e- knocks out a specific e-** from the inner electron shell of an atom (anode). This creates a "hole" after the original e-, which is immediately filled by the transition ("jump") of an e- from a higher energy level (shell) to minimize the atom's energy. The energy released by the jump is emitted in the form of an X-ray photon.
contribution	**dominant** component	**minor** component; appears only at higher energies, sufficient to eject electrons from inner electron "shells" (high energetic levels)
spectrum	**continuous**, with E_{max} (λ_{min}) given by the kinetic energy of the accelerated e- [The maximum energy in kiloelectron volts (keV) is numerically equal to the voltage difference between the anode and the cathode in kilovolts peak (kVp); average E is about 1/3 of E_{MAX}] **(later in this lecture)**	**discreet (discontinuous/line spectrum)**, peaks characteristic for a given element **(later in this lecture)**
the reason for the given character of the spectrum	Electrons travel at different distances from the nuclei of the anode atoms - **their trajectories are therefore deflected/curved to varying degrees** and the electrons are braked with different intensities; X-photons of different energies (continuous spectrum) are thus generated	Electrons in an electron shell have different energies, specific to elements. the energy required to eject a certain e- is therefore exactly given. In the same way, the energy of the transition ("jump") of another electron, which fills the "hole" after the ejected electron, is also given. Hence, **by knocking out specific electrons, X-ray photons of a specific energy (peaks in the spectrum) are created**.
the shortest wavelength is given	**Voltage applied to the tube (anode voltage)**. **Does NOT depend on the:** a) nature of gas in tube, b) atomic (Z) number of the target (anode) element, c) cathode voltage (also see below)	**The energy of the most energetic transition ("jump") in the electron shell** of the anode atoms. **Does NOT depend on the:** kinetic energy of accelerated e-, i.e., anodic voltage (see below)
"anodic" voltage (the potential difference across the tube) and the speed of e-	**Determines the energy of accelerated e- and** thus the "intensity of breaking", i.e., maximum and average energy of **X-ray photons**. Anodic voltage also increases non-specific production (the amount) of e- at the anode.	**No effect** once the energy of the accelerated e- is sufficient to eject the electrons from the target (anode) atoms. However, the energy of X-ray photons depends only on the energy of jumps in the atoms of the anode (see below)
material of anode (Z number)	**↑Z(anode) increases Bremsstrahlung but no efect on energies**	**↑Z(anode) → ↑E(R-Ray$_{ch}$)**

Vlastnosti RTG záření (paprsky X)

- RTG záření je pronikavé elektromagnetické záření o velmi krátkých vlnových délkách 10^{-11} m to 10^{-8} m (0.01 – 10 nm) a vysokých frekvencích.
- prochází hmotou i vakuem, jeho intenzita slábne se čtvercem vzdálenosti od zdroje
- šíří se přímočaře
- má ionizační účinky (což znamená, že množství energie, které nese, stačí na uvolnění elektronu z atomu).

Efekty RTG záření:

- **Luminiscenční efekt.** Rentgenové záření má schopnost přeměnit se na viditelné záření, ale pouze při interakci s určitými látkami.
- **Fotochemický efekt.** Působením RTG záření na fotografický materiál dochází ke změnám v jeho chemickém složení.
- **Ionizační efekt.** Energie, kterou rentgenové záření nese, je postačující k ionizaci atomů nebo molekul ozářené látky. To znamená, že při působení na elektricky neutrální atomy se z nich stávají elektricky nabité ionty.

Absorption of X-rays

- The intensity (**I**) of an X-ray beam as it passes through any homogeneous substance is proportional to **the distance traversed** (***x***)

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

e = Euler number

where **μ** is called the **linear absorption coefficient** and is dependent on the target material, its density, and the wavelength of the X-rays (short waves penetrate better)

$$I_x = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x}$$

μ/ρ is **called the mass absorption coefficient** and is a constant of the material independent of its physical state (solid, liquid, or gas)

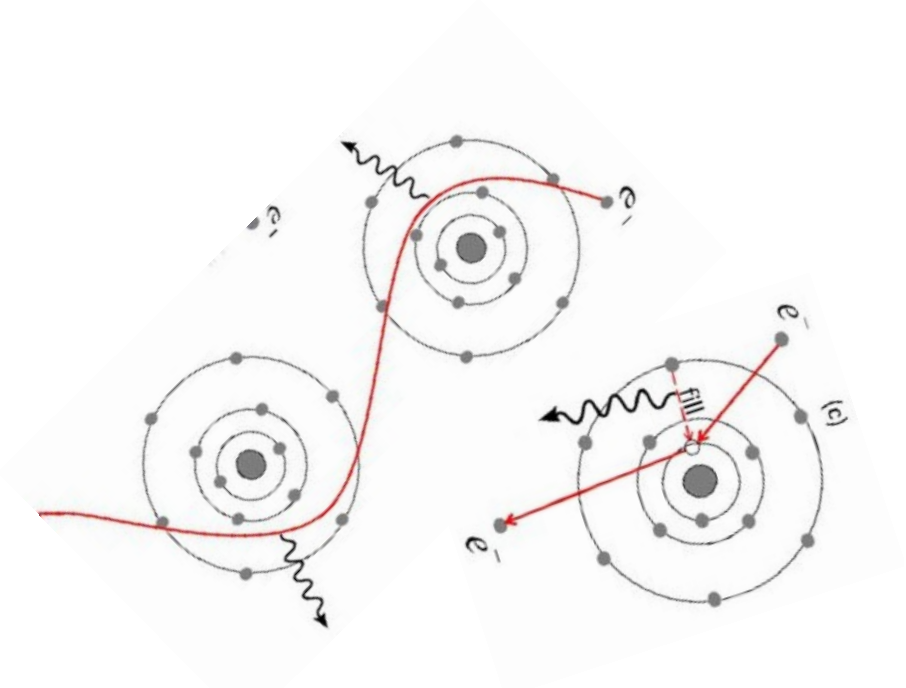
$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = w_1\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + w_2\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 + \cdots = \sum_{j=1} w_j\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_j$$

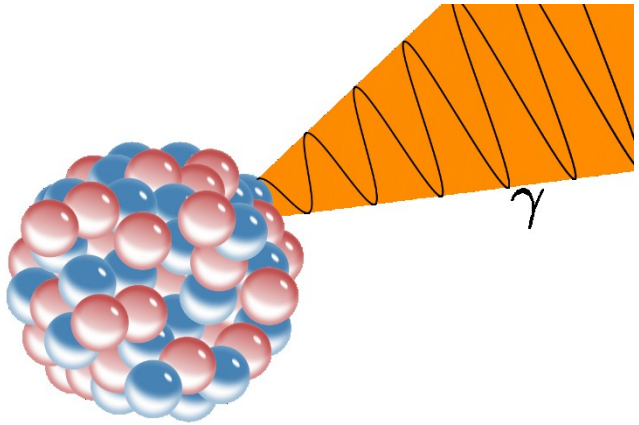
mass absorption coefficient for compounds containing two or more elements:
weight ratio w_j for each element j, using the bulk density, ρ

Tvrdé záření RTG (<0,01 nm = E >100 keV) vs. záření gama

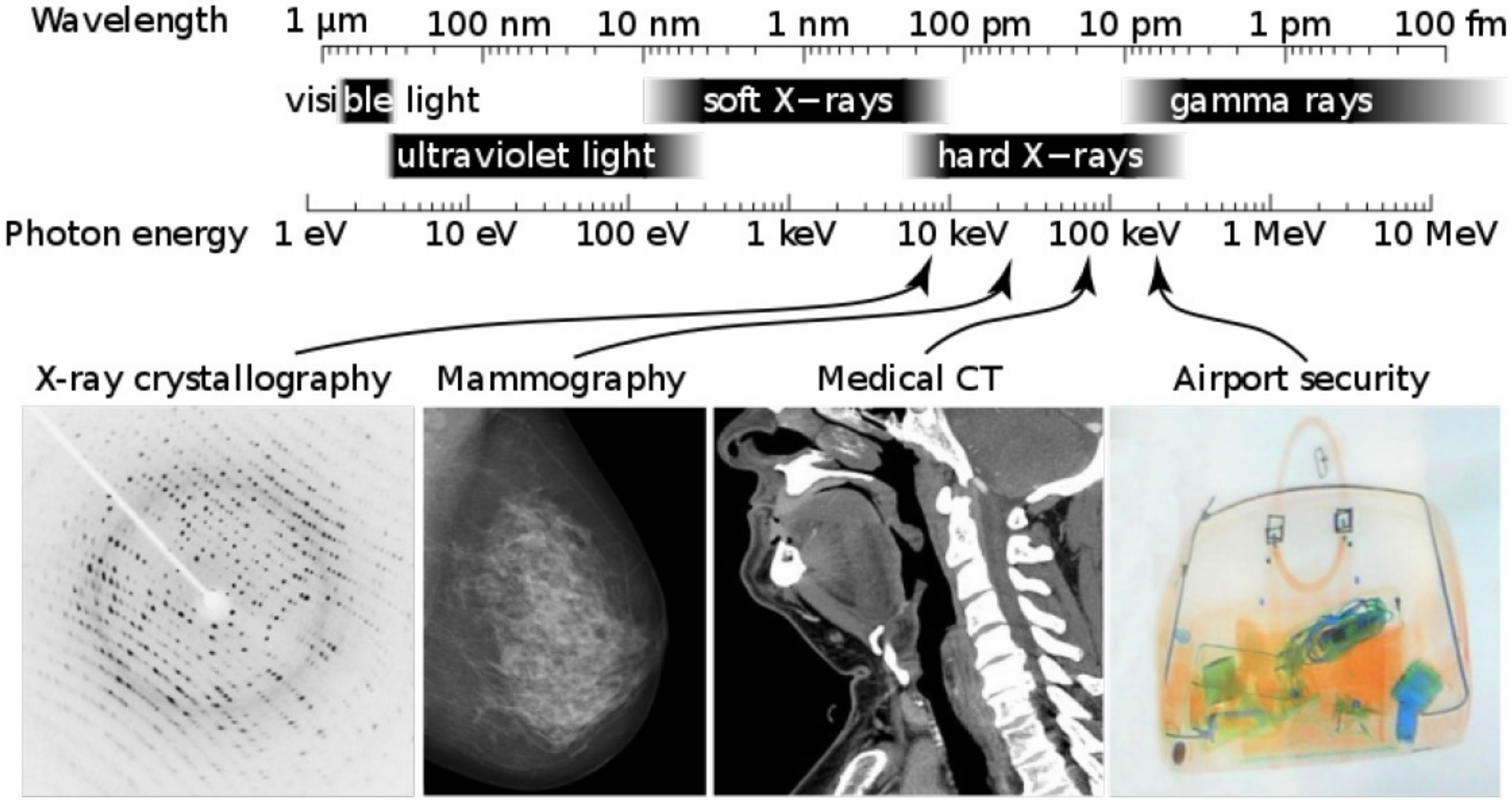
- Vlnové délky nejenergičtější části RTG záření se částečně překrývají s vlnovými délkami záření gama. RTG a gama záření není rozlišováno podle energie (častá chyba vyučovaná na středních školách)
- **Rozlišujeme je však podle původu**:
- RTG: vzniká v elektronovém obalu atomu (excitace/ionizace → deexcitace s emisí RTG fotonu),
- záření gama: vzniká následkem deexcitace atomového jádra

X





γ


Wavelength
1 µm
100 nm
10 nm
1 nm
100 pm
10 pm
1 pm
100 fm
visible light
soft X−rays
gamma rays
ultraviolet light
hard X−rays
Photon energy
1 eV
10 eV
100 eV
1 keV
10 keV
100 keV
1 MeV
10 MeV
X-ray crystallography
Mammography
Medical CT
Airport security

Měkké a tvrdé RTG záření

- Roentgenovy trubice mohou být vyčerpány buď více nebo poněkud méně
- v prvním případě **(vysoké vakuum) vzniká tvrdé RTG** záření (<0.1 nm)
- v druhém případě **(nižší vakuum) měkké RTG** záření (>0.1 nm)
- **Měkké RTG trubice**: vydávají paprsky, které jsou hustými tělesy snadno pohlcovány, tak že dávají např. obrázky ruky velmi pěkné, s ostře vyznačenými rozdíly mezi kostmi a masem
- **tvrdé RTG trubice**: vysílají paprsky, které jsou poměrně málo pohlcovány a proto nejsou obrazy lidského těla příliš zřetelné

The dependence of the absorption coefficient on the wavelength of X rays

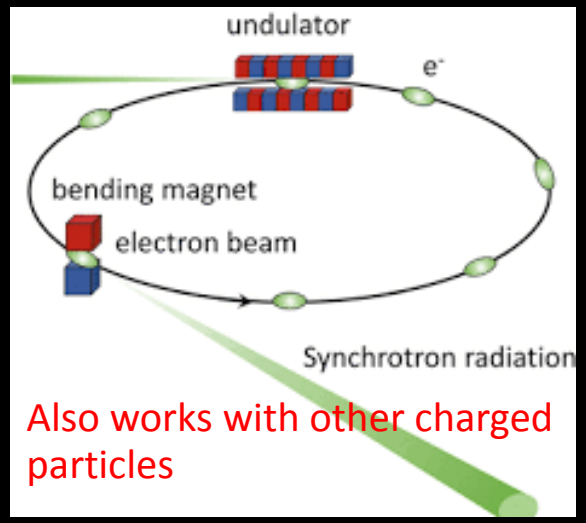
The **absorption coefficient varies with wavelength** approximately according to a relation of the form

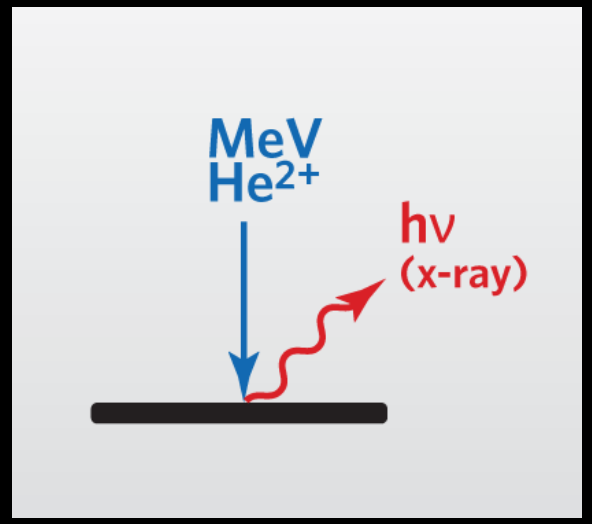
$$\frac{\mu}{\rho} = k\lambda^3 Z^3$$

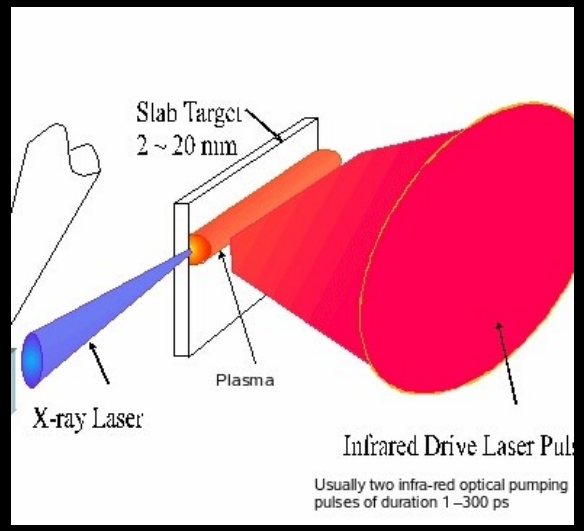
where k = constant, Z = atomic number of absorber

Soft and hard X-rays

Definition of X-rays by source (not entirely correct)







"X-rays are generated by accelerated e-" (?)

- In fact, X-rays come from one of several processes that usually, but not always, involve e-.
- Indeed, X-rays can be produced also by
  - **other charged particles interacting with atomic nuclei** (Bremsstrahlung X-rays; PIXE)
  - **"non-electron" excitation of atomic e-** (characteristic X-rays, e.g., **LASER-induced X rays**)
  - and **charged particles interacting with magnetic fields** (e.g., synchrotron X-rays and cyclotron X-rays)*

*At a synchrotron, intense X-rays are the desired product, while at particle accelerators they are a by-product complicating research

“DARK LIGHTNINGS” Terrestrial gamma-ray flash

Stephan K.D. et al. Hazards to Aircraft Crews, Passengers, and Equipment from Thunderstorm-Generated X-rays and Gamma-Rays. *Radiation* 2021, *1*(3), 162-173; https://doi.org/10.3390/radiation1030015

Pro pobavení

https://zoom.iprima.cz/zajimavosti/blesky-gama-zareni-110471

Blesky vytvářejí radioaktivní gama paprsky. Konečně víme, jak vznikají

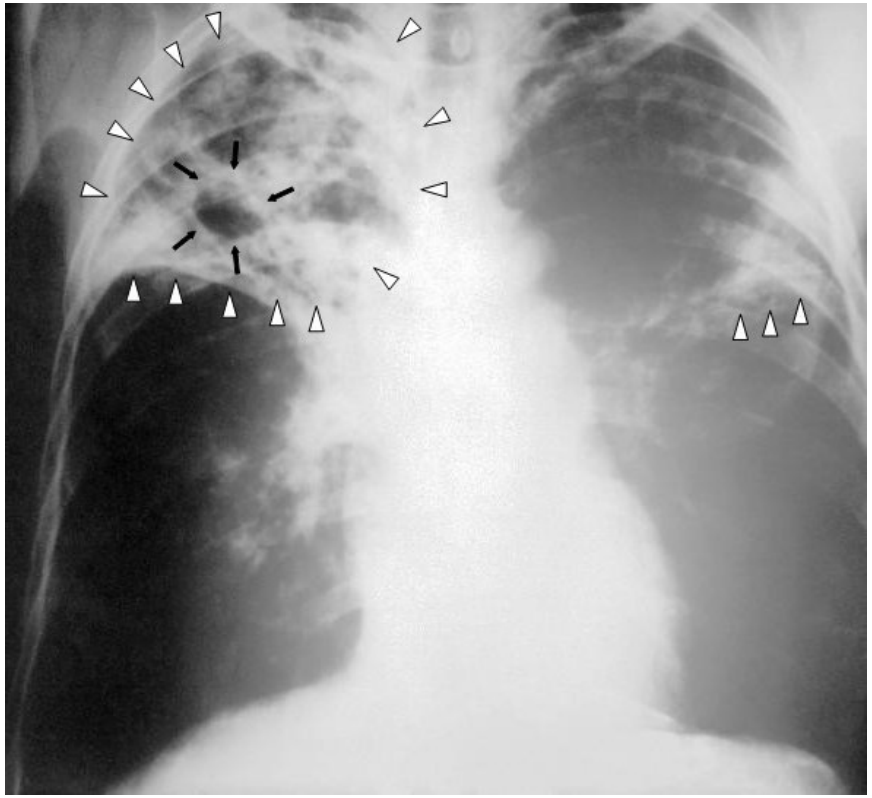
Adam Vala

PRVNÍ MEDICÍNSKÉ APLIKACE ZÁŘENÍ-X (RTG)

PRVNÍ LÉKAŘSKÁ APLIKACE RTG

- Lancet, 23. ledna 1896
- Roentgenovy paprsky použity pro detekci úlomku nože v páteři opilého námořníka, který byl po rvačce díky tomuto zranění paralyzován, dokud mu nebyl úlomek vyjmut.
- Poté se RTG diagnostika prudce rozvíjí jak v Evropě tak USA

Just Months After Its Discovery, the X-Ray Was in Used in War



Chest X-ray of a person with advanced tuberculosis: Infection in both lungs is marked by white arrow-heads, and the formation of a cavity is marked by black arrows.

A technician takes an X-ray fluoroscope of a female patient. Fluoroscope exams delivered much more radiation exposures than modern X-rays. (National Cancer Institute, public domain)

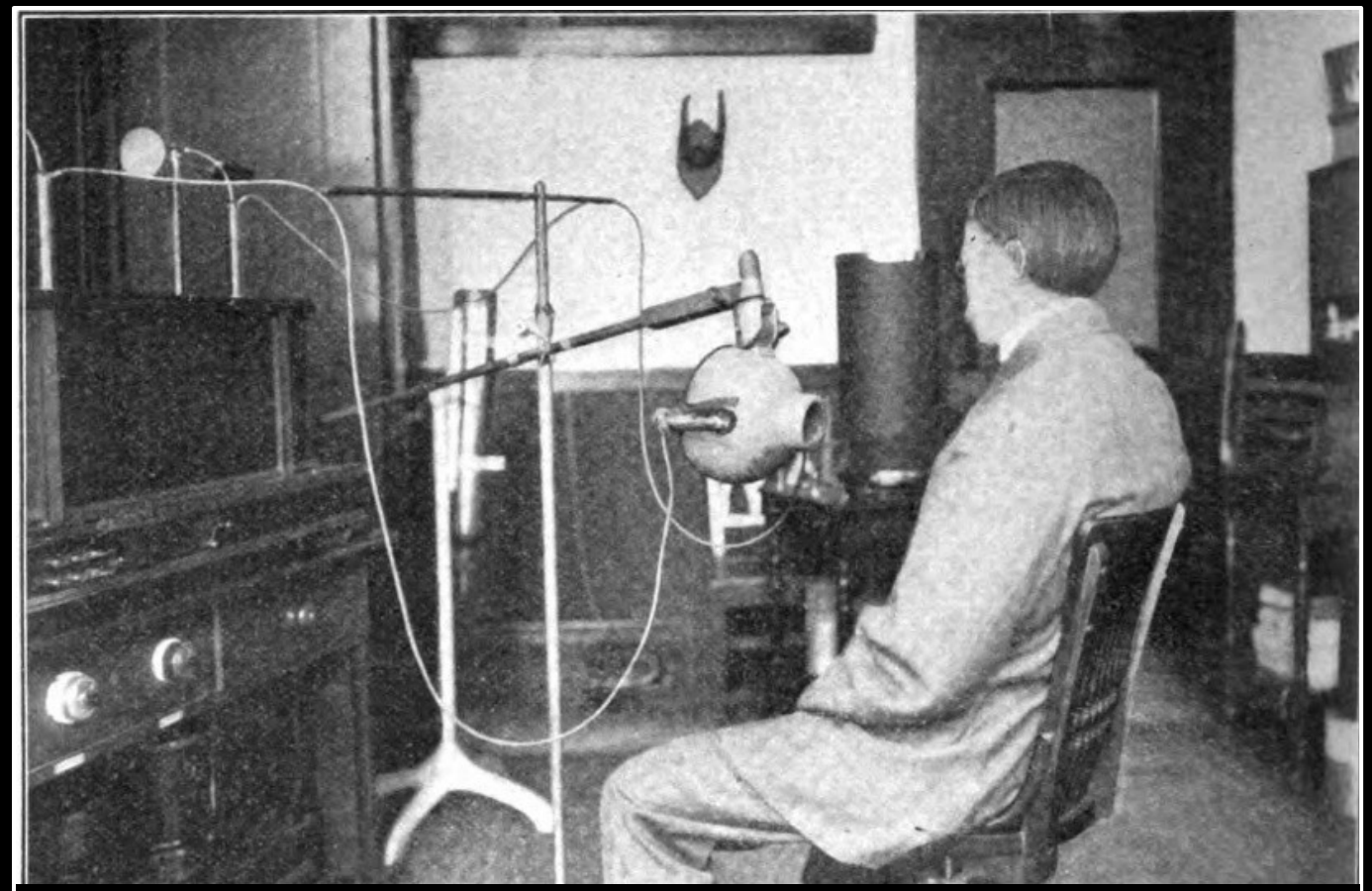
X-Rays in current medicine

- Various imaging methods
- **Sciagraphy** (z řeckého *skiá* (σκιά) – „stín“ a *grafie* – „záznam“)
- **skiascopy** (classical X-ray on screen, higher doses) – přímé pozorování
- **CT** (computed tomography)
- **Mammography**
- **Angiography** (with contrast agents, higher doses)
- etc.

Radioterapie paprsky X

Research Article: https://www.birpublications.org/doi/epdf/10.1259/bir.1926.0081

X-ray apparatus used for treatment of epithelioma of the face, 1915. The tube is in a localizing shield, and a perforated sheet of metal is securely fashioned to the surface by adhesive plaster

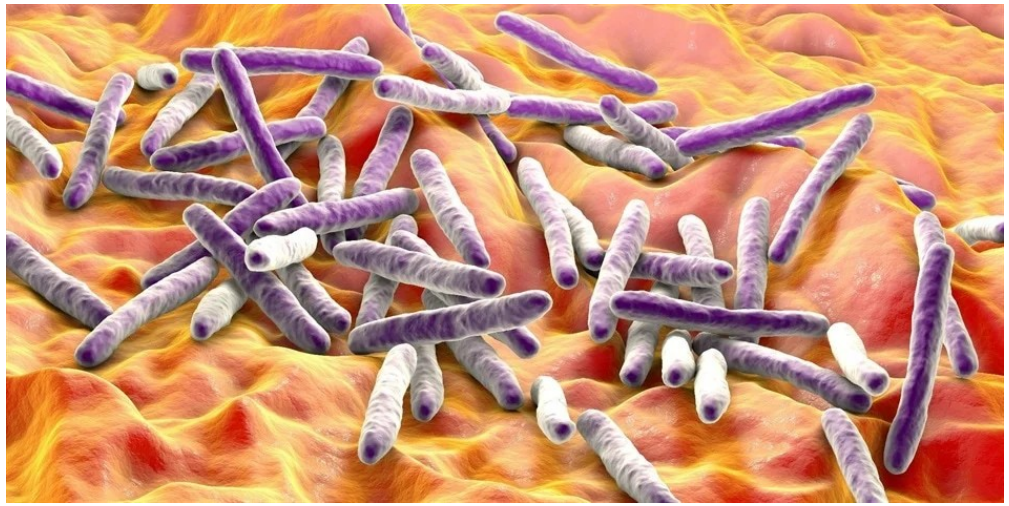


X-ray treatment of tuberculosis in 1910

RADIOTHERAPY OF TUBERCULOSIS

MM. Robert Coliez et Lucien Mallet 345

https://www.birpublications.org/doi/abs/10.1259/bir.1926.0081?journalCode=bir



Mycobacterium tuberculosi

Organism viability began to decrease at radiation levels of 10 Gy…

https://doi.org/10.1378/chest.66.3.240

THE RADIOTHERAPY OF PULMONARY TUBERCULOSIS.*

By Prof. Vittorio Maragliano, Genoa.

SINCE the early days of the Röntgen discoveries, the radiotherapy of pulmonary tuberculosis has been the goal, hitherto unattained, of many research workers.

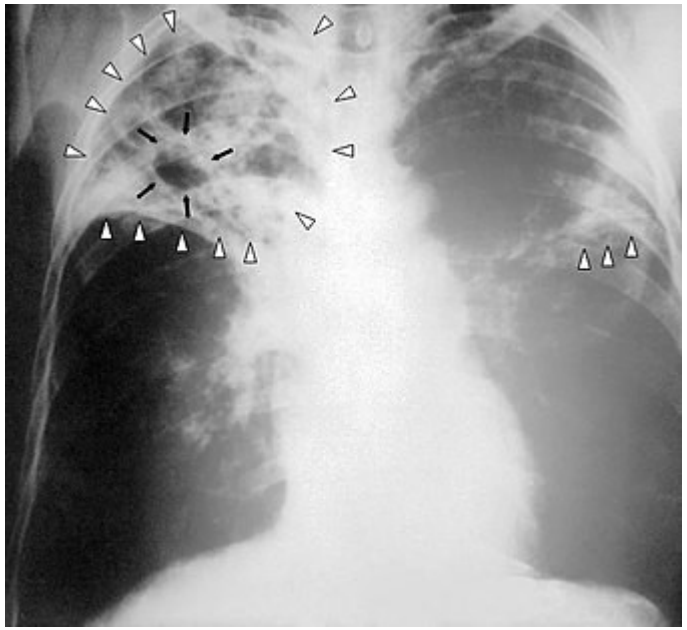
Among Italian investigators alone, we have Viganò, Fornari, Attili, Gortan and Brunetti, while numerous foreigners, and more especially Bacxmeister and Fraenkel, have devoted themselves assiduously to the study of this problem.

1. The rays promote the neo-formation of connective pulmonary tissue and consequently the process of sclerosis or fibrosis, as it is sometimes called.

2. The rays augment the defensive substances circulating in the blood. This end is attained by subjecting to the influence of the rays the hæmatopoietic organs and especially the spleen, in accordance with the theory of Manouchkin, who admits that by means of such radiation the lysis of the white globules is accelerated, as is also the entry into circulation of the defensive substances contained in these globules. Moreover, the systematic radiation of the spleen would also, according to Stephan, have the effect of increasing the coagulating power of the blood, thus preventing hæmoptysis as far as possible. (Gortan, Brunetti, etc.)

* Read before the First International Congress of Radiology, London, 1925.

IR and Tuberculosis



International Journal of Mycobacteriology 4 (2015) 337–340

HOSTED BY

ELSEVIER

Available at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/IJMYCO

Short Communication

Reactivation of pulmonary tuberculosis during cancer treatment

Ramon E.A. Jacobs [a,*], *Ping Gu* [b], *Abraham Chachoua* [b]

[a] *Department of Medicine, Division of General Internal Medicine, New York University School of Medicine, New York, NY, USA*
[b] *Department of Medicine, Laura and Isaac Perlmutter Cancer Center, Division of Hematology and Medical Oncology, New York University School of Medicine, New York, NY, USA*

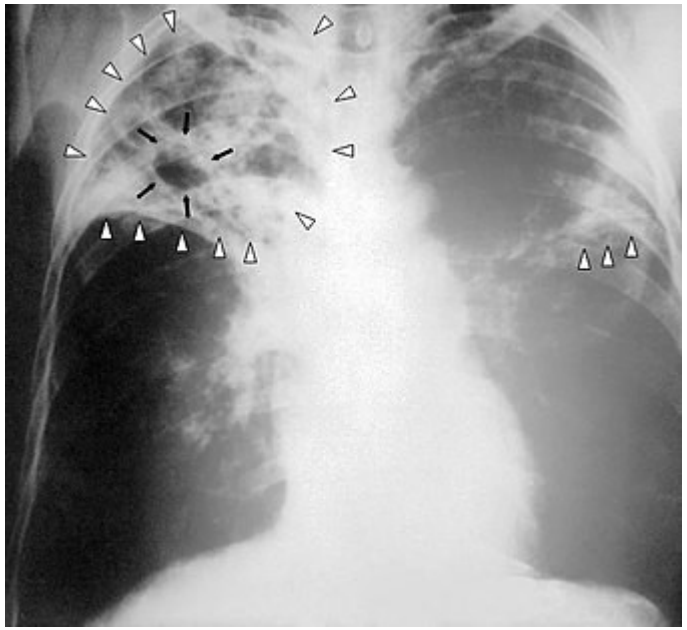
ARTICLE INFO

Article history:
Received 19 May 2015
Received in revised form
25 May 2015
Accepted 30 May 2015
Available online 18 July 2015

ABSTRACT

Reactivation of *Mycobacterium tuberculosis* can occur in patients with latent tuberculosis (TB) with risk factors including chronic disease (i.e., malignancy). We herein describe the case of an immigrant from Hong Kong with lung cancer and no known TB disease who presents with reactivation of TB in the setting of chemotherapy and radiation therapy.

IR and Tuberculosis



International Journal of Mycobacteriology 4 (2015) 337–340

HOSTED BY

ELSEVIER

Available at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/IJMYCO

Short Communication

Reactivation of pulmonary tuberculosis during cancer treatment

Ramon E.A. Jacobs [a,*], *Ping Gu* [b], *Abraham Chachoua* [b]

[a] *Department of Medicine, Division of General Internal Medicine, New York University School of Medicine, New York, NY, USA*
[b] *Department of Medicine, Laura and Isaac Perlmutter Cancer Center, Division of Hematology and Medical Oncology, New York University School of Medicine, New York, NY, USA*

ARTICLE INFO

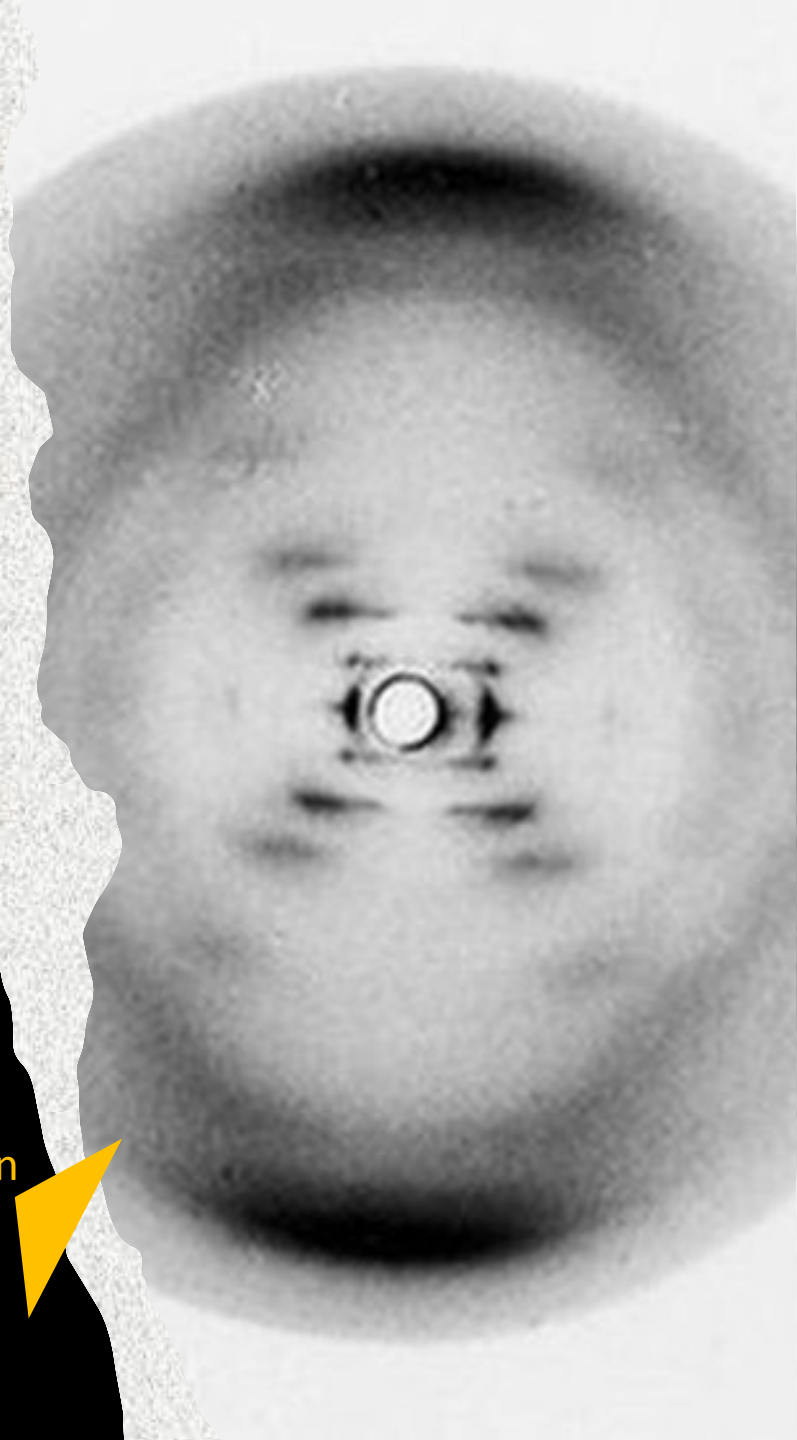
Article history:
Received 19 May 2015
Received in revised form
25 May 2015
Accepted 30 May 2015
Available online 18 July 2015

ABSTRACT

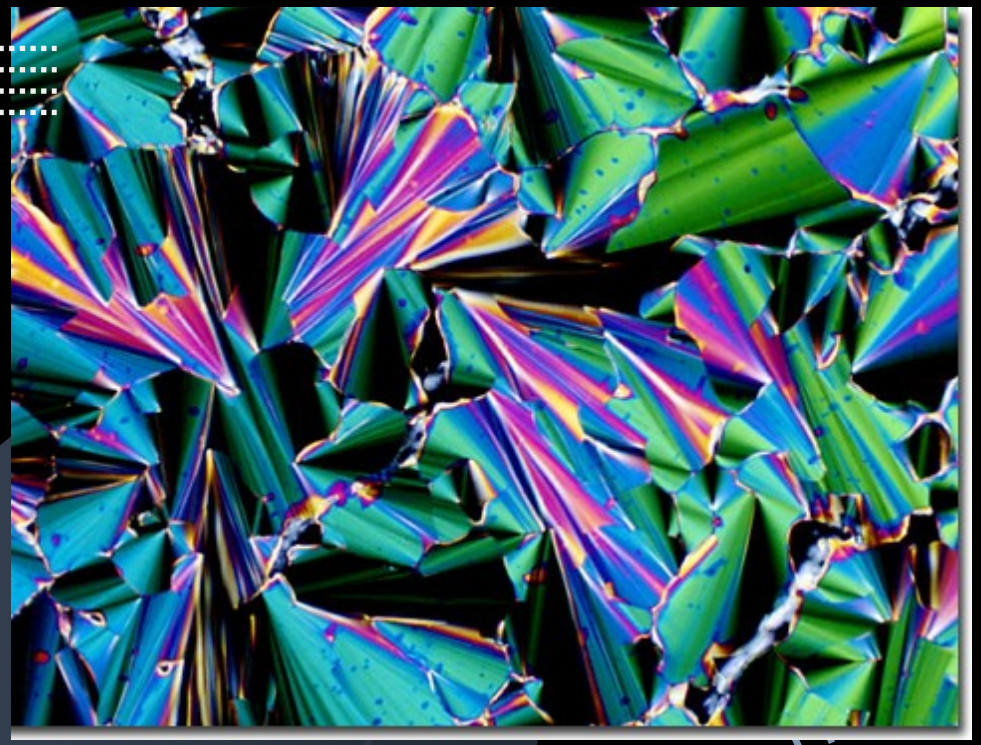
Reactivation of *Mycobacterium tuberculosis* can occur in patients with latent tuberculosis (TB) with risk factors including chronic disease (i.e., malignancy). We herein describe the case of an immigrant from Hong Kong with lung cancer and no known TB disease who presents with reactivation of TB in the setting of chemotherapy and radiation therapy.

The first X-ray image - Mrs. Roengen's hand with the wedding finger.

The famous first X-ray “portraits”



The well-known Photo 51, the diffraction pattern from DNA in its so-called B configuration.



DNA crystals. Polarized light micrograph of crystalline DNA. Magnification x25 at 6x7cm size.

A gradual transition from blue to green shades in the focal conic texture of this liquid crystalline DNA specimen are indicative of a progressive thickness gradient. Note the yellow and blue bands in some portions of the texture, which are evidence of a variation in the molecular organization of the mesophase. The DNA concentration for this specimen is approximately 400 milligrams per millimeter, and the magnification is approximately 200x. The digital image presented above was originally recorded on Fujichrome 64T transparency film using a Nikon Optiphot-Pol microscope with crossed polarized illumination.

DNA Crystals

e Discovery of DNA double helix

In 1962 **J. Watson** (b. 1928), **F. Crick** (1916–2004), and **M. Wilkins** (1916–2004) jointly received the **Nobel Prize in Physiology or Medicine for their 1953 determination of the structure of deoxyribonucleic acid (DNA).**

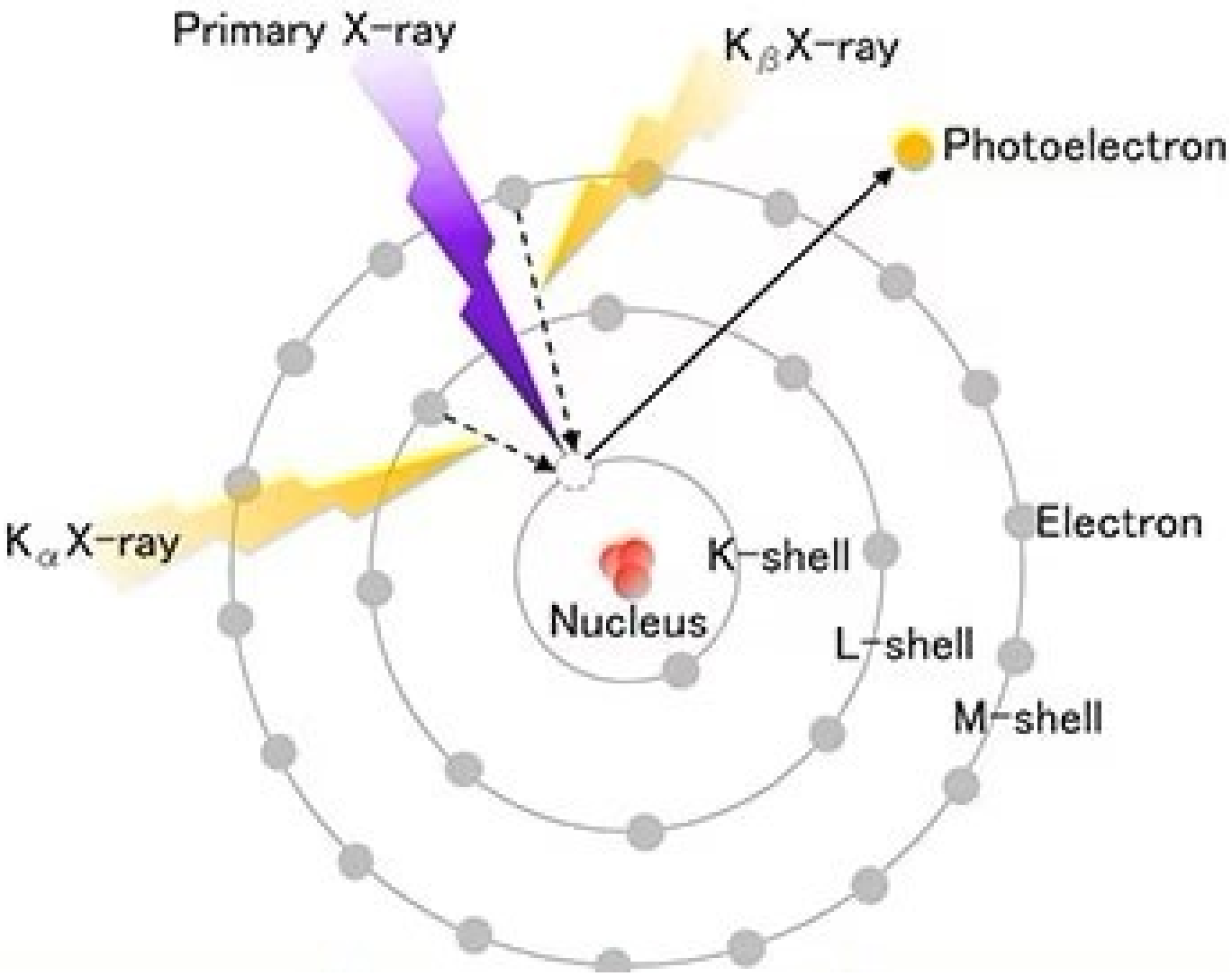
Ye s

Ye s

Ye s

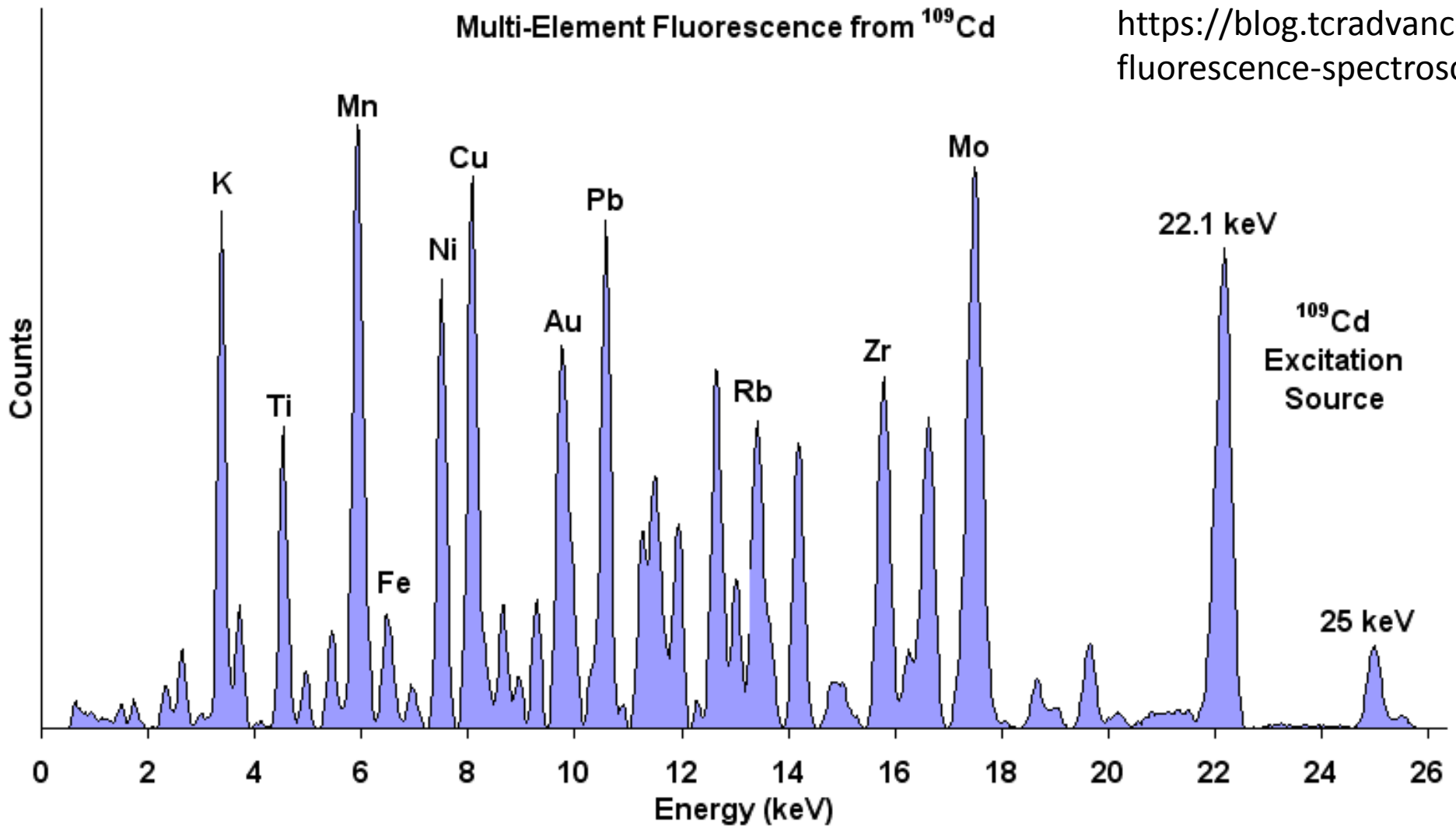
Rosalind Franklin

XRF, X-ray fluorescence spectroscopy / microscopy



XRF is a method that uses characteristic X-rays (fluorescent X-rays) generated when X-rays irradiate the analyzed substance.

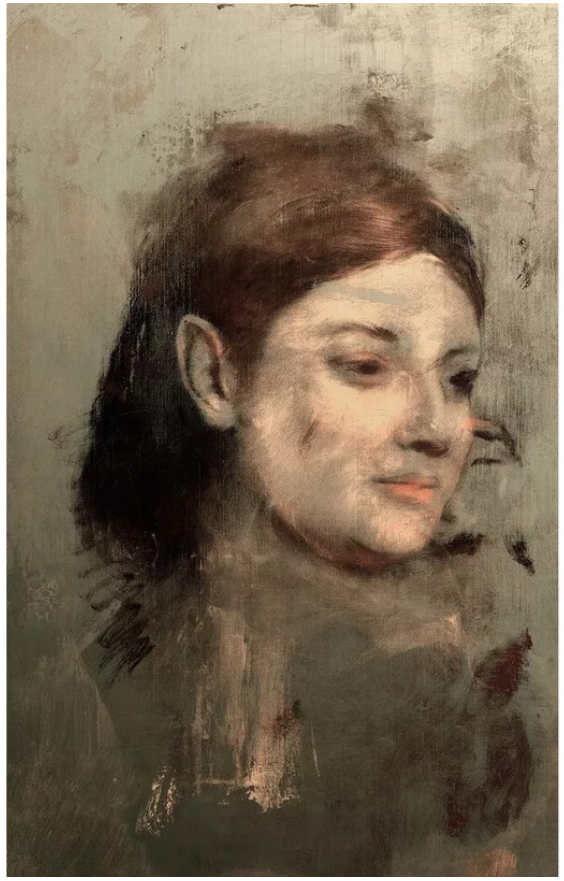
- XLF can be thought of as **spectrochemical analysis within an X-ray region**.
- It has the same characteristics as atomic absorption spectrometry and optical emission spectrometry except that the sample does not need to be dissolved in a solution to be analyzed.

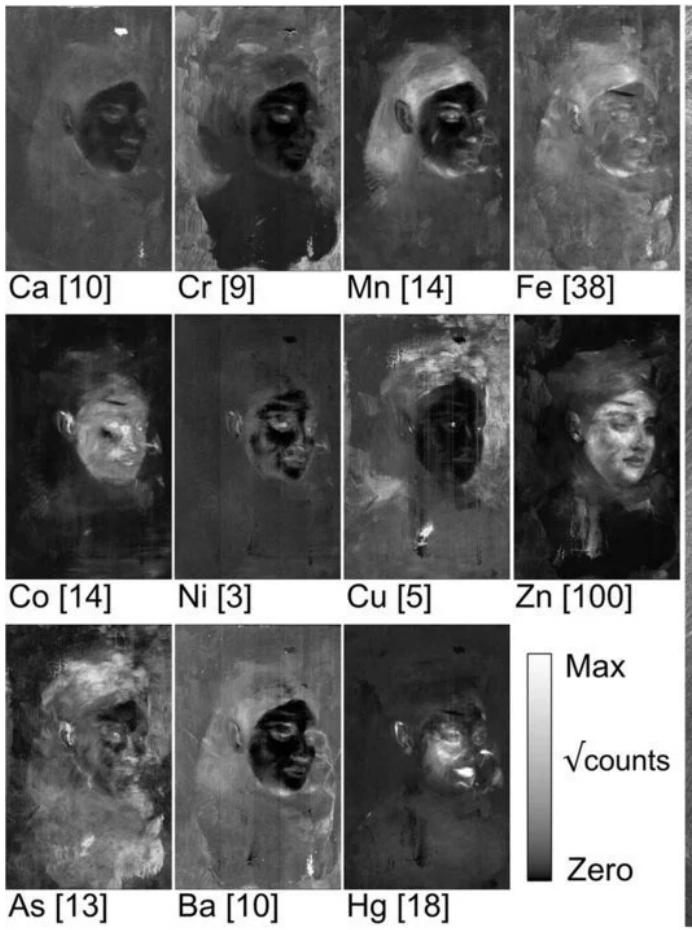


https://blog.tcradvanced.com/x-ray-fluorescence-spectroscopy-xrf/

For quantitative analysis several samples of known element concentration are subjected to measurements using XRF and a correlation is developed between the intensity of the measured element's fluorescent X-rays and its concentration in the sample. Based on the calibration curve drawn, the concentration of various elements present in an unknown sample is found out.

X-rays reveal the secrets of works of art





a

b

Using specialized X-ray imaging, a team of researchers in Australia has revealed a striking painting of a woman's face hidden under **French Impressionist** **Edgar Degas**' ***Portrait of a Woman***.

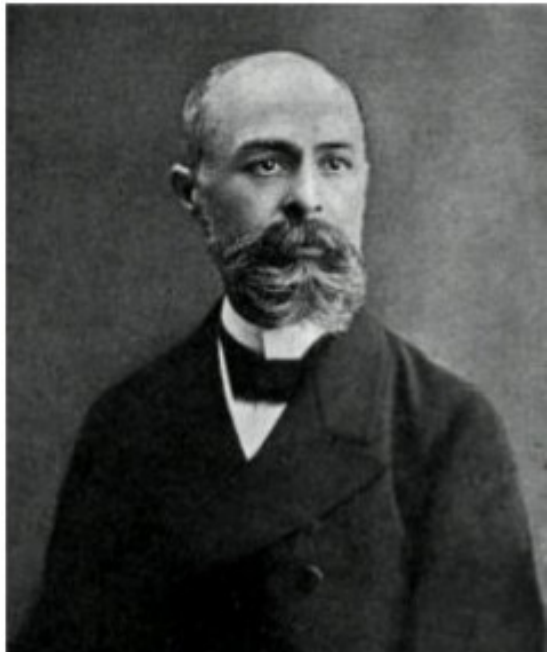
Radiační biofyzika 2
Objev přirozené radioaktivity a další vývoj

Martin Falk, falk-at-ibp.cz, Biofyzikální ústav AVČR, Brno

18. května 1896, Antoine Henri Becquerel

Objev přirozené radioaktivity

(1852/12/15 - 1908/08/25)



How can such a "nothing spot" lead to a Nobel Prize?

Inspirace pro Becquerelův objev

1. FASCINACE OBJEVEM „MAGICKÝCH“ PAPRSKŮ X

- Wilhelm Conrad Röntgen krátce předtím zjistil, že záření vznikající při průchodu elektronů vakuovou trubicí dokáže pronikat pevnými látkami a zanechávat stopy na fotografické desce, stejně jako obyčejné světlo. Snímek kostí ruky i s kovovým prstenem jeho manželky obletěl svět a uvedl vědce do varu. Záření, které dokáže zobrazovat věci dosud neviditelné!
- 20. února 1895. Jako řádný člen francouzské Akademie věd se Becquerel spořádaně dostavil na zasedání této ctihodné instituce, aby tu vyslechl přednášku svého kolegy a přítele jeho otce Henriho Poincarého [poňtaré] o Röntgenových pokusech s katodovými paprsky.

Další inspirace pro Becquerelův objev

EXPERIMENTY světélkování látek ve slunečním světle JEHO OTCE.

(otcem H.B. byl Alexandre Edmond Becquerel, 1820-1891, též významný fyzik)

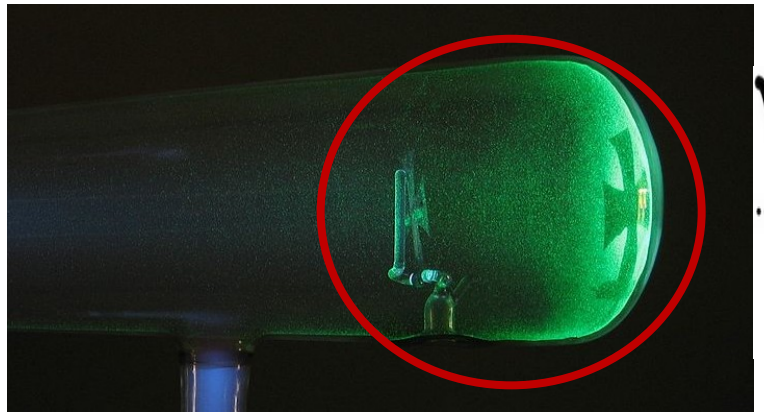
Hanne

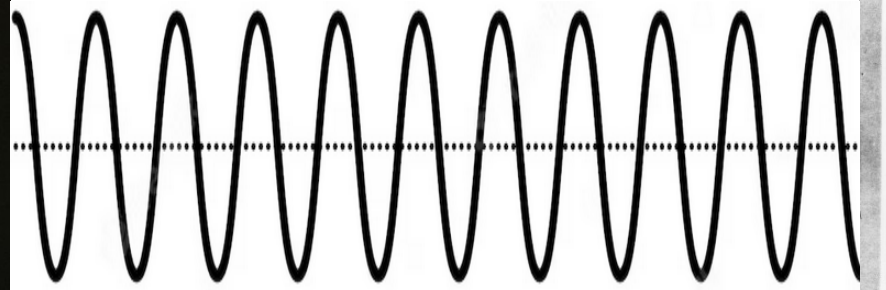
Becquerel's idea

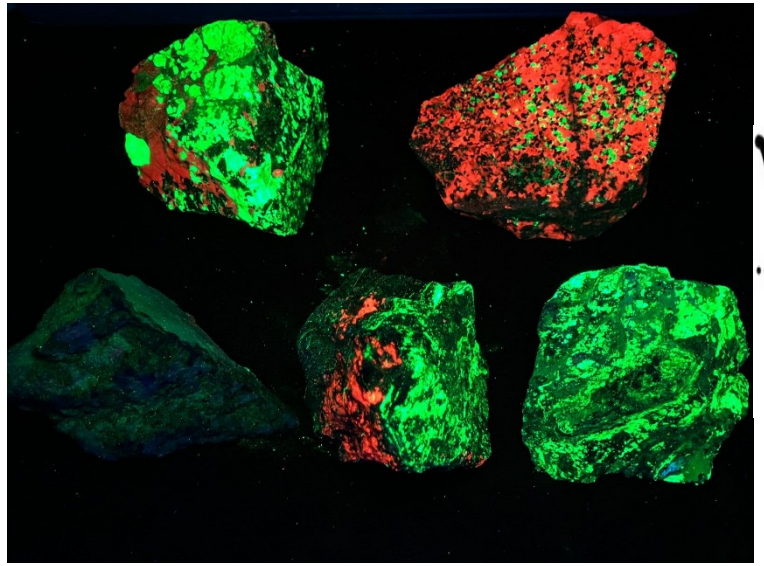
Catodic rays
+ X-rays !

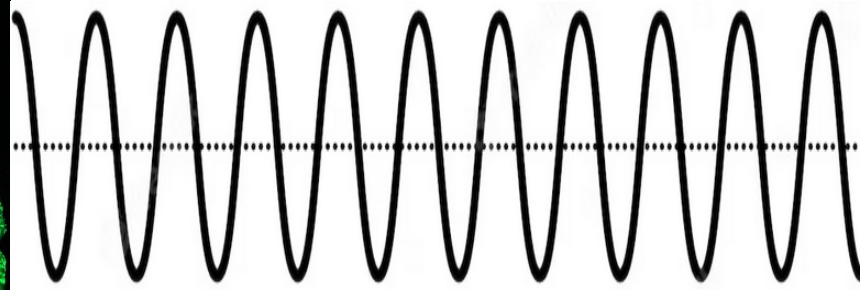
(+)

(-)





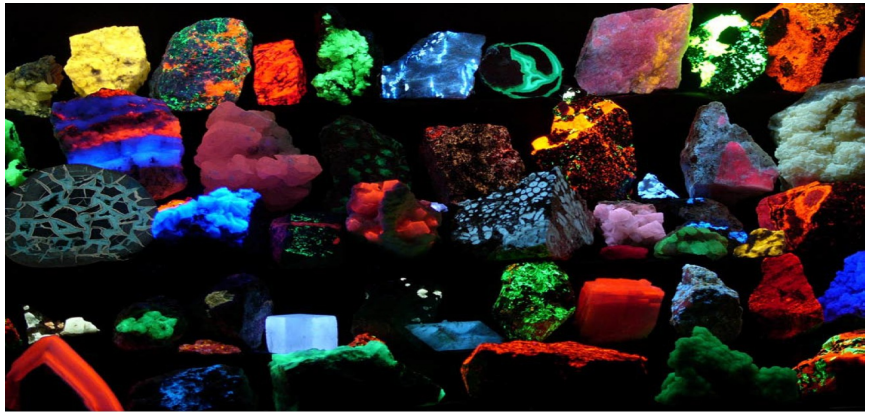


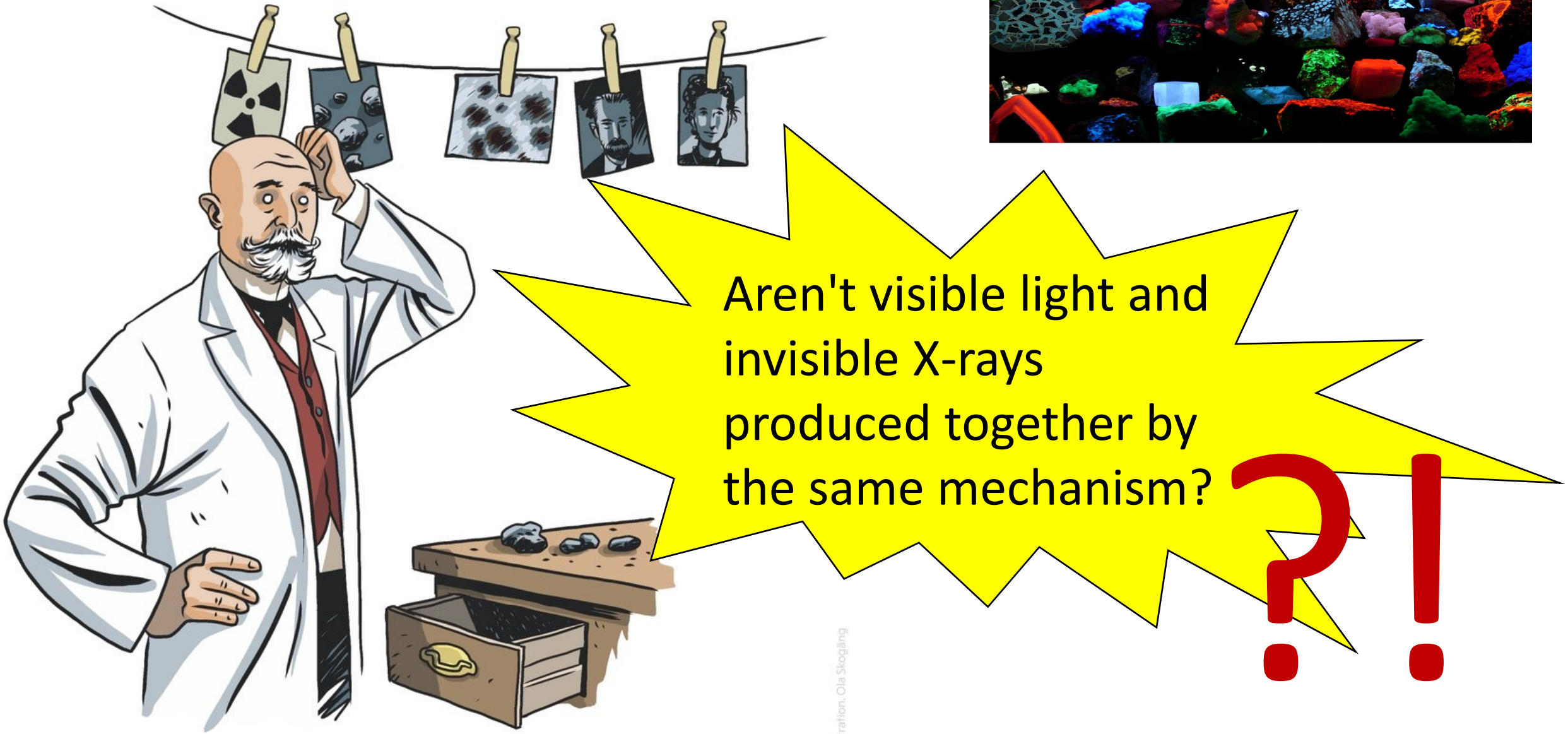


?

Phosphorescence
+ X-rays ???

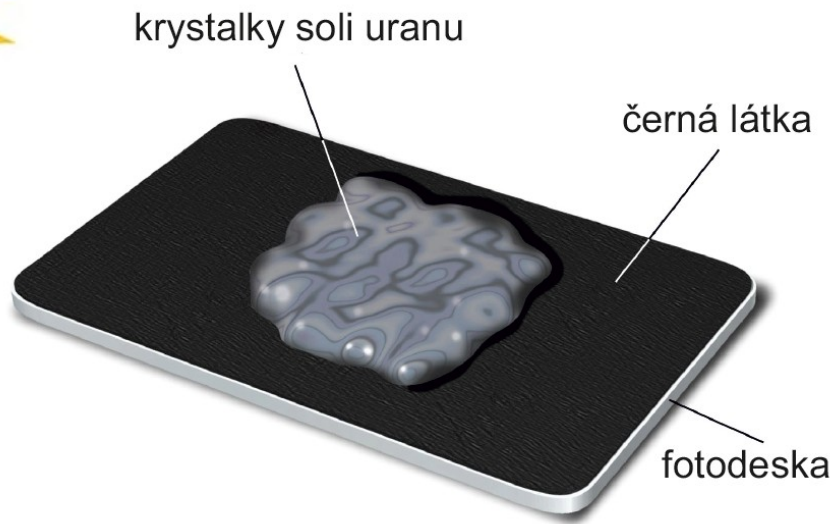
H. Becquerela tak napadlo, zdali světélkující nerosty také nevydávají paprsky X….





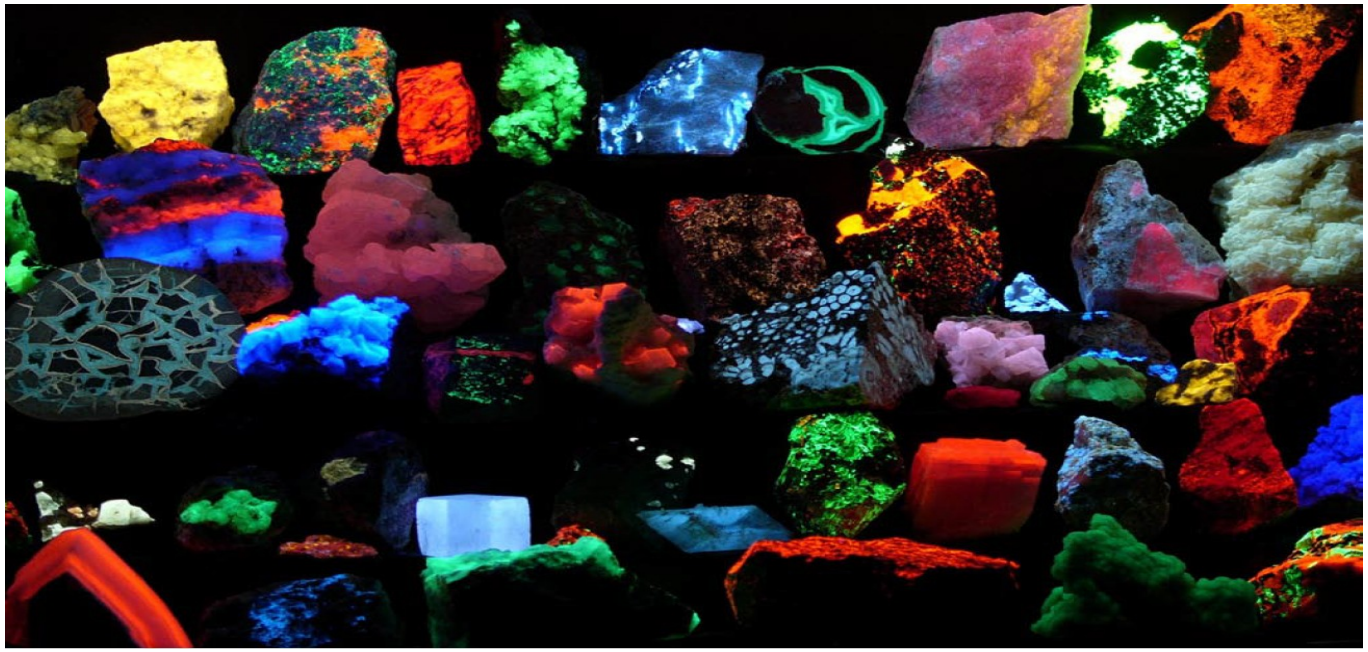
EXPERIMENT 1:

Nejprve si myslel, že nerosty mohou vydávat tajemné neviditelné záření jen tehdy, když viditelně světélkují.



Epochální Becquerelův experiment

- Dal vybrané kameny z otcovy sbírky na slunce, a **když se dostatečně "nasvítily" a začaly samy pěkně zářit**,
- položil je na světlotěsně zabalené fotografické desky (alternativně: dal důkladně světlotěsně zabalení fotografické desky na několik hodin na slunce)
- a po čase je vyvolal



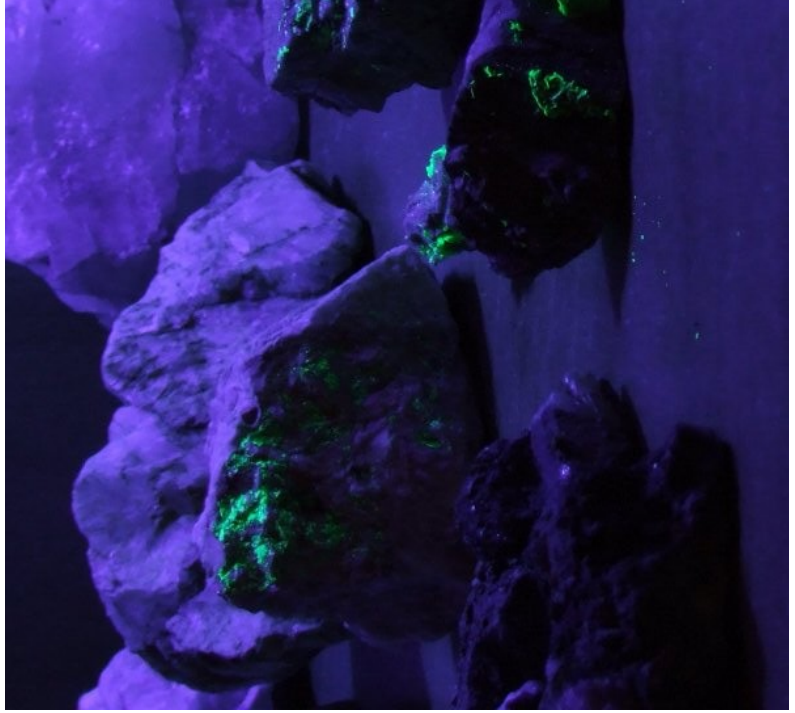
VÝSLEDEK BECQUERELOVA EXPERIMENTU:

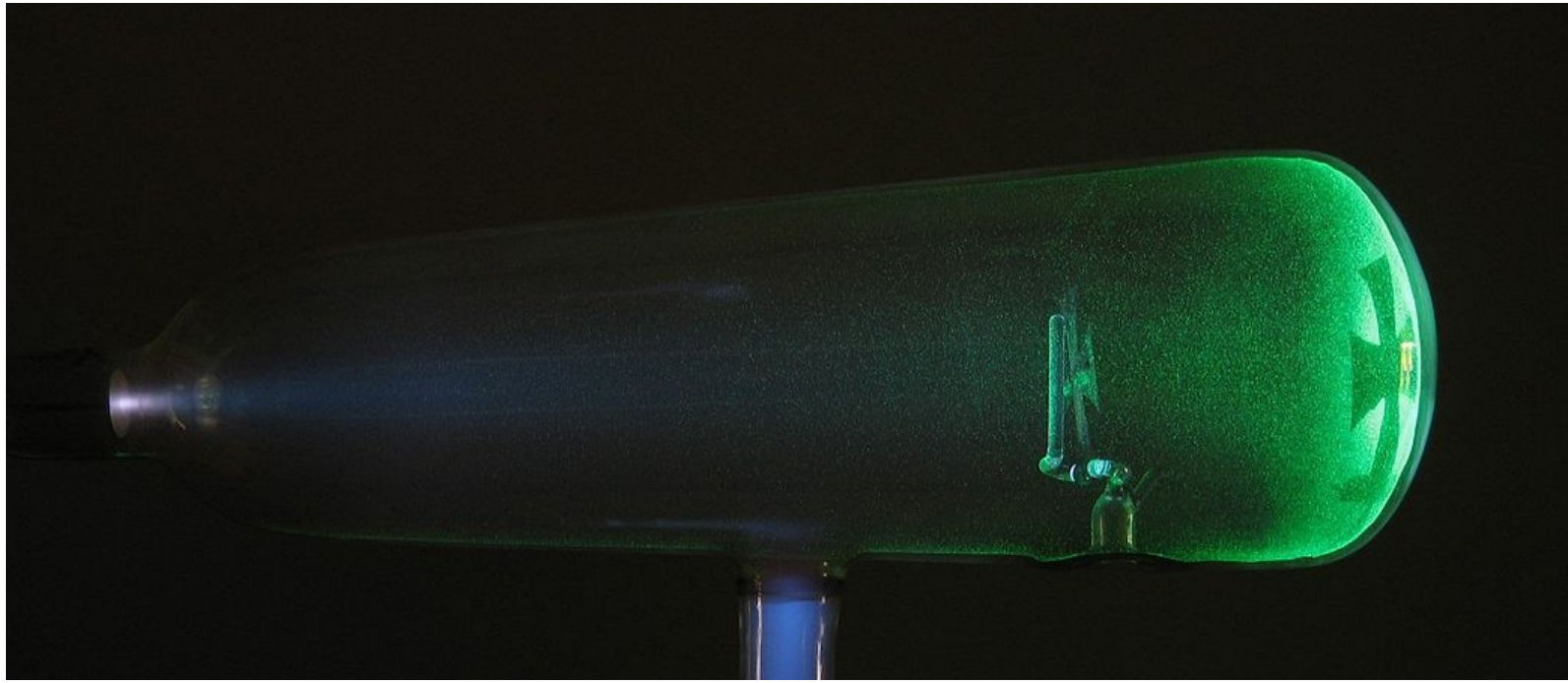
Nestačil divit!!

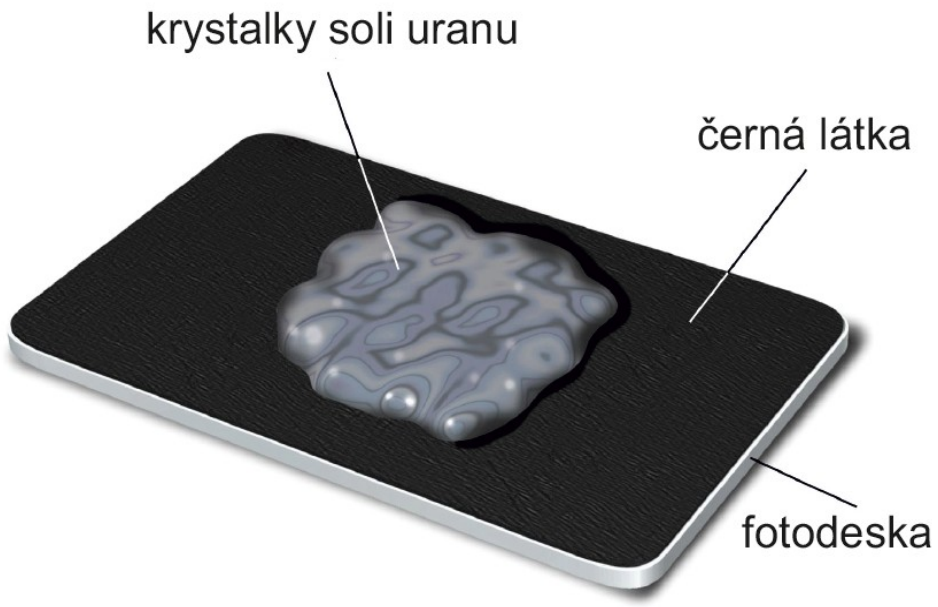
Většina desek zůstala naprosto nezměněná, **jen pod několika vzorky zčernaly**

EXPERIMENT II.

- Uranové soli a sklo pod UV-světlem světélkují podobně jako katodový konec trubice emitující paprsky X,
- to H. B. fascinovalo a dovedlo ho to k vykonání dalšího převratného experimentu…







Becquerelův experiment. Soli uranu osvítily zakrytou fotografickou desku.

Ukázalo se, že jde o fluoreskující **soli uranu**!

Becquerelovo záření

- Becquerel se podivným zářením z nitra uranu dál intenzívně zabýval a zjistil, že:
  - **černání fotografických desek způsobují všechny sloučeniny obsahující uran, zatímco luminiscencí se vyznačují jen některé jeho soli**
  - **Jiné fosforeskující látky naopak neznámé záření nevyzařovaly**

Becquerelův experiment

- Rok po Poincarého přednášce (24. února 1896) Becquerel informoval Akademii o svém objevu:

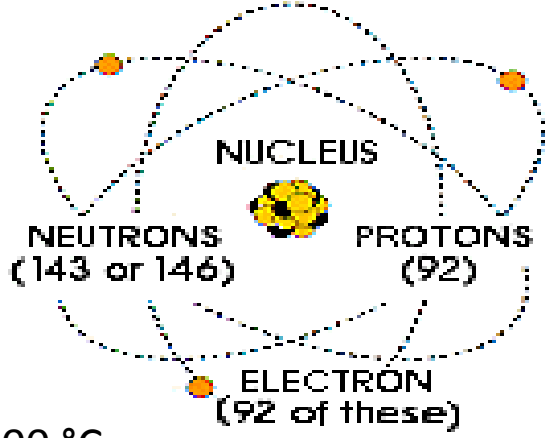
"Uran vydává záření pronikající hmotou i bez vysokého napětí katodové trubice."

- To byl nepochybně významný poznatek, ale k objevu přirozené radioaktivity stále ještě nesměřoval.
- <u>Becquerel se totiž stále ještě domníval, že záření souvisí s luminiscencí uranových solí</u>
- vedly ho k tomu i chyby v jeho experimentech týkajících se vlastností objeveného záření (Martins, Roberto de Andrade. „ BECQUEREL'S EXPERIMENTAL MISTAKES „ in Historical Essays on Radioactivity. Extrema: Quamcumque Editum, 2021.

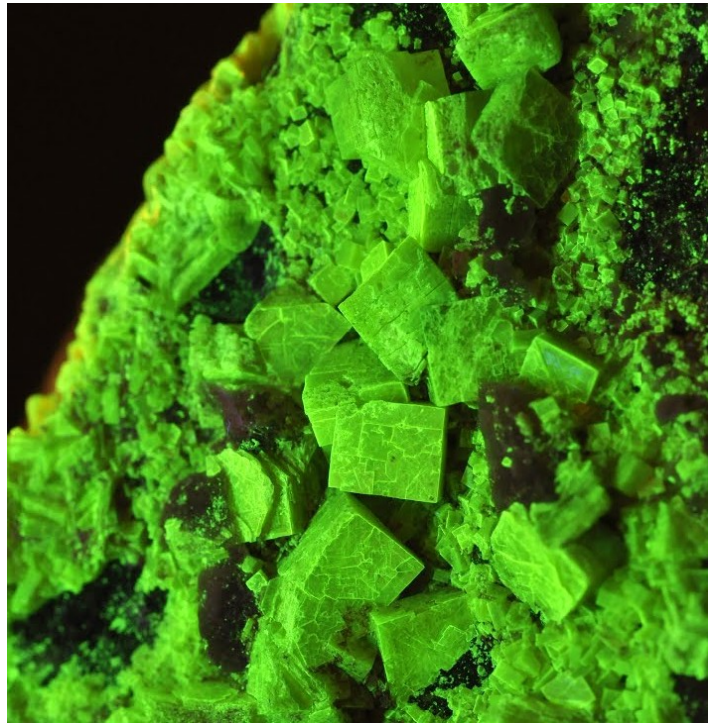
URAN –

Roku 1789 objevil německý chemik a lékárník **Martin Heinrich Klaproth** novou rudu. Vymyslel si pro ni název uran podle planety, objevené právě v tomto desetiletí.

- **nejtěžší přirozeně se vyskytující prvek na Zemi (Z=92)**
- **prvek s „nakumulovanou silou supernov“**
- **objev U změnil svět od základu**



Protonové číslo: 92, **Teplota tání:** 1 130 °C, **Teplota varu:** 3 900 °C, **Molární hmotnost:** 238,03 g·mol^{-1}, **Hustota:** 19 050 kg·m^{-3}



Izolace URANU

Eugène-Melchior Péligot [péligò] (1811–1890, Paříž)

francouzský chemik

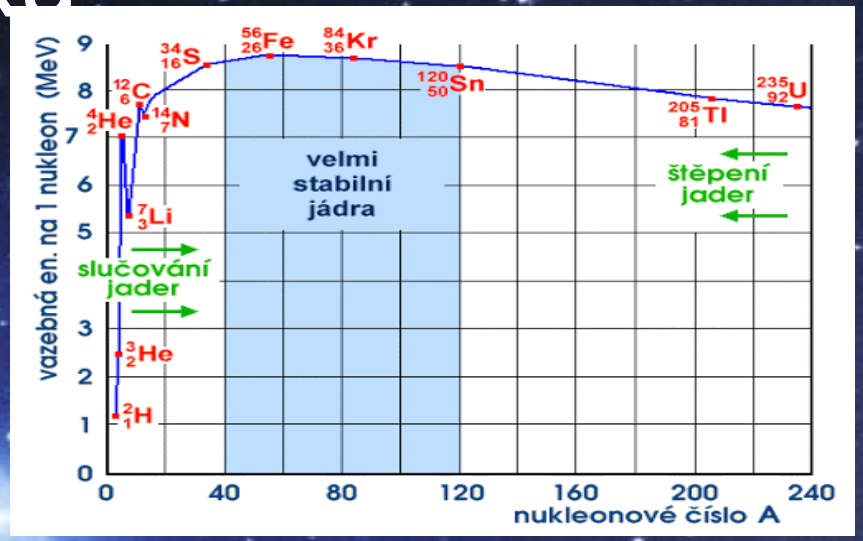
1841 jako první izoloval čistý kovový uran a použil termín „uranyl“ (pro označení žlutých solí uranu).

Uran začal být zajímavý pro barvení skla, stále však trpělivě čekal, až přijde jeho čas…

OBROVSKÁ ENERGIE URANU

→ Vznik lehkých a těžších prvků

- H, He, (Li) – prvotní nukleogeneze (celý vesmír do cca. 3 vteřin po velkém třesku) + jaderná fúze v prvních hvězdách
- Li, Be, B: specifický vznik v mezihvězdném prostoru (interakce produktů supernov s kosmickým zářením?).
- Těžší prvky až po železo: Obrovský tlak hmoty zažehl v nitrech hvězd termojadernou fúzi, jež po spotřebování H „spaluje“ hélium... následkem postupně vznikají těžší prvky až po železo
- **ANI JADERNÁ FÚZE OVŠEM NESTAČÍ K PRODUKCI PRVKŮ >Fe**
-

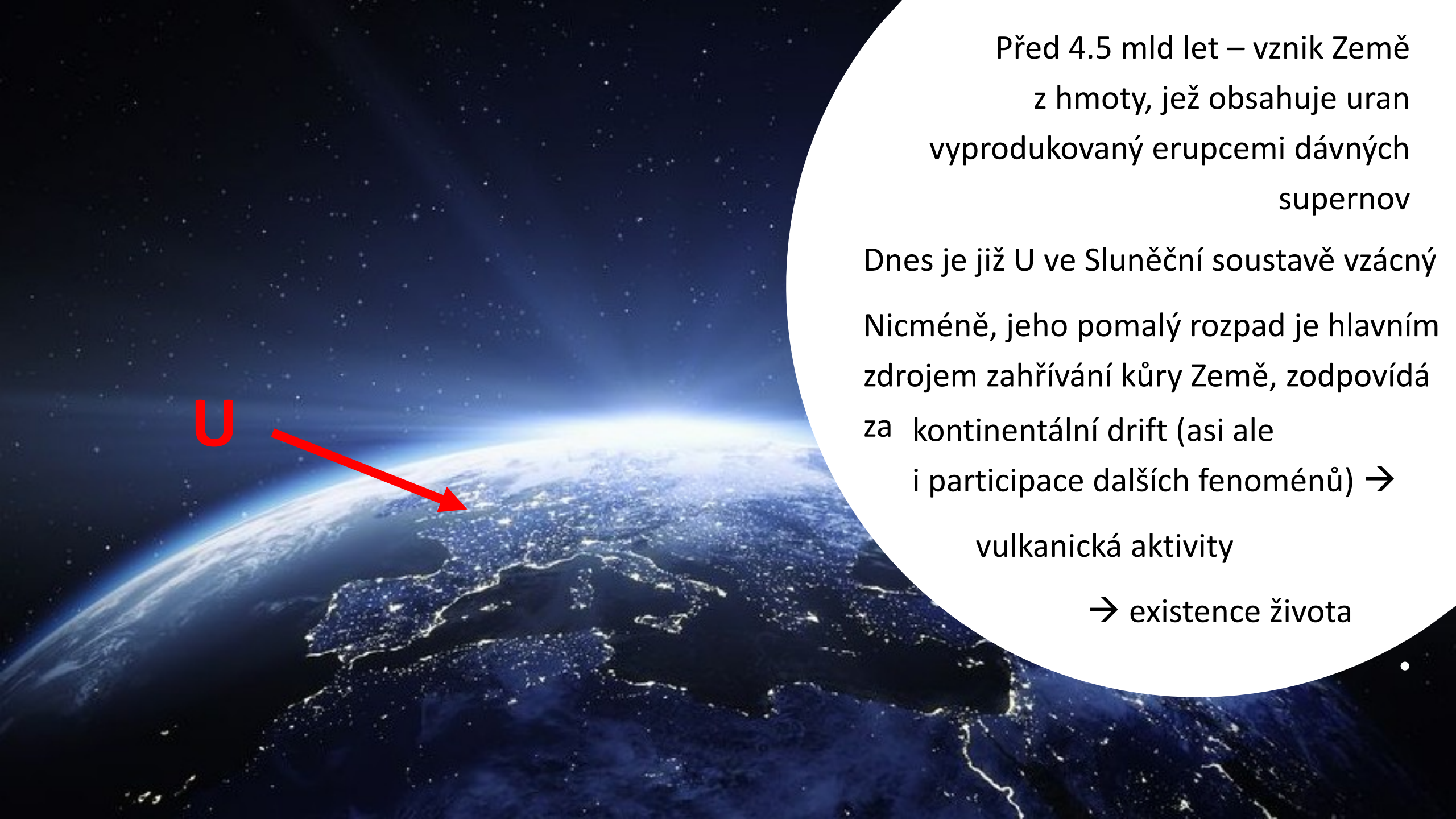


Vznik nejtěžších prvků → URAN

Prvky těžší než Fe:

→ Exploze prvních supernov a/nebo srážky neutronových hvězd

- Nepředstavitelně obrovská energie umožňující vznik jader v endotermických reakcích
- Vznik těžších prvků než Fe, včetně U (asi -6.6 mld. let)



Před 4.5 mld let – vznik Země z hmoty, jež obsahuje uran vyprodukovaný erupcemi dávných supernov

Dnes je již U ve Sluněční soustavě vzácný

Nicméně, jeho pomalý rozpad je hlavním zdrojem zahřívání kůry Země, zodpovídá za kontinentální drift (asi ale i participace dalších fenoménů) →

vulkanická aktivity

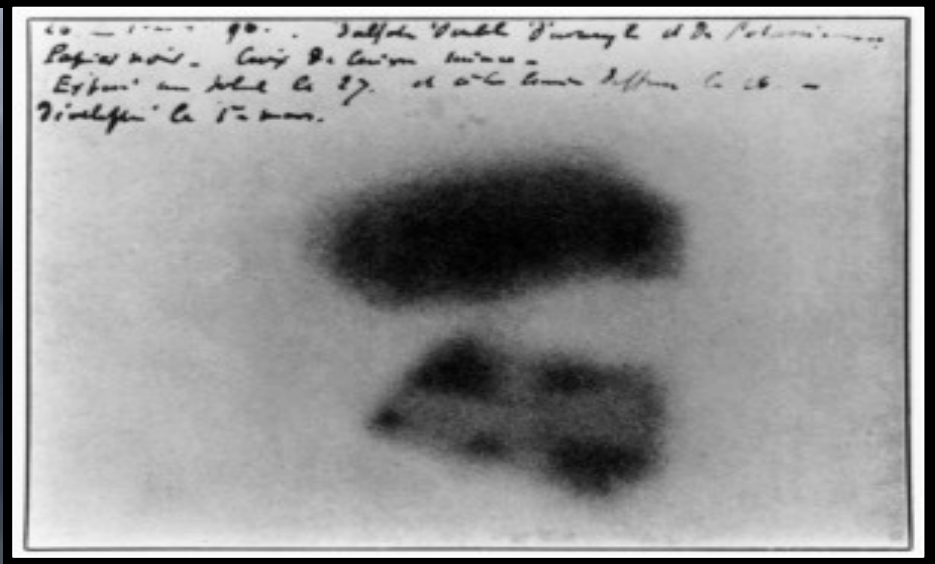
→ existence života

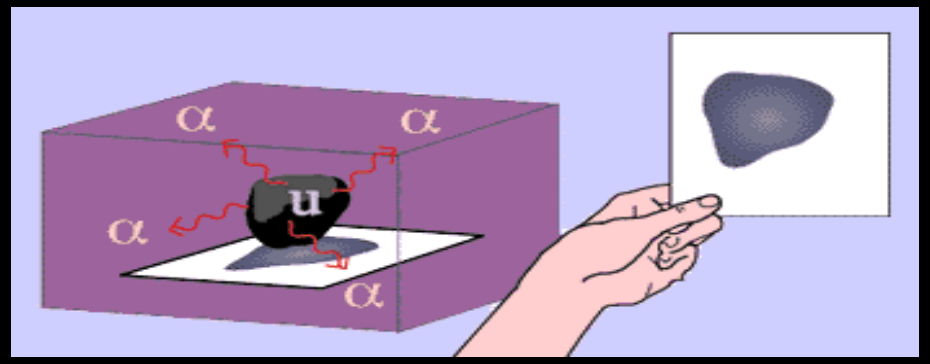
Becquerelův experiment III. – A ZASE TA NÁHODA!

Když chtěl pokus opakovat,

neočekávaně se zatáhlo

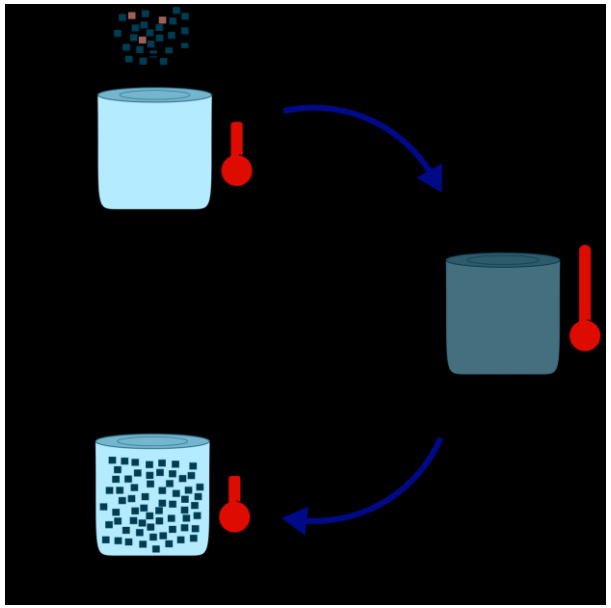
... rozhodl se proto experiment odložit
a neexponované desky i s uranem uklidil na několik dní do šuplíku





Posléze desky ale přesto z nejasných pohnutek vyvolal, a byl udiven ještě více: opět ztmavly!

Bylo zřejmé, že sluncem vyvolané světélkování nebylo příčinou expozice desek.



Becquerelovo záření

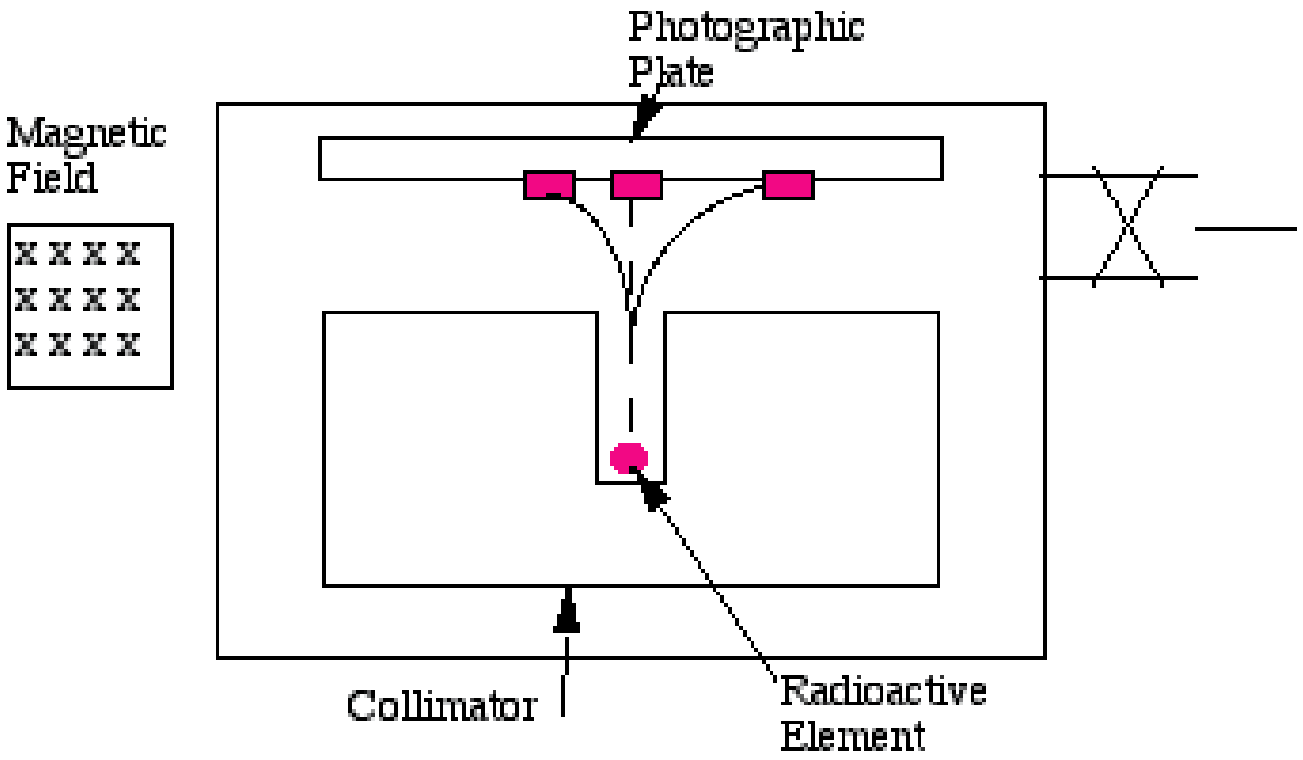
- Becquerel se podivným zářením z nitra uranu dál intenzívně zabýval a zjistil, že:

Luminescenční krystaly solí uranu přitom vydávaly neznámé záření i poté, co následkem rekrystalizace ztratily schopnost fosforeskovat

18. května 1896 konstatoval: **"Pronikavá zářivost je vlastností samotného uranu <u>bez ohledu na jeho fyzikální či chemickou formu</u>.„**

PRÁVĚ TAK <u>OBJEVIL PŘIROZENOU RADIOAKTIVITU</u>, nejprve nazývanou jako Becquerelovo záření

Becquerel zjistil některé další zajímavé charakteristiky záření vycházejícího z uranu:



- **ionizuje vzduch**
- **lze jej odklonit pomocí magnetického pole**.
- Tento poznatek zveřejnil v roce 1899. **Vyplývalo z něj, že se neznámé záření (přinejmenším z určité části) skládá z elektricky nabitých částic.**
- **Na jeho podstatu však přijít nedokázal.**

RADIOAKTIVITA,

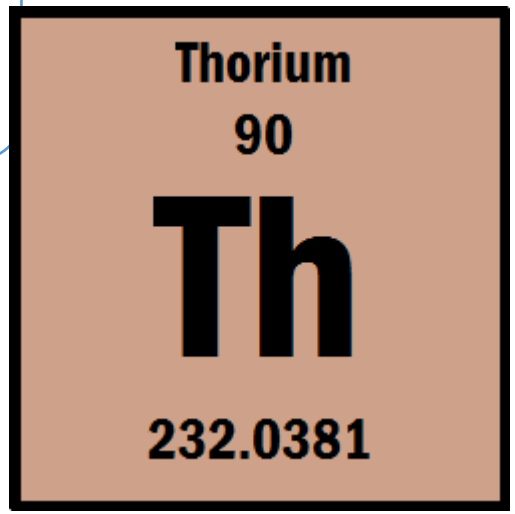
Marie a Pierre Curieovi

Pierre Curie (1859-1906)

Marie Sklodowska-Curie (1867-1934)

Štafetu od H.B. převzali manželé **Marie a Pierre Curieovi** (byli to spolupracovníci H. Becquerela - Pierre Curie měl pracovnu jen několik kroků chodbou od laboratoře profesora Becquerela a sdílel ji se svou mladou manželkou Marií).

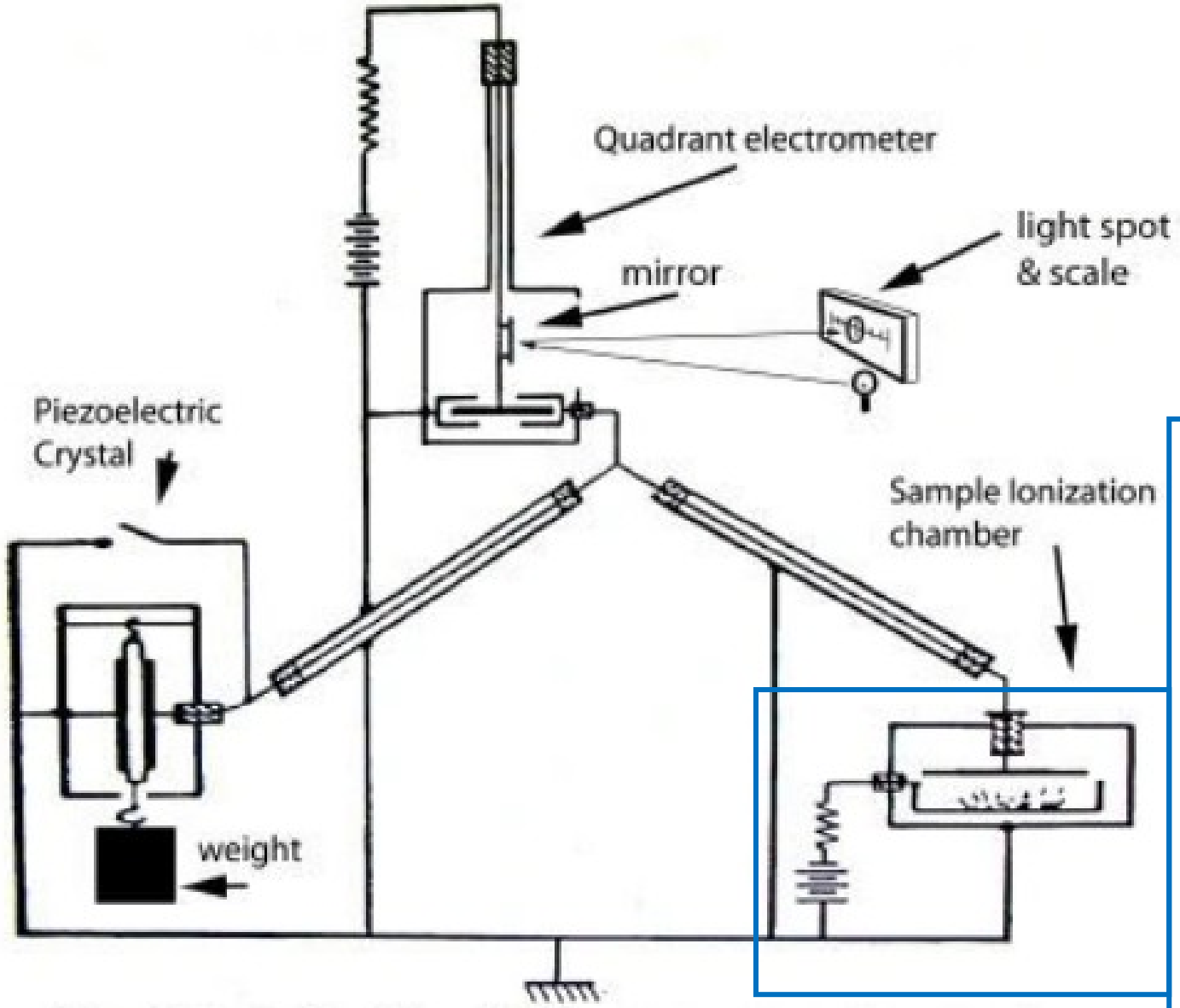
Marie Curie, tehdy ještě Sklodowská, byla polského původu,
a jednou z Becquerelových studentek a právě se vdala za fyzika Pierra…



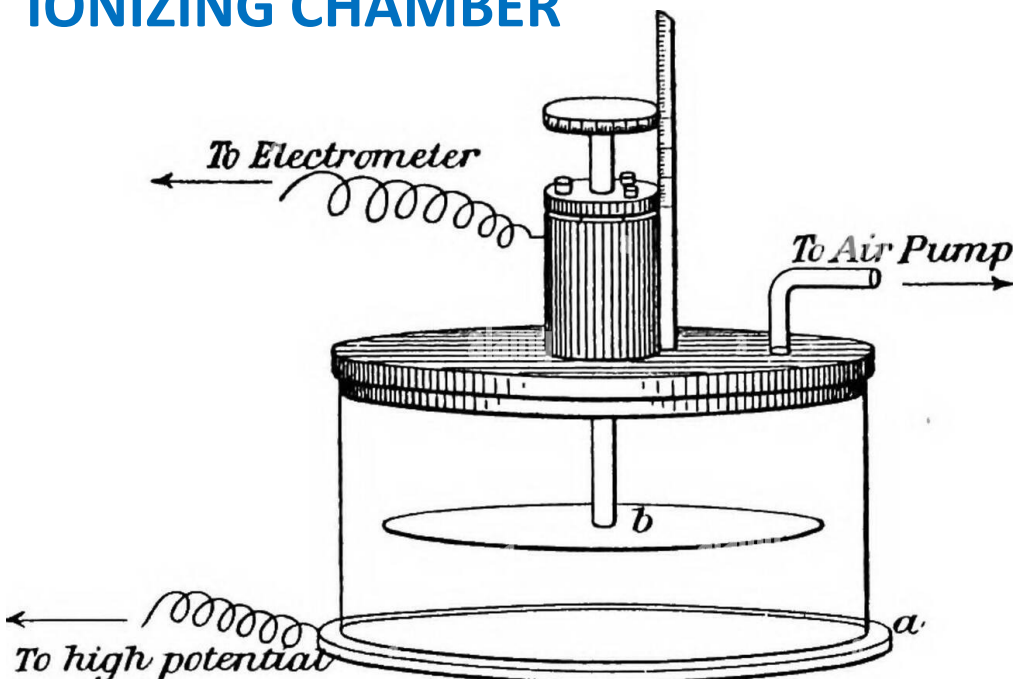
- Curieovi již v roce 1896 zjistili, že stejné záření jako uran vydávají také sloučeniny thoria - na světě tedy existuje přinejmenším ještě jeden „zářící“ prvek
- (prvenství objevu bylo nicméně přiřknuto Gerhardu Carlemu Schmidtovi)
- Marie a Pierre Curie začali svou experimentální práci systematickým studiem uranu a jeho sloučenin, přičemž měřili a tabelovali jejich ionizační proudy.

Electrometer apparatus

developed by Pierre Curie and his brother Jacques for the precise measurement of very weak currents (of the order of tenths of picoamperes) following their discovery of piezoelectricity in 1880.



IONIZING CHAMBER



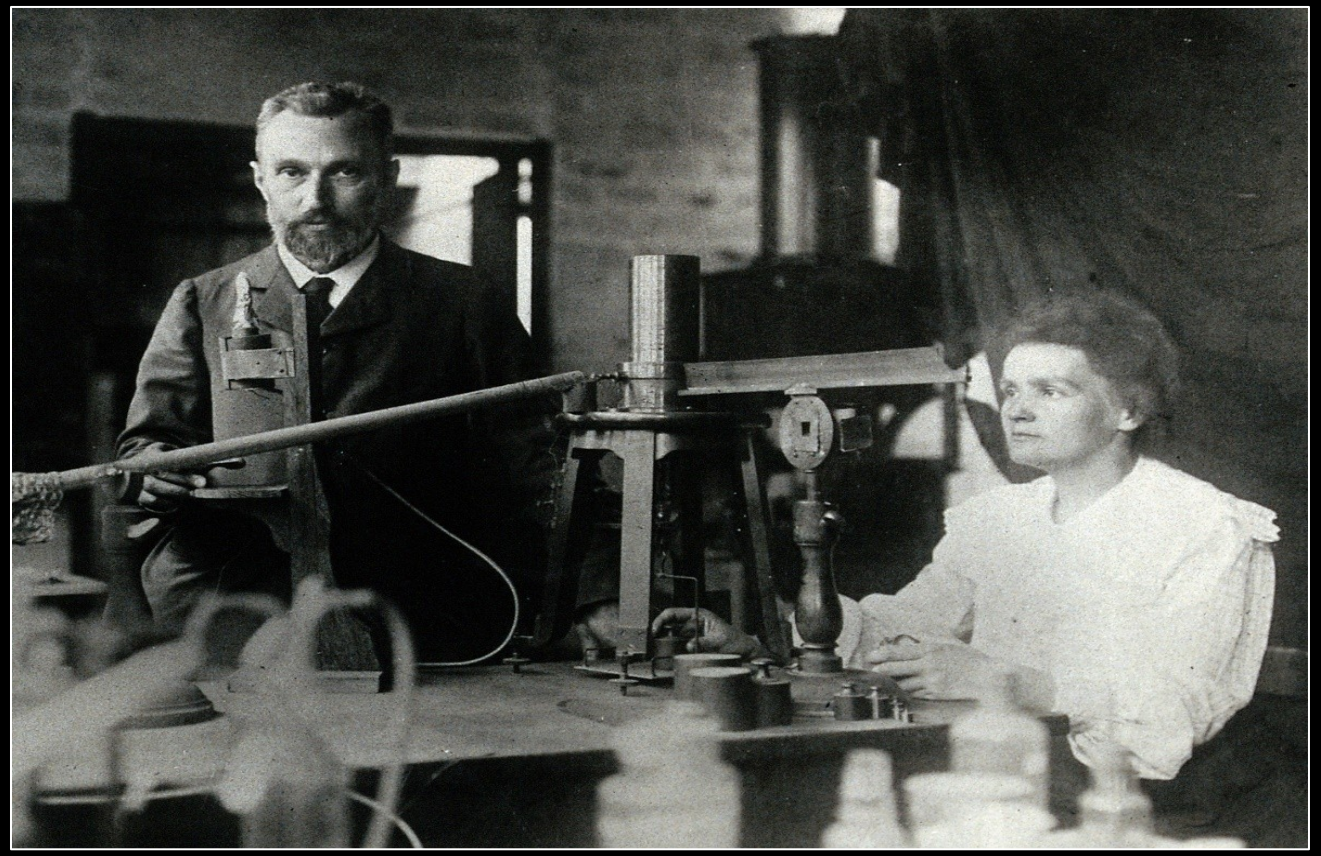
Zjistili značné rozpětí od největších po nejmenší proudy…

…a že ionizační proudy jsou úměrné množství uranu přítomného ve vzorku (totéž platilo pro thorium).

Z pohledu chemika to byl záhadný výsledek. Vlastnosti chemických sloučenin téhož prvku obecně závisí na tom, s čím je sloučenina složena, a na uspořádání atomů v molekule. Naměřená (radio)aktivita však byla nezávislá na složení nebo struktuře molekul.

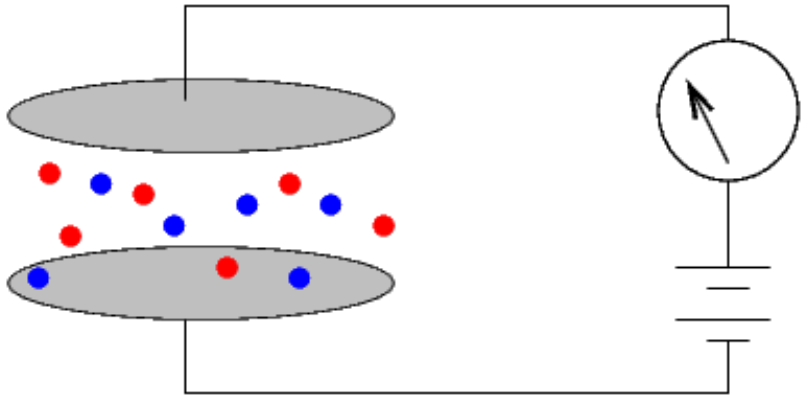
Curieová dospěla k závěru, že radioaktivita je vlastností atomu - nazvala ji une propriété atomique. Neměla na mysli atom uranu nebo thoria, ale atom jako zobecněnou hmotnou jednotku s předpokládaným vnitřkem, z něhož vycházejí radioaktivní emise. To je hluboká koncepce, kterou Marie Curie významně přispěla k rozvoji fyziky.

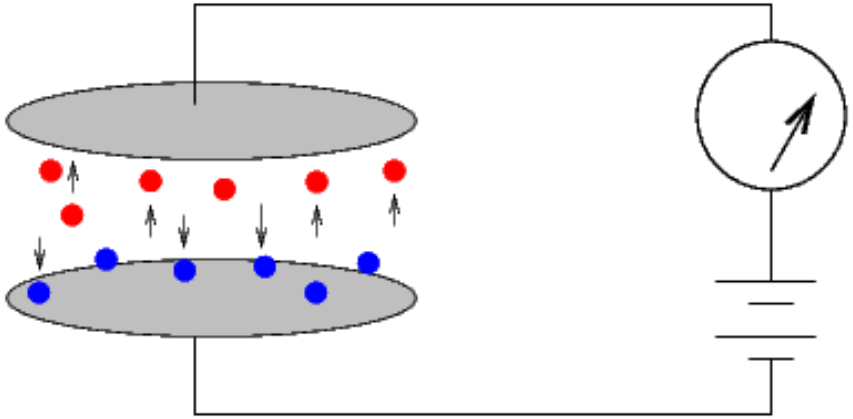
Radioaktivita, Marie a Pierre Curieovi

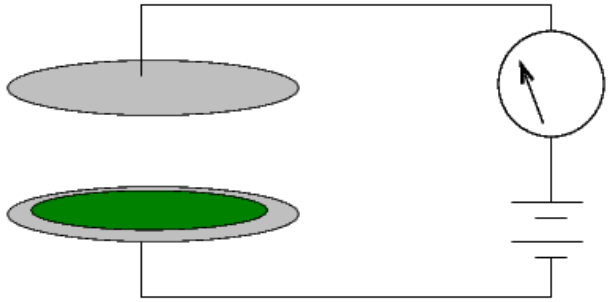


- <u>**Zobecnění Becquerelova objevu**</u>
- Tehdy Marie Curie pro tuto vlastnost (které se zpočátku říkalo **Becquerelovy paprsky**) **poprvé použila název <u>radioaktivita</u>**.
- Objevitel záření (H.B.) však o fyzikální zvěčnění svého jména nakonec přece jen nepřišel: byla po něm pojmenována **jednotka radioaktivity**

  (1 Becquerel [1 Bq] vyjadřuje takovou aktivitu zdroje při níž se za 1 sec rozpadne 1 atom)

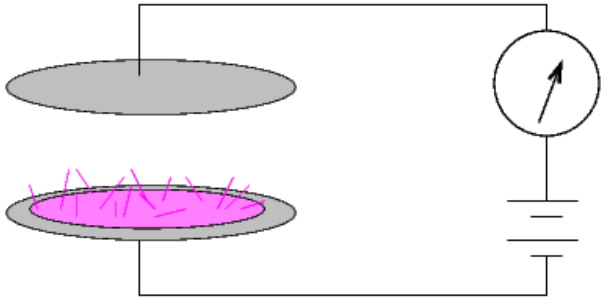






Material	picoamps
Uranium	24
Black oxide of uranium	27
Hydrated uranic acid	6
Pitchblende from Johanngeorgenstadt	83
Pitchblende from Joachimstahl and from Pzibran	67
Natural chacolite	52
Artificial chacolite	(see below)

A partial copy of the table in *Rayons Emis par les Composes de L'Uranium et du Thorium*



- **M a P Curie brzy zjistili, že s horninami a radioaktivitou něco nesedí:**

- **Radioaktivita nerostů uranitu a chalkolitu byla mnohem vyšší, než by odpovídalo zastoupení uranu a thoria ve vzorcích**

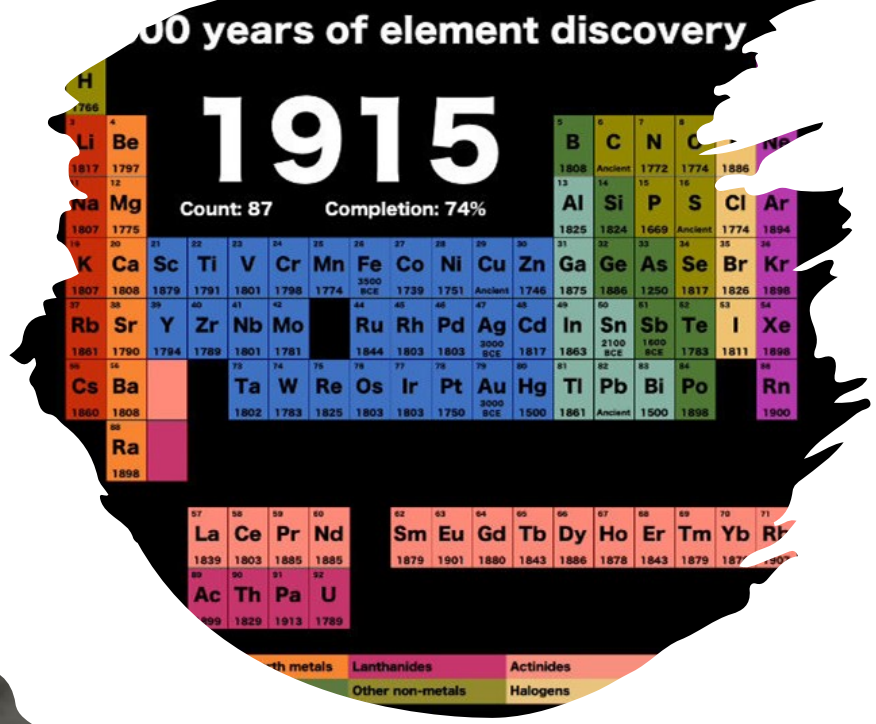
>>

???

SMOLINEC

ČISTÝ URAN / URANOVÉ SOLI

- Jediným logickým vysvětlením bylo, že rudy obsahují **další dosud neznámé prvky, jejichž radioaktivita je ještě výrazně vyšší**.



Marie Curie‘s next brilliant idea

- According to the periodic table, new elements have been predicted but have not yet been isolated
- If there was a large content of them, they would have already been isolated
- It means, the unknown radioactive elements in pitchblende must be very small in number, but they must be incredibly radioactive!

PECHBLENDE (SMOLINEC Z JÁCHYMOVA)

Jáchymov, dnešní ČR, kdysi dávno…

Quelle: Deutsche Fotothek

Stříbrné doly

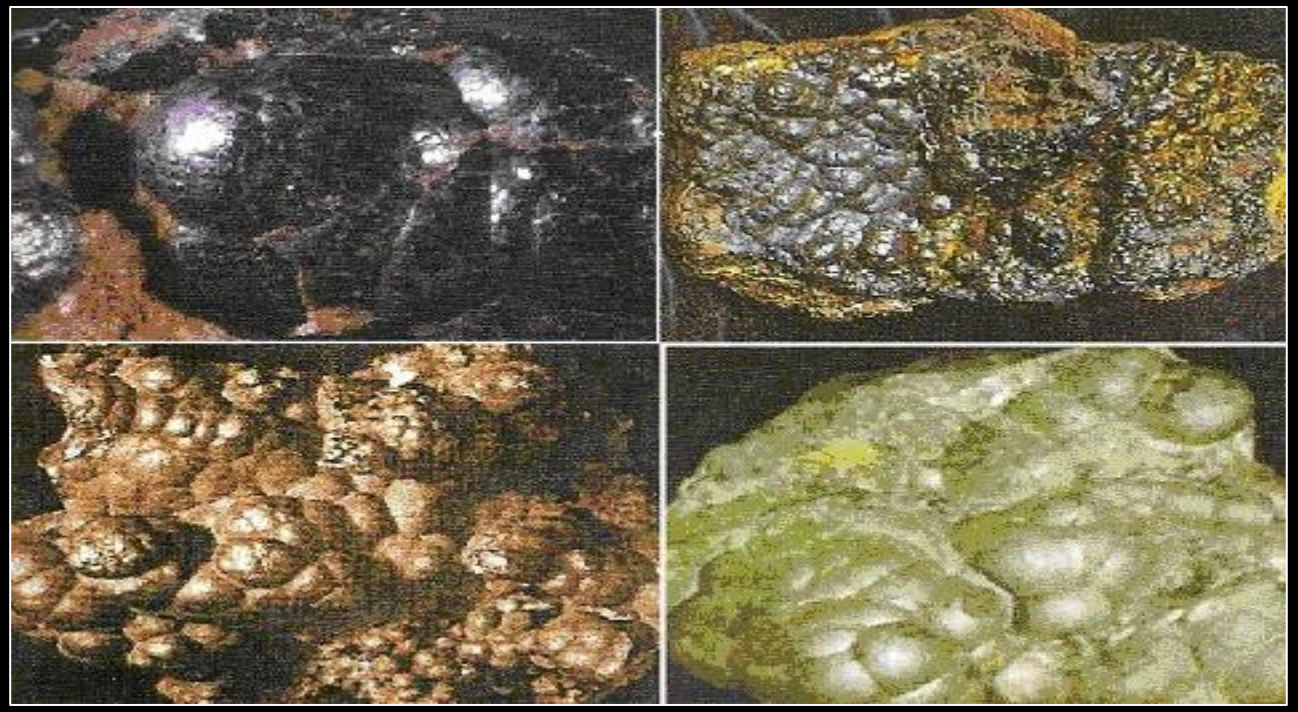
Na začátku byly stříbrné mince, které byly raženy v Jáchymově v Krušných horách. Německý název pro Jáchymov byl ***Joachimstal*** *a ta mince, která se tam razila, se nazývala* ***joachimstaler****.*
A protože to bylo dlouhé slovo, bylo zkracováno na ***taler****. Z toho se pak vyvinulo čeké* ***tolar****. To se šířilo do různých zemí Evropy, protože tyto mince měly dobrý zvuk, a dostaly se i do Anglie, kde byly přijaty v podobě* ***dollar****. Když v 18. století hledaly Spojené státy získaly nezávislost, hledaly vhodný název pro svoje oficiální platidlo, protože se chtěly odlišit od Francie, Anglie atd., a sáhly po tomto pojmenování dollar, které od 16. století v Anglii žilo, ale nebylo prakticky využíváno. Takže v původu amerického dolaru je český tolar, který vznikl z jáchymovské mince na počátku 16. století."*
(etymolog z Ústavu českého jazyka a komunikace Filosofické fakulty UK PhDr. Jiří Rejsek).

PECHBLENDE (SMOLINEC)

Po roce **1515** se rozvíjí těžba stříbra v Jáchymově
V dolech se těžily nejdříve stříbrné rudy, později rudy kobaltu a arsenu

Během těžby někdy horníci narazily na žílu podivné horniny, jejíž nalezení znamenalo pro horníky „smůlu“

Nazvali ho proto **PECHBLENDE** (pech = smůla, blende = nekov) z toho **SMOLINEC** (nosící smůlu), později nazýván **URANIT**



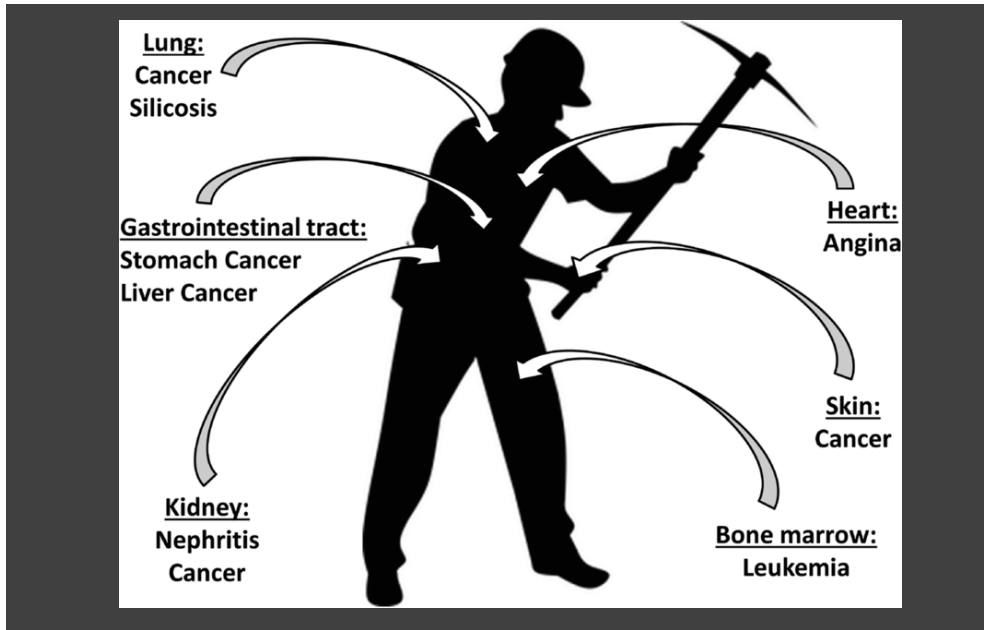
PROČ “SMOLINEC” ?

„smolné blejno“
(typická jáchymovská uranová ruda – ledvinitý smolinec v žíle s růžovým dolomitem a tmavě fialovým fluoritem)

1.

2.

3.



„smolné blejno“
(typická jáchymovská uranová ruda – ledvinitý smolinec v žíle s růžovým dolomitem a tmavě fialovým fluoritem)

PROČ „SMOLINEC“ ?

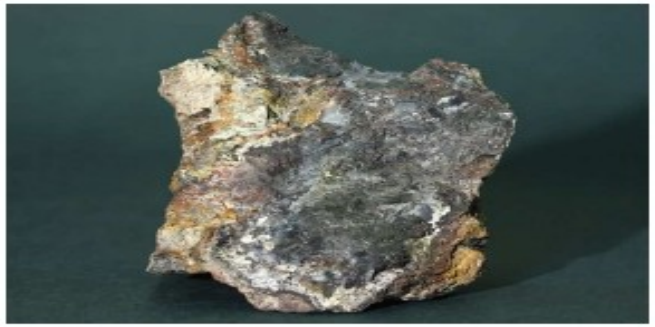
- jednak **vypadá jako pryskyřice** (smůla),
- pak ho mohli takto označit horníci ve stříbrných dolech, protože se vyskytuje tam, kde se nevyskytuje stříbro, a mohl jim tak přinášet **smůlu v těžbě**.
- Jako třetí původ smolného označení se nabízí možnost, že si horníci spojili jeho nálezy se **zvýšenou úmrtností kolegů**, i když se v té době ještě nevědělo o rakovině plic a její spojitosti s touto horninou (a jejími štěpnými produkty).

PECHBLENDE (SMOLINEC)

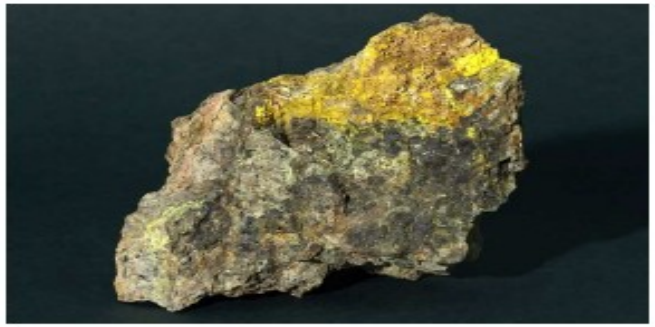
Smolinec proto nejprve končil na haldách kolem dolů jakožto naprosto bezcenný materiál…

Marie a Pierre Curieovi a smolinec z Jáchymova

- Manželé Curieovi pak prováděli pečlivá měření v různých rudách (uranitu a chalkolitu).
- **Hlavní roli zde hrál SMOLINEC Z JÁCHYMOVA**
- Bádání bylo nesmírně náročné na množství výchozího materiálu
- M.C. proto požádala **vídeňského ministra orby**, hraběte Buquoye, o zaslání vzorku smolince z Jáchymova. Ten jí nechal poslat **několik tun odpadu z továrny na uranové barvy v Jáchymově**.
- (nakonec M-C. získala **0.1 g Po z několika tun smolince**)

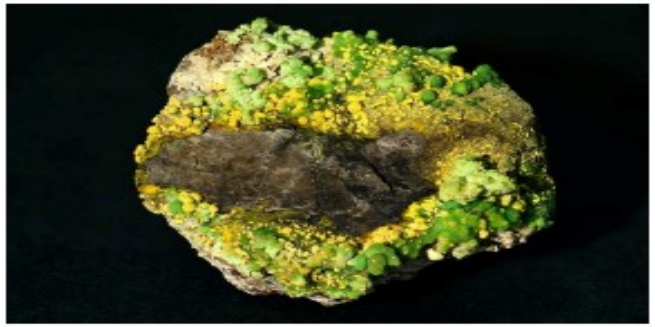


počátek větrání
smolince



směs síranů a uhličitanů
(uranopilit, zippeit, zellerit)

uranové karbonáty
(světle žlutý zellerit s liebigitem)



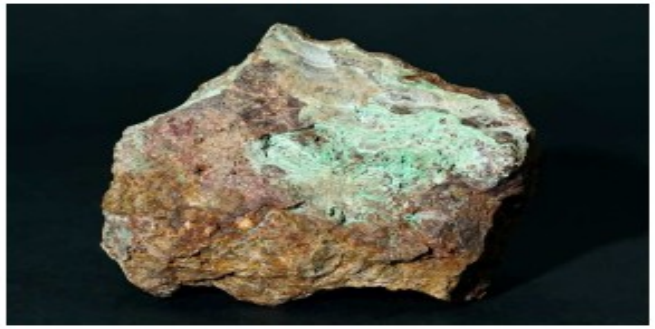
uranové sírany
(zelený johannit, žlutý zippeit)

tmavě zelený andersonit a světle
žlutý schröckingerit (karbonáty)

uranophan,
(silikát uranu)

metatorbernit
(fosforečnan uranu)

žlutý autunit
(fosforečnan uranu)



metazeunerit
(arzeničnan uranu)

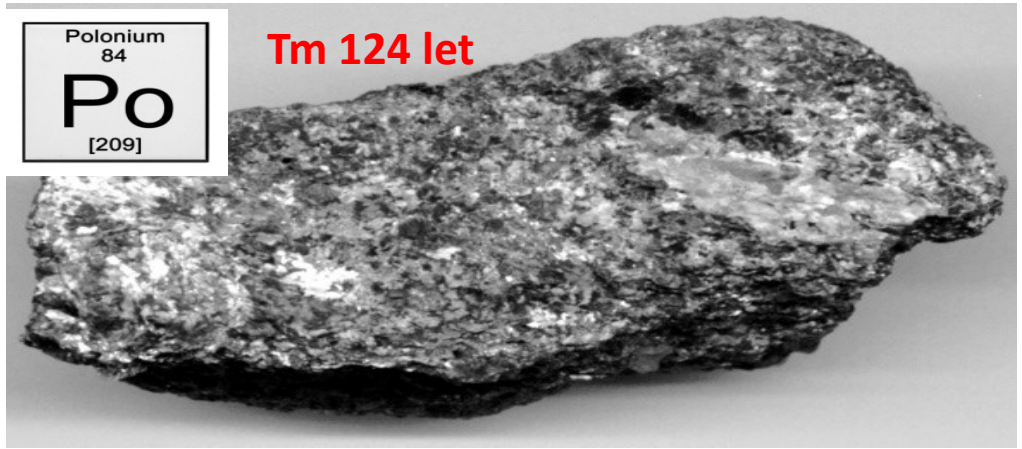
zvětráváním jáchymovského smolince vzniká pestrá škála nápadně barevných druhotných uranových minerálů, okrů a slíd, kterých si mj. povšimli i skláři

(Jáchymov, 2010)

Marie a Pierre Curieovi – objev nových radioaktivních prvků, polonia a radia

Nejprve identifikovali **polonium**, které bylo **150x radioaktivnější** než uran.

Později ještě objevili **radium**, jehož aktivita byla **dokonce 900x** vyšší než u uranu. Proto ho také pojmenovali „radium“ = zářící



POLONIUM (Po)
stříbřitě bílý, silně radioaktivní kov
Existuje 42 izotopů polonia s atomovou hmotností 194 až 218 (izotopy = liší se počtem neutronů)

34 známých radioaktivních izotopů, s nukleonovými čísly 201 až 234

Maria Curie-Skłodowska

- Během I. sv. války prosadila zřízení **polních rentgenologických stanic**, které z pozice vedoucího vojenské lékařské buňky organizovala a řídila. Tyto stanice vyšetřily **více než 3.000.000 miliony případů zranění** vojáků.
- Po válce cestovala po světě a **iniciovala zakládání Ústavů pro léčbu rakoviny**. V této době patří mezi její žáky **František Běhounek** – zakladatel československé atomové fyziky. V roce **1925** Marie Curie-Sklodowská **navštěvuje město, které stálo na počátku její vědecké kariéry – Jáchymov**. Zde sfárala do dolu Svornost a navštívila i lázně. Zde prokázala neúčinnost pitných kúr a naopak vhodnost koupelí v radiové vodě.
- Zemřela v nemocnici Sallanches v Savoy u Paříže (1934, 67 let) **na aplastickou anémii, kterou si pravděpodobně přivodila absolutní absencí ochranných opatření při práci s radioaktivními látkami**.
- Pro zásluhy na poli vědy byly její ostatky v roce 1995 slavnostně přeneseny do pařížského Panteonu.

Marie Curie driving the Renault car that she converted into a radiological unit during the first World War, 1917

Prvenství Marie Curie-Skłodowské, 7. 11. 1867 - 4. 7. 1934

- Z Polska odešla do Francie, kde v roce 1891 složila **jako první žena v historii přijímací zkoušky na fakultu fyziky a chemie pařížské Sorbonny**.
- Becquerel na doporučení Pierra nabídl Marii doktorandské studium ve své laboratoři.
- V roce 1903 **jako první žena na světě obdržela i titul doktora fyziky na Sorbonně**.
- Díky své práci byla **jako první žena na světě dvakrát oceněna Nobelovu cenou, navíc ve dvou oborech**:
  - **Nejprve v roce 1903 za fyziku (společně s Becquerelem) za zkoumání radiačních jevů**
  - **Poté v roce 1911 za chemii za objev a izolaci polonia a radia (společně s Pierrem)**
- jmenována na místo svého zesnulého manžela a stala **se tak historicky první profesorkou na Sorbonně.**
- **V roce 1925 navštívila Jáchymov** a některé její připomínky k lázeňským procedurám se používají dodnes. Dnes její jméno nese lázeňský hotel Curie.

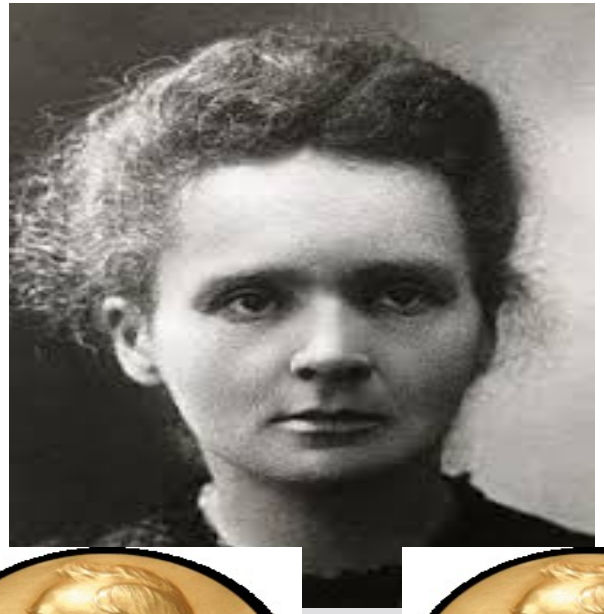
BOHUSLAV BRAUNER

Český chemik

- **Spektra smolince → čáry patřící neznámým prvkům**
- Žádá vídeňské ministerstvo školství o zakoupení uranové hlušiny z jáchymovských dolů, ale zamítnuto
- O cca. 25 let později, ta samá žádost, avšak od manželů Curieových a přes jiné ministerstvo je schválena…

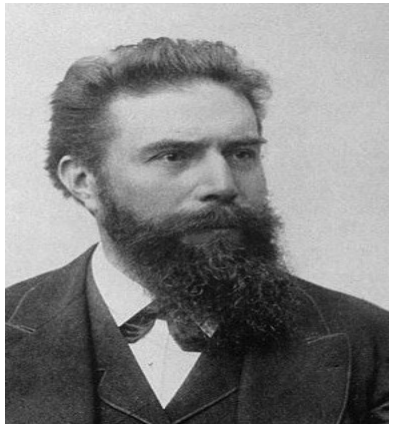
Fenomenální Marie Curie-Sklodowska

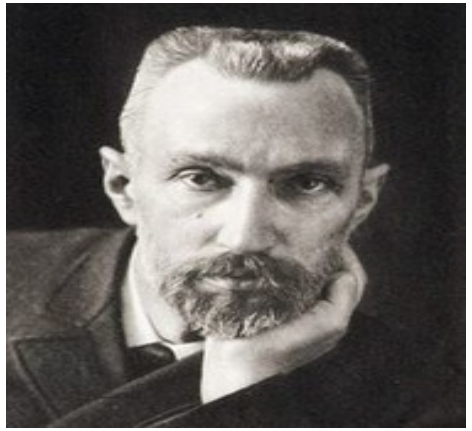
1903: Nobelova cena za fyziku za objev radioaktivity, spolu s Pierrem a A.H. Becquerelem



1911: druhá Nobelova cena, nyní za chemii, za izolaci radia a objev polonia, plus další objevy ohledně radioaktivity

Marie Curie
První žena
oceněná
Nobelovou cenou
Původně měl být
ale oceněn jen
Becquerel a Pierre
Curie!!





1901 vůbec první NB za fyziku

1903 Nobelova cena za fyziku; 1911 NC za chemii

- Objev paprsků X vedl až k jisté posedlosti
- Zdravotní rizika tehdy ještě neznámá

→ aplikace paprsků X a ‚radioaktivity‘ všude, kde se dalo“

- Radium se následně začalo v USA vyrábět uměle a než se poznalo nebezpečí ionizujícího záření,

- **propuklo doslova období bezuzdného opojení radioaktivitou**

- Paprsky X se používaly nezřídka ke zcela nepatřičným účelům a radium se přidávalo snad do čehokoliv kam to jen bylo možné - prodávaly se nejrůznější magické kosmetické a léčebné přípravky, ale také technické výrobky a výrobky pro zábavu (glow-in-the-dark).

DOBA BEZUZDNÉHO OPOJENÍ RADIOADTIVITOU

Částečně tomu napomohla přímo Marie Curie:

- Sama totiž před smrtí navrhla, jak by lidstvo mohlo v budoucnu profitovat z IR
- nastínila i možné medicínské využití IR – kromě radioterapie nádorů předpokládala, že významné zdravotní benefity může přinést mj.:
- **pití vody „nasycené“ radonem** (vznikajícím následkem rozpadu thoria a uranu),
- **injekční vstřikování ozářeného/radioaktivního fyziologického roztoku** přímo do krevního oběhu, svalů a kloubů,
- **inhalování radonem obohaceného vzduchu**,
- a také **koupele v radioaktivní vodě**
- Jelikož však byla vědkyně, upozorňovala zároveň, že vědecké podklady pro tato tvrzení jsou zatím nedostatečné a převažuje jen empirická zkušenost
- I přesto lékaři v té době předepisují radium proti **artritidě**, **dně**, **hypertenzi**, **ischiasu**, **bolestem v kříži** a celé řadě dalších obtíží
- Ještě v roce 1916 lékařský časopis Radium ubezpečuje, že radium nemá absolutně žádné toxické účinky a je harmonicky přijato tělem jako rostliny přijímají světlo

X-rays: KURIOSITY DOBY

Tricho machine

Advertisment showing a drawing of the **Tricho machine**. “Clients sat at a mahogany cabinet with a small front window for the treatment area. The operators … threw a switch, and then – nothing happened, save for a faint hum and a whiff of ozone. After a few minutes the machine automatically shut off and the patient booked her next session.” (Collins, 2007)

X-rays: KURIOSITY DOBY

Adrian shoe-fitting fluoroscope used prior to 1950 in shoe stores for testing the fit of shoes. A high-tech sales gimmick, these were phased out due to concerns about unnecessary radiation exposure.

Miss X-Ray

Miss International Posture Queen with her x-ray, 1957.

X-ray Photos Find Girl With Perfect Back at Health Show

THE X-ray was the final judge in selecting the girl with the most perfect back at California's health show in Los Angeles.

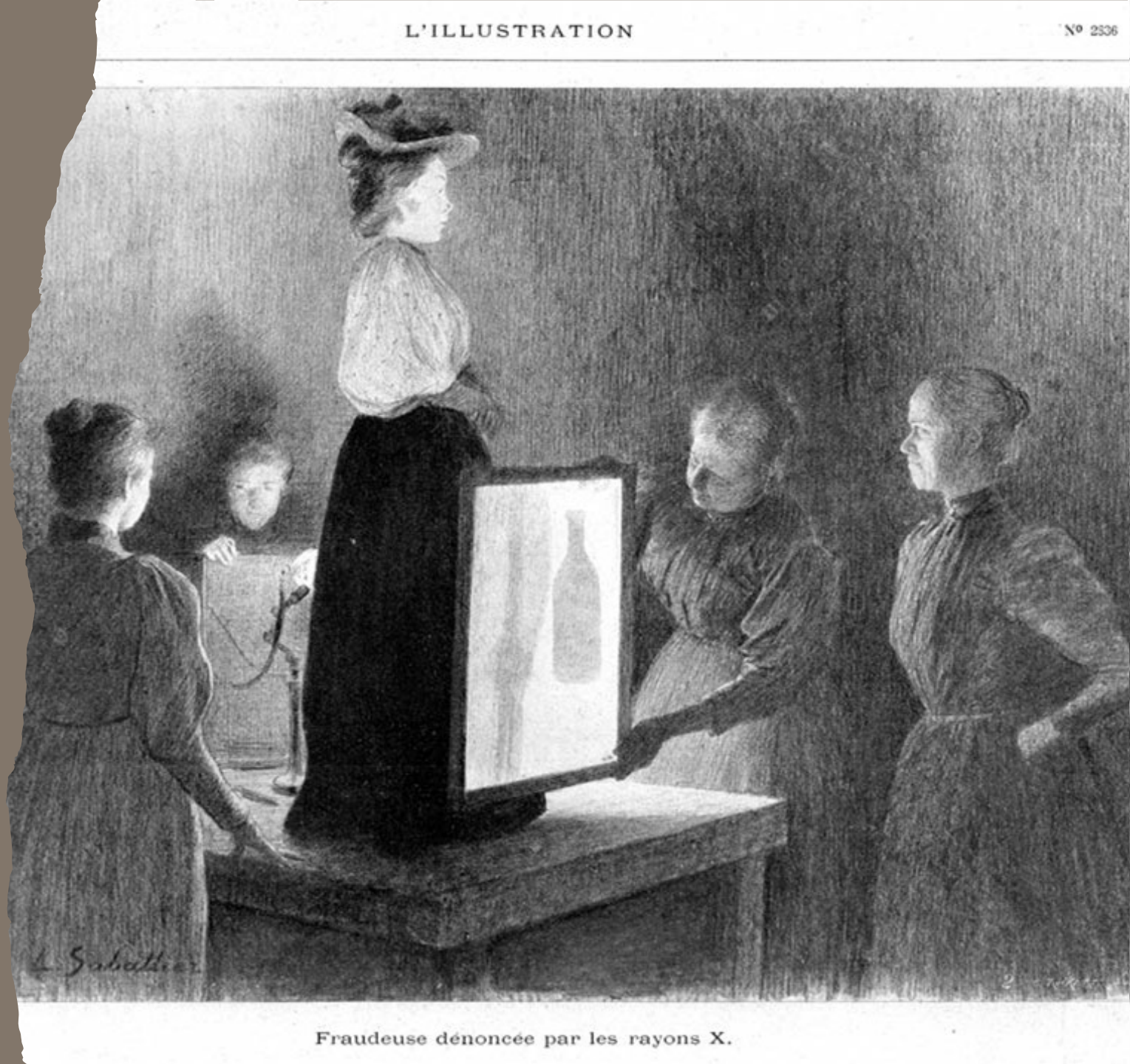
After examining X-ray photographs of all the girls entered in the contest, Dr. Lester V. Donovan picked Miss Judith Allen, young movie actress, as the winner. An X-ray of Miss Allen's back showed a spine in perfect alignment, unmarred by any curvature.

The young lady hails from Boston and is said to have a promising film career ahead. The photo at the right shows attractive Miss Allen and the remarkable X-ray picture held by Dr. Donovan.

California`s health show and future Hollywood actress selection

This X-ray photo proved that Miss Judith Allen, young screen actress, had the most perfect back in a contest conducted at California's health show. Dr. Lester V. Donovan is holding the X-ray picture of Miss Allen's back.

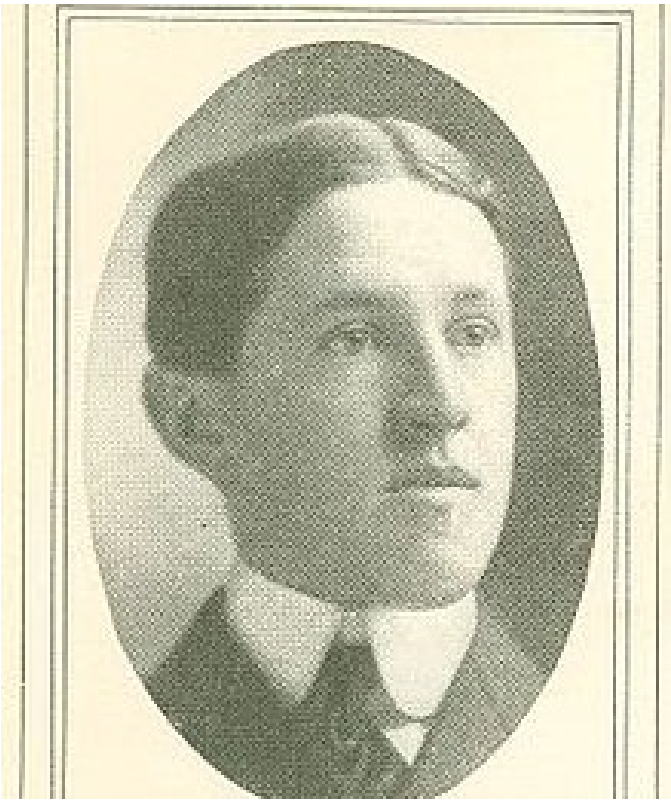
- ‘Human Telescopes’ –a crude form of fluoroscope, became fun party toys among the elite, where they offered a new use for those Crooke’s tubes which were ever-so popular novelties back then.
- Carnivals set up displays allowing people to see inside the human body.
- And well-to-do parents even rented x-ray machines for birthday parties.

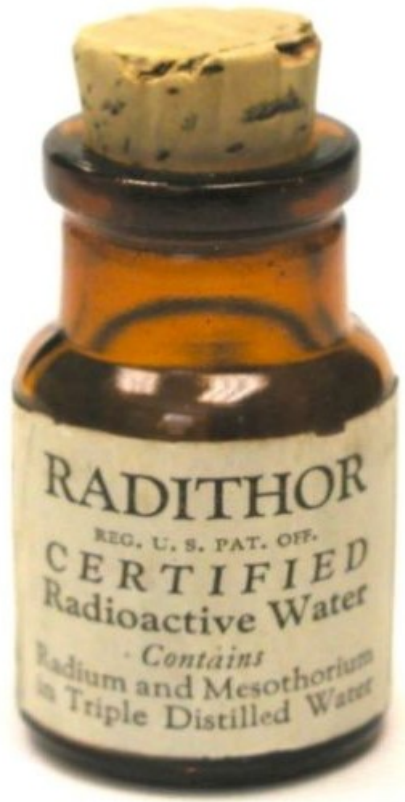


JAMES BOND X-RAY GLASSES

- The ad that stoked every young comic book reader's imagination was the one for X-Ray Specs. These ads offered kids the opportunity to see through everything from fingers, an eggshell, and possibly even clothing all for the cost of a dollar. The fine print in these ads is that they only give the illusion of X-Ray vision and don't actually allow the wearer to see through anything.
- Anyone who sent out for the contraption found that they were actually plastic glasses filled with cardboard that had a depiction of the things you could see if you had x-Ray vision. Sorry kids, this is one product that doesn't work.

RADITHOR: léčebné radioaktivní kapky





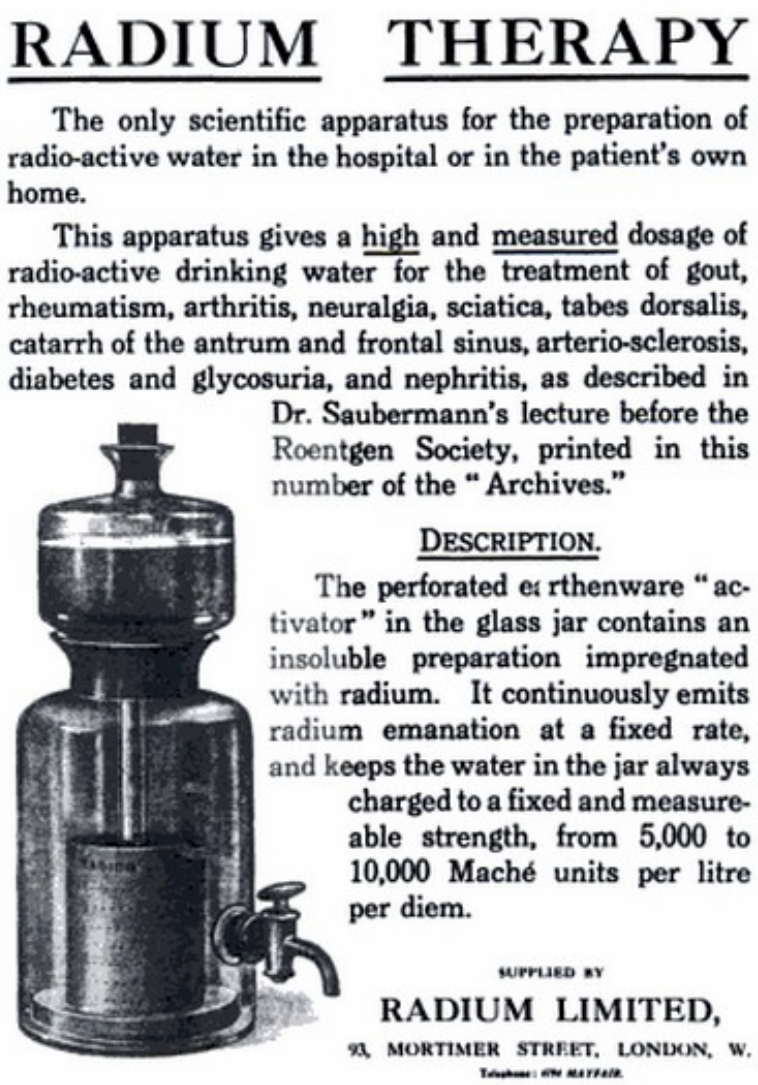
Ebenezer McBurney Byers (April 12, 1880 – March 31, 1932)

- Malá lahvička prodávaná jakožto lék proti artritidě, revmatismu, mentálním chorobám, rakovině žaludku a impotenci
- Jednalo se o 3x destilovanou vodu s nepatrným přídavkem radia **(^{226}Ra a ^{228}Ra; 1 mCi = 37 kBq;** aktivita v řádech jednotek Bq až kBq je velice nízká; **radioterapeutika MBq-GBq)**.
- Existovaly však i přípravky určené přímo pro intravenózní (injekční) aplikaci
- Ebenezer McBurney Byers earned notoriety in the early 1930s when **he died from multiple radiation-induced cancers after consuming Radithor**. (He won the 1906 U.S. Amateur in golf)

REVIGATOR:
levnější cesta k léčebné radioaktivní vodě

"Here's Health!"

TO keep that health you must keep Nature's laws. They are simple and easy to keep; but if they are broken Nature exacts a heavy penalty from each and every one. Get plenty of sleep, exercise and wholesome fun. Avoid overwork, all other excesses, eat fresh, natural foods, breathe fresh air, and drink plenty of fresh, invigorating, natural radioactive water from the Radium-Spa.



RADIUM THERAPY

The only scientific apparatus for the preparation of radio-active water in the hospital or in the patient's own home.

This apparatus gives a high and measured dosage of radio-active drinking water for the treatment of gout, rheumatism, arthritis, neuralgia, sciatica, tabes dorsalis, catarrh of the antrum and frontal sinus, arterio-sclerosis, diabetes and glycosuria, and nephritis, as described in Dr. Saubermann's lecture before the Roentgen Society, printed in this number of the "Archives."

DESCRIPTION.

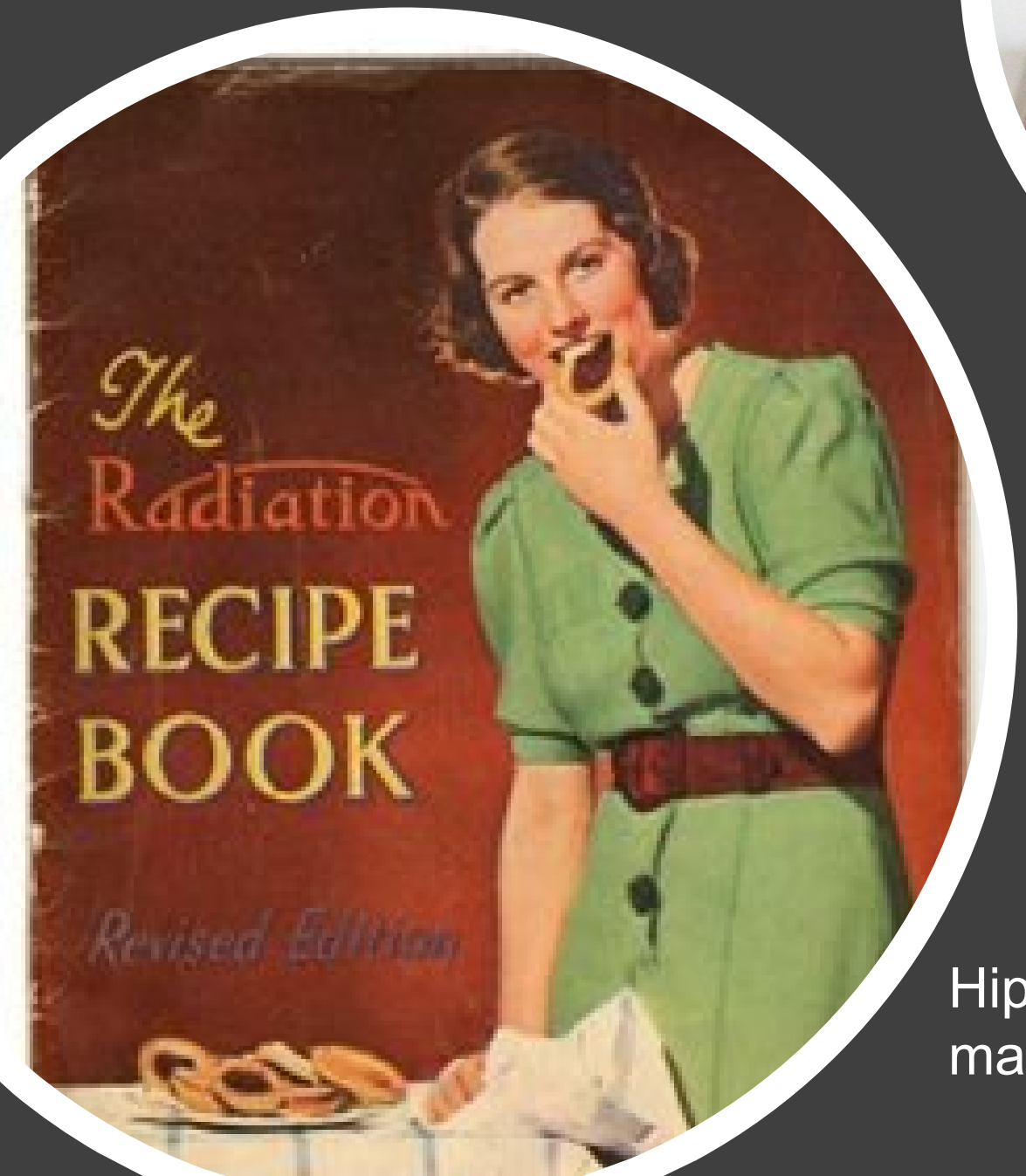
The perforated earthenware "activator" in the glass jar contains an insoluble preparation impregnated with radium. It continuously emits radium emanation at a fixed rate, and keeps the water in the jar always charged to a fixed and measureable strength, from 5,000 to 10,000 Maché units per litre per diem.

SUPPLIED BY

RADIUM LIMITED,

93, MORTIMER STREET, LONDON, W.

- Kdo neměl finance na drahé léčivé radioaktivní kapky, mohl si připravit radioaktivní vodu sám doma pomocí Revigatoru.
- Jednalo se o keramickou nádobu s vložkou s příměsí uranu a radia
- Revigator se přes noc naplnil vodou, která byla během noci ozářena a patrně i nepatrně „obohacena“ přítomným uranem a radiem
- Následující den byla voda připravena ke konzumaci
- Pití této vody zaručovalo pevné zdraví, například prevenci artritidy, nadýmání a senility.



Radioactive Chocolate Bar - to make you look and feel younger (vyráběna v Německu)

Sweets & Food…

Hippman-Blach bakery's Radium Bread, made with that amazing radium water.


Radium Brand
CREAMERY BUTTER
COPYRIGHT 1933. THE BUTLER PAPER PRODUCTS CO., TOLEDO, OHIO

Sweets & Food…

Doramad – radioaktivní zubní pasta s příměsí thoria

- Úrovně radioaktivity velmi nízké, nicméně deklarováno, že tato pasta:
- “Its radioactive radiation increases the defenses of the teeth and gums. The cells are loaded with a new energy of life, the destructive effect of bacteria is hampered. That explains the excellent prophylaxis and the healing process of gum disease … ” ...its radioactive qualities gently polishes the dental enamel, so it turns white and shiny."
- Vyráběla a prodávala s v Německu v letech **1940 až 1945**, tedy během 2. světové války. Ještě štěstí, že německé vědce tehdy více zajímali aplikace radioaktivních materiálů v kosmetice než ve vývoj atomových zbraní.

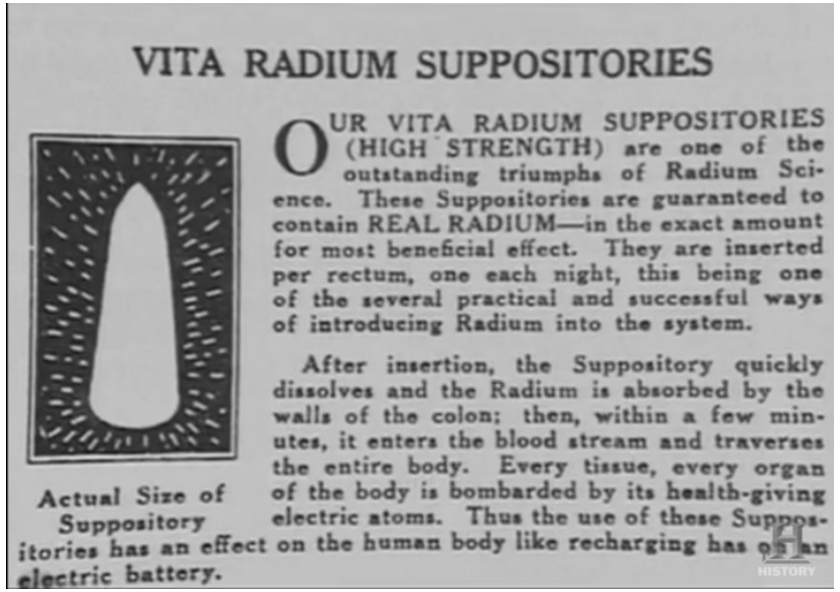
ZDRAVÍ - **Radione energy pills**

Některé směsi „dokázaly léčit“ až 150 chorob, například malátnost / letargii / únavu, impotenci atd.

V tomto směru vynikaly např. **Radione energy pills**, jakýsi předchůdce dnešní Viagry a obdobných medikamentů

Vita Radium Suppositories – Radioaktivní čípky

- Zlepšení sexuálních funkcí
- Celková energizace nervového systému, krevního oběhu a sekrečních žláz
- Účinnou látkou bylo vysoce přečištěné RADIUM v kakaovém másle jako nosiči
- Radium se mělo vstřebat v tlustém střevě, prostoupit takto do krevního oběhu, a následně distribuováno do celého těla – tedy oslabených orgánů, které potřebují vitalizovat. Po zajištění dlouhodobých zdravotních benefitů mělo být radium postupně vyloučeno během asi tří dnů
- Výrobce garantoval neprostou neškodnost přípravku
- Doporučovala se kombinace s tabletami NU_MAN, též na bázi radia



VITA RADIUM SUPPOSITORIES

OUR VITA RADIUM SUPPOSITORIES (HIGH STRENGTH) are one of the outstanding triumphs of Radium Science. These Suppositories are guaranteed to contain REAL RADIUM—in the exact amount for most beneficial effect. They are inserted per rectum, one each night, this being one of the several practical and successful ways of introducing Radium into the system.

After insertion, the Suppository quickly dissolves and the Radium is absorbed by the walls of the colon; then, within a few minutes, it enters the blood stream and traverses the entire body. Every tissue, every organ of the body is bombarded by its health-giving electric atoms. Thus the use of these Suppositories has an effect on the human body like recharging has on an electric battery.

Actual Size of Suppository

Radiendocrinator

Radiendocrinator provided you with a **stack of radioactive cards**

Sleeping every night with radium **pressed against your gonads** was supposedly a sure way to reinject that lost vigor into your days.

Its inventor, a regular user of the device, died of bladder cancer.

"Degnen's Radio-Active Eye Applicator"

- The label on the box identifies the item in the above photograph as "Degnen's Radio-Active Eye Applicator" and indicates that it was manufactured by the Radium Appliance Company of Los Angeles, California.
- The lenses were available in three strengths: single (X), double (XX) and triple (XXX). Based on the measured exposure rate at one foot (ca. 10 to 15 uR/hr above background), I would estimate that the Ra-226 activity of the double strength (XX) device shown here is approximately 1 uCi. Not particularly "hot," but definitely cool.
- Quoting the manufacturer's literature: "the Radio-Active lenses will be found helpful in imperfect refraction, MYOPIA or Nearsight, HYPERMETROPIA or Farsight, PRESBYOPIA or Oldsight, HETROPHOBIA or difficulty in focussing."
- "Headaches, caused by eyestrain and other eye disorders, can be quickly relieved by the use of the lenses."

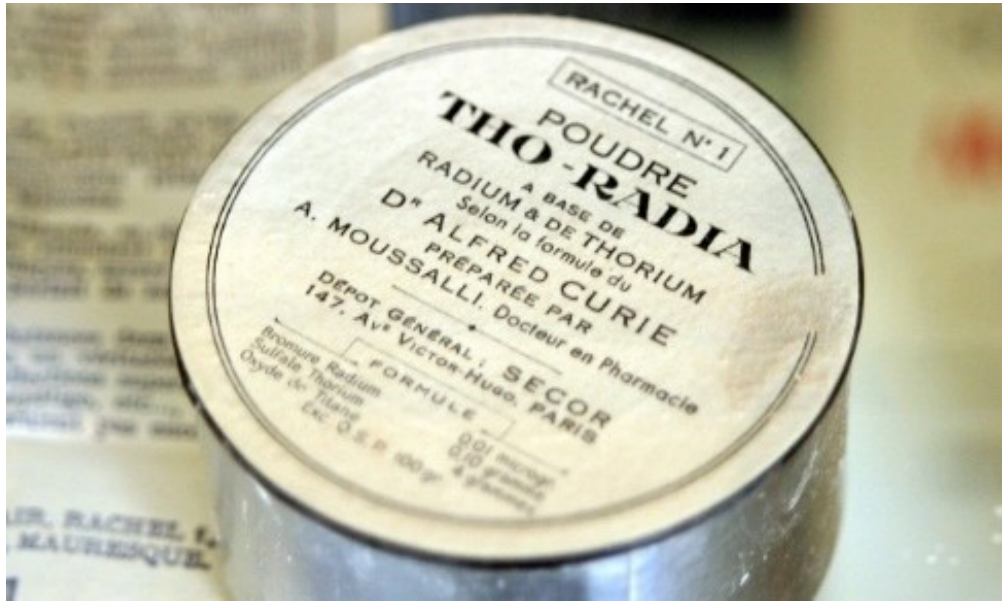
Radium Hand Cleaner – všemocná léčící a čistící pasta na vše živé i neživé

- Kolem roku 1910 (to není tak dávno!!!)
- Pasta rychle odstraňující maz, barvu, asfalt, korozi atd., **bez iritace kůže**
- Kůži naopak čistí a léčí
- **Doporučováno pro “kotlíky, pánve, vědra, grily, čajové konvice, atd.”**

Leštidlo na boty

Tho-Radia Beauty Products

- Po bezprecedentně dokonalém **vyčištění** pokožky čistícími přípravky s příměsí rádia / thória bylo možné postoupit k dalšímu ošetření pleti a zkrášlování pomocí celé Tho-Rádiové řady produktů: **parfémů**, **krémů**, **obličejových pudrů**, **rtěnek** a dalších výrobků.
- Produkty zaručovaly omlazení a projasnění pokožky, a vůbec všechny benefity, co si jen lze představit.
- Tho-Radiové produkty byly pyšně propagovány pod záštitou dr. Alfreda Curie. Tento doktor překvapivě skutečně existoval a takto se jmenoval, neměl však žádný vztah k manželům Curie, jak se snažila reklama navodit dojem.



"Tho-radia" pudr

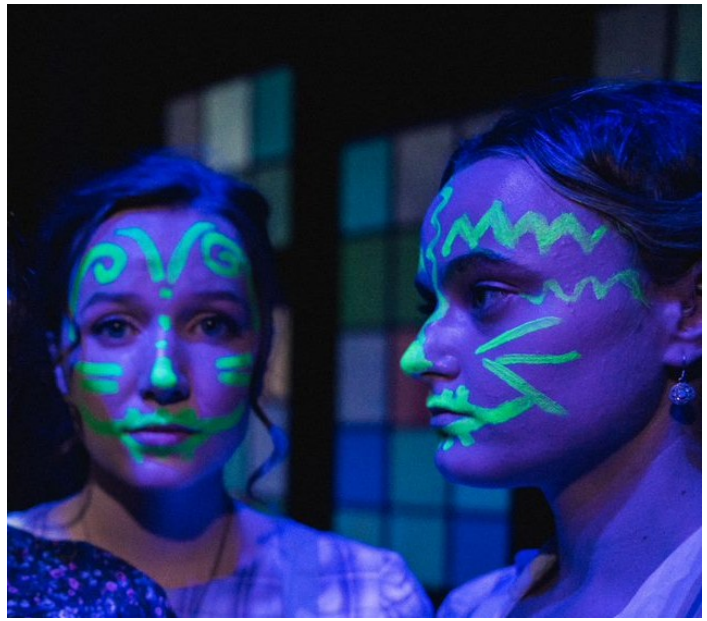
Princess Radium Lingerie & cosmetics

Korzety a spodní prádlo s příměsí rádia / thória

Prvně patentováno v Paříži roku 1937

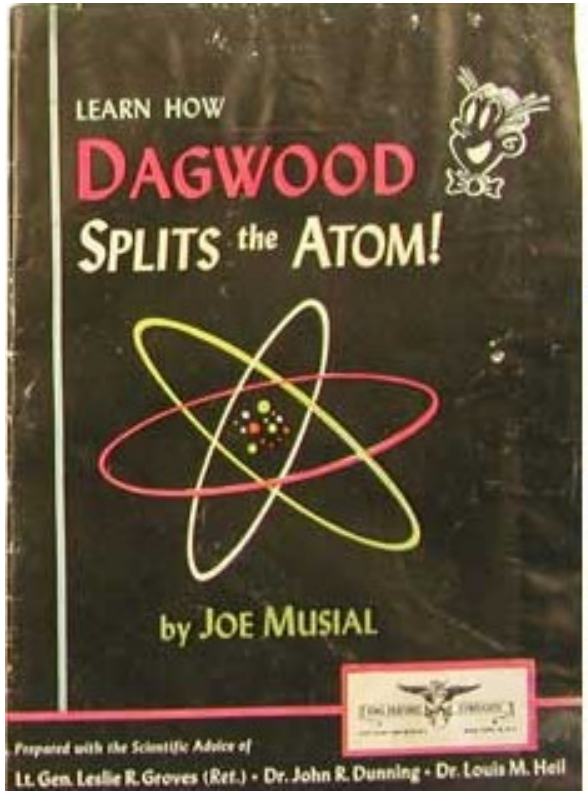
Radioaktivní materiály měly zajistit stimulující, posilující, léčebné, antibakteriální, a ... účinky

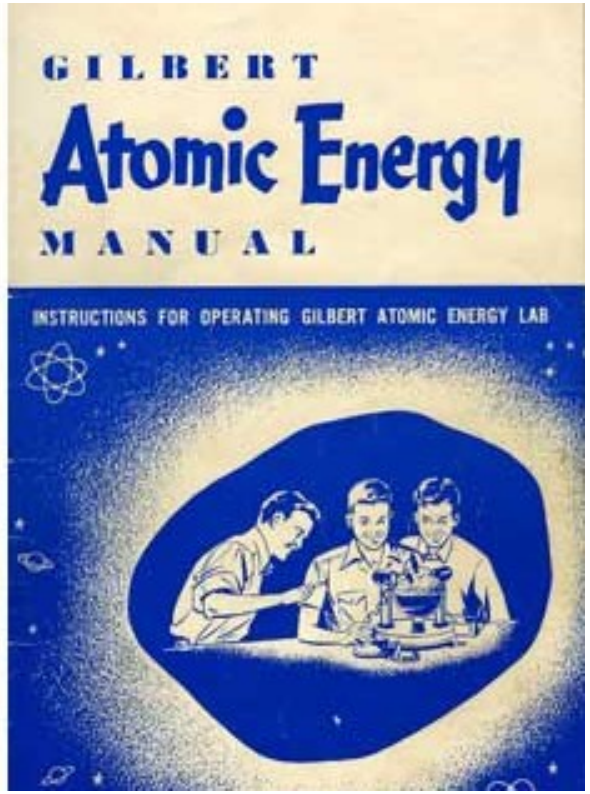
(a patrně i oslnit ostatní přítomné ;-))



Radium (Undark) Girls

Síla rádia pro zábavu, bezpečnější sex
a účinnější antikoncepci účinnější





Children toys…

- The Gilbert Atomic Energy Lab –
- Patrně nejnebezpečnější dětská hračka
- Prodávána pouze : 1950-51
- Prodejnost však malá – ne kvůli této nebezpečnosti, ale pro svou enormní cenu, tehdy $50 (dnes cca. $400)

The Gilbert Atomic Energy Lab - pokračování

Mezi ingredience „stavebnice“ patily např.:

- Uranová ruda
- ^{210}Pb (α + β zářič)
- ^{106}Ru? (čistá β-zářič)
- a ^{65}Zn (γ-zářič),
- spintariscop (pro počítání záblesků vznikajících při dopadu ionizujících částic na povrch materiálu; záblesky je možno pozorovat na stínítku zařízení lupou-okulárem)
- mlžnou komoru pro detekci a-částic
- Electroscop
- Geigerův počítač (který asi zejména umožňoval rodičům změřit kontaminaci jejich dětí ;-))
- manuál,
- Komixovou knihu Dagwood Splits the Atom
- A vládní manuál “Prospecting for Uranium.”

Pokud se stavebnice osvědčila, avšak děti stihly radioaktivní zdroje rozprášit po okolí – žádný problém, rodiče mohli svým ratolestem doobjednat nové ;-)

Batschari Radium Cigarettes

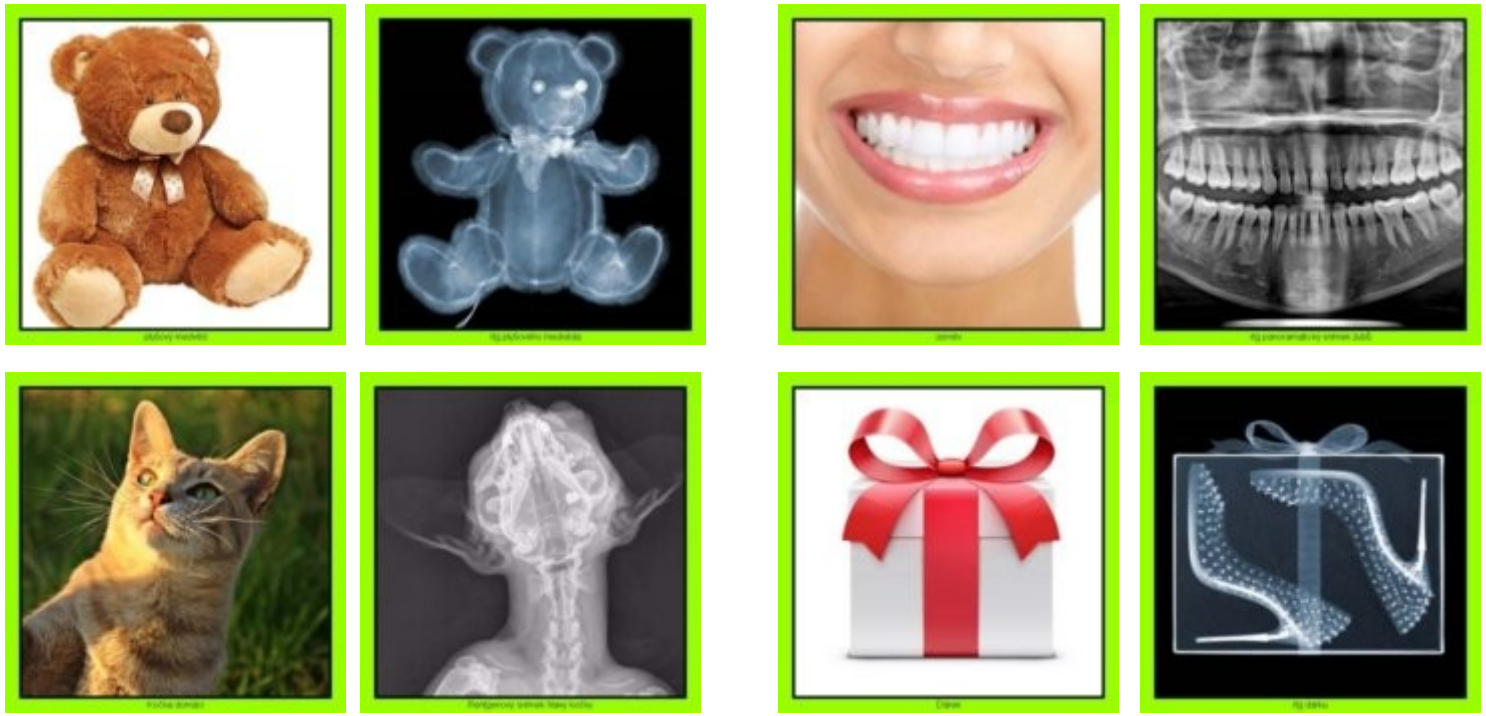
the Batschari tobacco company in Baden-Baden, Germany made radium cigarettes between 1910 and 1915.

A mezitím, co si děti spokojeně hrají a září úsměvem, rodiče si mohou dopřát trochu relaxace s povzbudivými, omlazujícími, léčivými,... CIGARETAMI S RADIEM

Jsou pravé! Iva Kubelková podala důkaz o původu svých čtyřek, které zaujaly i Jardu Jágra

- https://www.super.cz/500276-jsou-prave-iva-kubelkova-podala-dukaz-o-puvodu-svych-ctyrek-ktere-zaujaly-i-jardu-jagra.html

STAVEBNICE „MLADÝ ROENTGEN“
a další zajímavosti



https://www.orau.org/health-physics-museum/collection/radioactive-quack-cures/index.html

Účinky Ra na lidský organismus , radioterapie

Henri Becquerel i Pierre a Marie Curie i někteří další si postupně povšimli, že když si chtěně či nechtěně přiložili skleněnou rádium ke kůži, pocítili pálení a došlo k těžce a dlouho se hojícímu spálení podobnému silnému spálení od Slunce

Tehdy se nádory léčily vypalováním, a tak zde byl jen krůček k nápadu využít rádium pro terapii nádorů

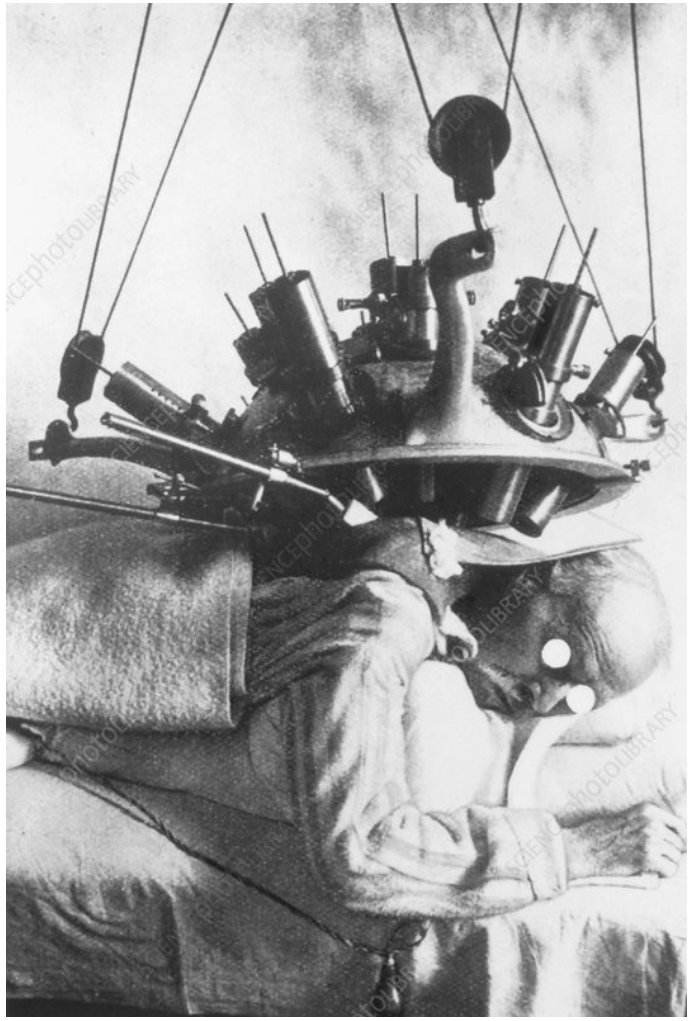
Skleněné nádoby s rádiem všité do bandáží se přímo přikládaly k nádorům

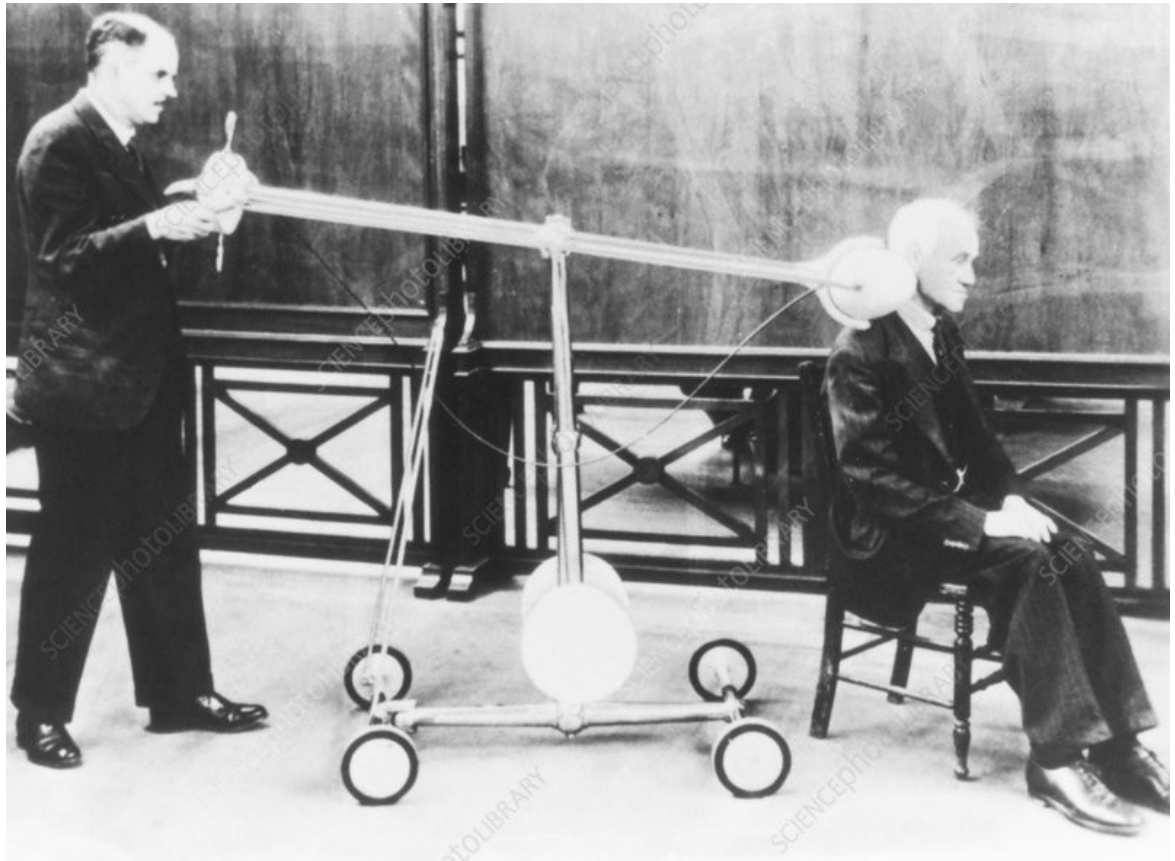
Radium ale velice drahé: 1 g Ra = 7 tun uranové rudy (1908 – 1 g Au = 66 centů, 1 g Ra = 88 tis USD)

Mask for radium treatment for cancer of the neck and face. http://t.co/Yf52s5yAKE

RADIUM V LÉKAŘSTVÍ

První pokusy o prostorově frakcionovanou terapii

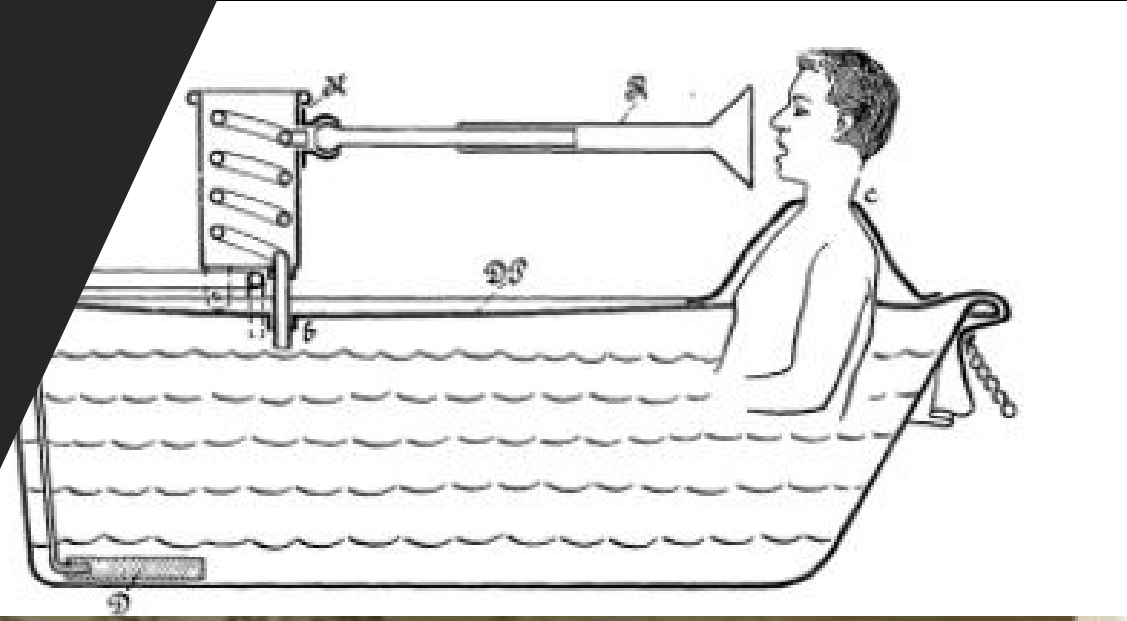




Radium therapy. Man with neck cancer receiving radiotherapy treatment from a Flint radium "bomb", designed in 1934 for four hospitals in London, England. This bomb produced radiation from four radium sources placed close to the patient's skin. Each source focused on the cancer from a different angle, so that this was the only tissue that received radiation from all four. At left, the doctor can be seen adjusting the bomb.

Jáchymov – radioaktivní koupele

- Becquerelův objev znamenal pro Jáchymov nový rozkvět.
- Už v roce 1909 tu byly zřízeny **<u>první radioaktivní lázně na světě</u>**.
- V lázeňském paláci Radium se léčily nemoci pohybového ústroji, nervové i cévní.



- V 50. letech našeho století se náhle stal **uran nejhledanější surovinou světa**. Světa, ve kterém hlavním trumfem **byla atomová bomba**.
- Do Jáchymova opět plynuly obrovské částky peněz, zároveň se tu však rodila **smrt**, **bolest**, **strach** a zoufalství.
- V uranových dolech byli v nepředstavitelně krutých podmínkách nuceni dobývat strategickou surovinu pro Sovětský svaz českoslovenští **političtí vězni**.
- **Tisíce jich to zaplatilo životem nebo poškozeným zdravím**. **Veškerá těžba byla odvážena do Sovětského svazu**, aby z ní byl vyroben jaderný arzenál.
- Po vyrabování zásob skončila již podruhé (tentokrát poněkud pochmurná) sláva města, které mimoděk stálo na začátku nové epochy - epochy atomové energie.

První procitnutí – nebezpečí IZ

- Už v roce **1901 Becquerel** - patrně jako vůbec **první člověk - doslova na vlastní kůži zjistil, že radioaktivita není jen úžasná ale i zhoubná**. Když v dubnu toho roku nosil nějaký čas vzorek uranové sloučeniny v kapse u vesty, krátce na to se mu v těch místech na těle objevila **spálenina**. Rána se nehojila a nakonec pomohl jen radikální chirurgický zákrok.

- Pravděpodobně i proto **se Antoine Henri Becquerel** ze svých úspěchů příliš dlouho netěšil. **Zemřel** v Le Croisic 25. srpna roku 1908 **ve věku pouhých 55 let**. Mnohé nasvědčuje tomu, že na jeho předčasné smrti se podepsala především radioaktivita - jako ďábel, který za úpis zařídí úspěch, ale nikdy nezapomene na řádné splacení dluhu.
- Marie Curie-Skłodowská kvůli dlouhodobému styku s radioaktivními prvky zemřela na anémii roku 1934.

První procitnutí (nebezpečí IZ) Předčasná úmrtí prvních badat

- **Marie Curie-Skłodowská** – aplastická anémie (selhání krvetvorby), rok 1934, **66 let (i jedno posmrtné prvenství** – jako první žena pohřbena ve francouzském národním mauzoleu Panthéonu, v olověné rakvi)
- **Antoine Henri Becquerel** – popáleniny kůže ale příčina smrti neznámá, rok 1908, **55 let**.
- **Pierre Curie** – zabit spřežením (nepozornost, částečně i již špatnému zdraví v souvislosti s radioaktivitou?), rok 1906, **46 let**
- **Irene Joliot-Curie** – akutní leukémie (accidentaly exposed to Po), rok 1956, **58 let**
- **Frederic Joliot** – nemoc jater (též vlivem radiace), komplikace při chirurgickém zákroku, rok 1958, **58 let** (stejně jako Irene)
- **Wilhelm Roentgen** – rakovina střev, rok 1923, **78 let**

(nepracoval s otevřenými zdroji IZ a ne tak intenzivně)

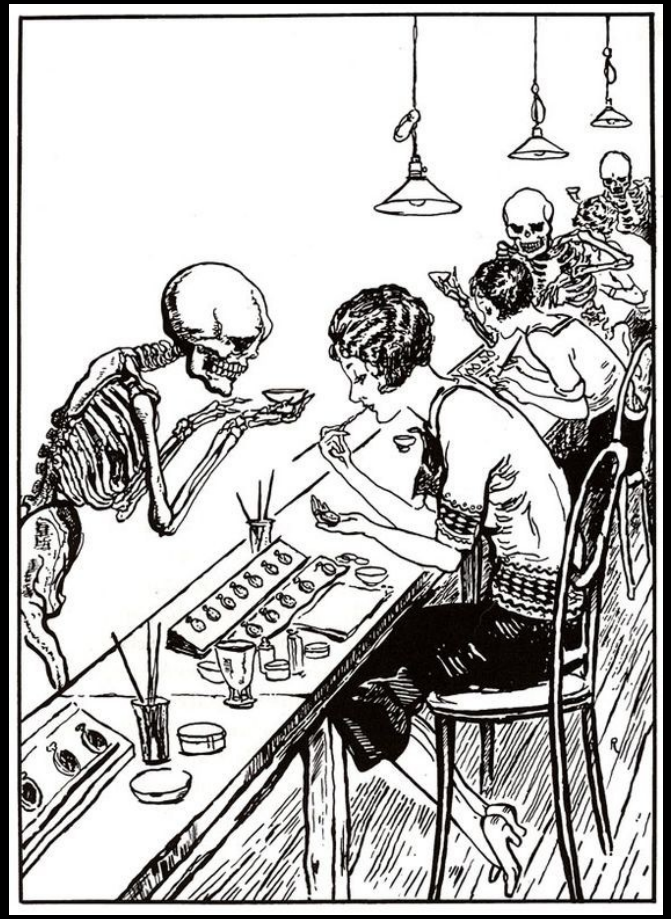

ÉCRASÉ PAR UN CAMION

MORT TRAGIQUE DE M. CURIE

Le grand savant qui collabora à la découverte du radium a trouvé la mort, hier, sous les roues d'un camion — La science française en deuil.

Radium Girls

- **Between 1917 and 1926**, the *US Radium Corporation* hired women to paint the faces of watches with ***Undark***, a revolutionary luminescent paint made from radium salt.
- …they **shape and clean the tips with their tongues and lips**. They repeated this mechanical action several hundred times a day, …, unaware of the extreme toxicity of the radium ....

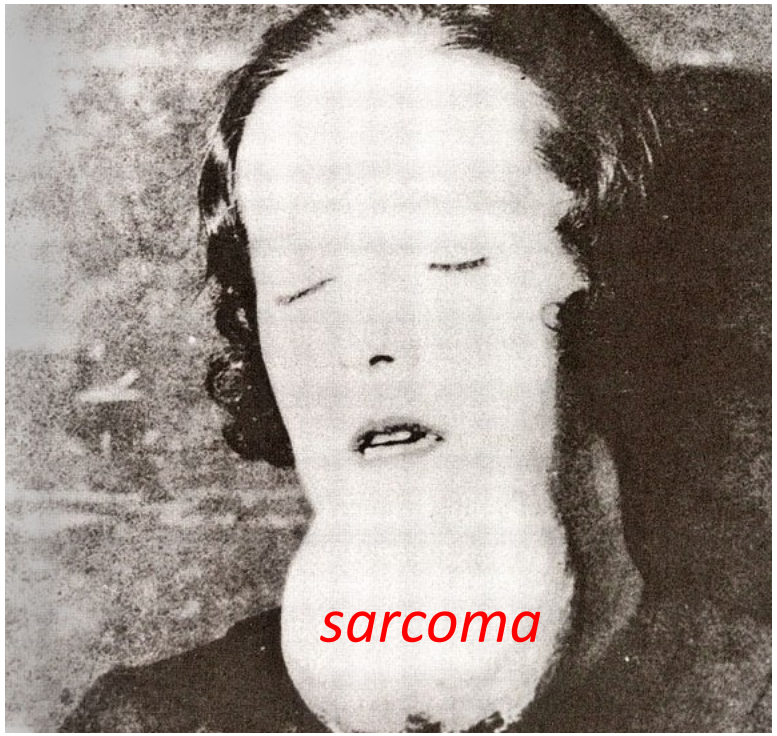


RADIUM GIRLS

.... Sometimes **they would paint their fingernails and teeth glow-in-the-dark** to surprise their boyfriends after work.

Radium Girls - SARKOMY

- Ra biologicky podobné Ca
- (akumulace v kostech)



SMRTÍCÍ POLONIUM

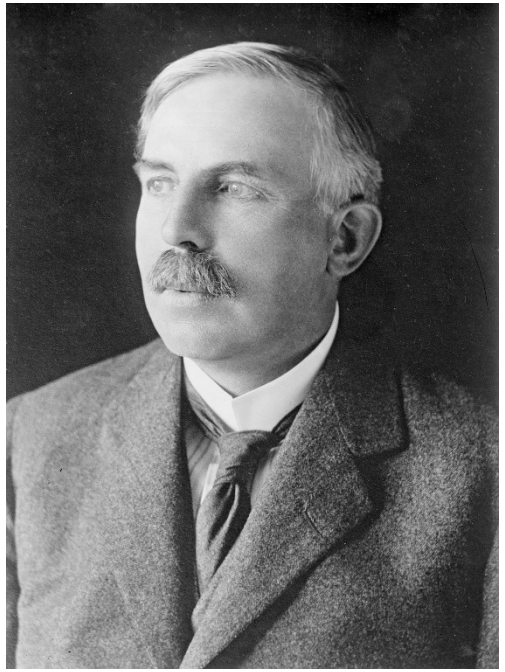
- Po = jedna z nejtoxičtějších substancí
- 10^{12} times ore toxic than hydrogen cyanide, HCN.
- Alfa emiter → nebzpečné při vnitřní kontaminaci
- **Irène Joliot-Curie (dcera M.C.)** 17. března 1956 (59 let) zemřela na leukémii způsobenou zářením (z velké části díky práci s Po), kterému byla celý život vystavena.
- **Alexander Litvinenko** – ruský agent otrávený Rusy
- **Yasser Arafat** možná též otráven Po (palestinský terorista na kterého měl dlouho spadeno Mosad).

Alexander Litvinenko

RADIOAKTIVITA = energie uvolněná při přeměně prvků

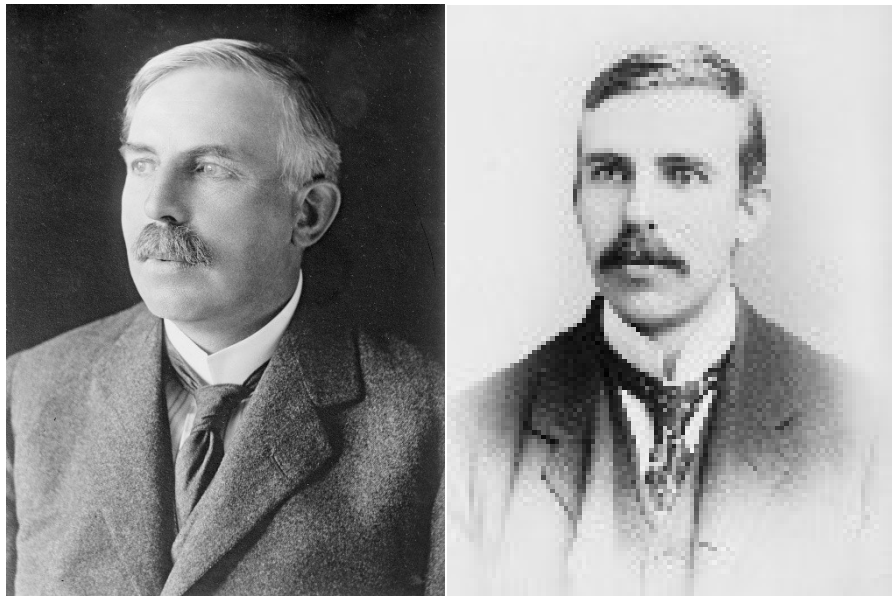
- v roce 1899 Marie Curie objasnila podstatu radioaktivního záření:
- Radioaktivní záření považovala za vedlejší produkt rozpadu atomových jader.
- Usoudila, že jádra těžkých atomů se zbavují vyzařováním svých částí, čímž se tyto prvky mění na jednodušší.

Rutherford + Soddy

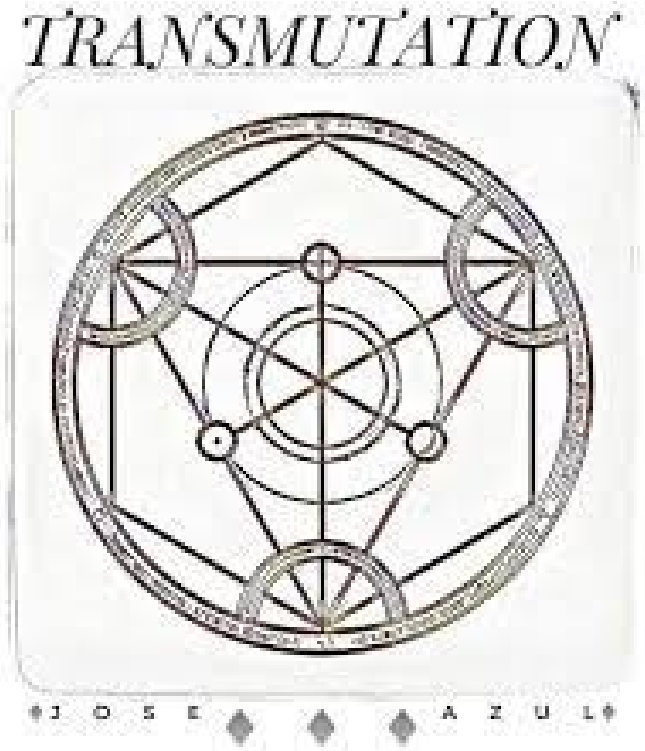


- M + P Curie – na oslavu Nobelovy ceny uspořádali zahradní párty, kde Pierre ukázal lahvičku s radiem - Ernest Rutheford, mezi přítomnými, se podivoval, proč tato látka září
- Ernest Rutherford se „spolčil“ s Frederickem Soddym (chemik) a studovali uran a thorium

Rutherford + Soddy

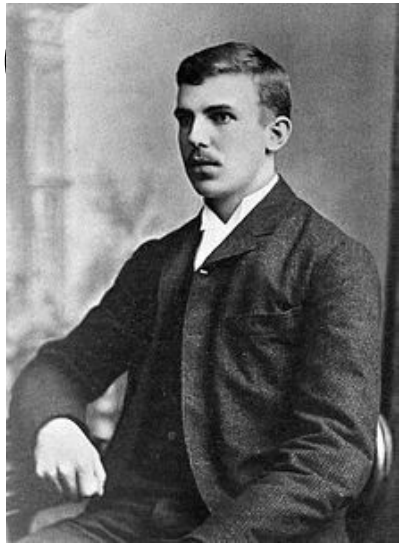


- **Soddy: *„Rutherforde, tohle je transmutace“***
- **Rutherford**: *„Proboha, nenazývej to transmutací. Nebo nám nechají setnout hlavy jako alchymistům“*

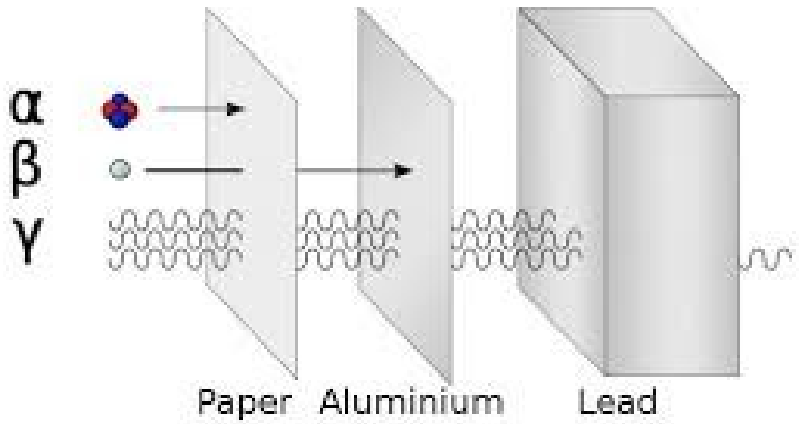


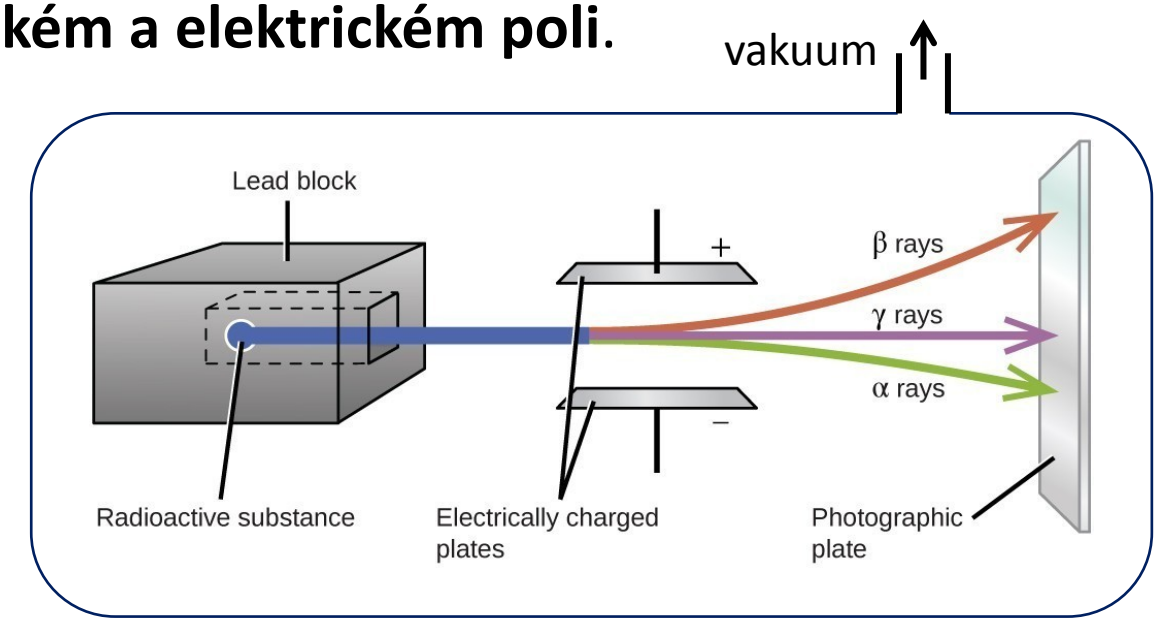
- dospěli k převratnému závěru, že **radioaktivita je atomárním jevem**, jehož podstatou je nestabilita atomů některých chemických prvků, <u>jež se samovolně přeměňují v atomy prvků jiných za současné emise (radioaktivního) záření</u>
- <u>Objev Rn (radonová emanace) jakožto rozpadového produktu Ra</u> (když Ra uzavřeno ve zkumavce, rostla významně radioaktivita, která opět klesla po jejím otevření); mnohé zdroje uvádějí špatného objevitele!

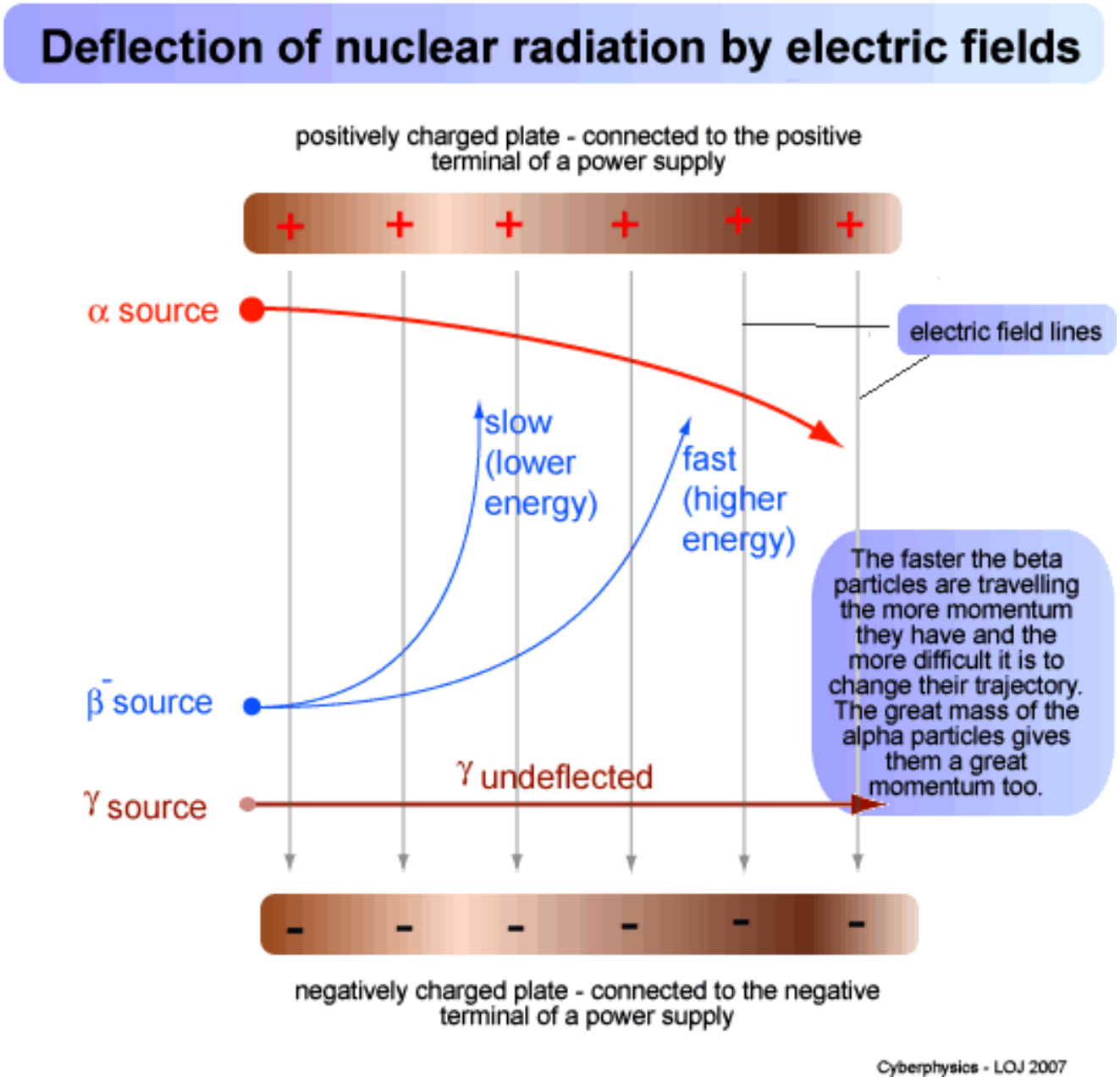
Další mezníky: objev p^+ a n



- **Ernst Rutherford**, novozélandský fyzik, 1871 – 1937
- 1897/98 **rozlišil podle pronikavosti dva druhy radioaktivního záření**,
- snadněji absorbovatelné záření **alfa**
- a pronikavější záření **beta**.
- Zjistil **odklon záření alfa a beta v magnetickém a elektrickém poli**.



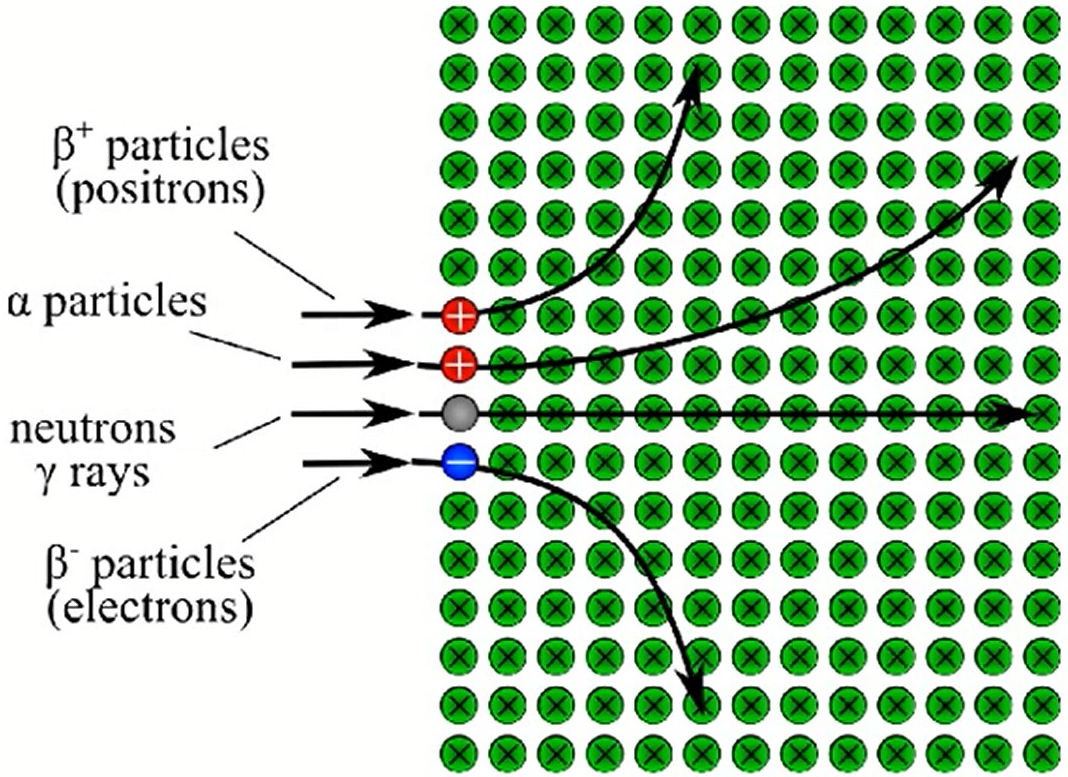




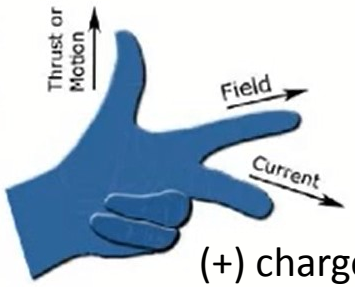
- Beta Particles in an electric field: Beta particles are attracted to the positively charged plate. This confirms that they are negatively charged.
- A beta- particle (β-: a high-energy, fast-moving electron) has much less mass than an alpha particle (a helium nucleus) - it has mass of 1/7300 of an alpha particle. A typical velocity for an alpha particle is about 16 km/s, whereas the typical speed of a beta particle is about 270 km/s - about 17 times the speed. But despite the greater speed, the larger mass makes the alpha particle have a lot more momentum than the beta particle. Therefore, an alpha particle is deflected less that a beta particle in a given electric field because of its higher momentum.
- Beta particles are fast moving electrons with a very low mass and so have a high charge to mass density. They are deflected much more than the heavier alpha particles.
- Higher level: A positron (β+) would be deflected in a similar manner to the β- particle but in the opposite direction because it has a positive charge.

Deflection of Charged particles

In both magnetic and electric fields



Flemingovo pravidlo levé ruky



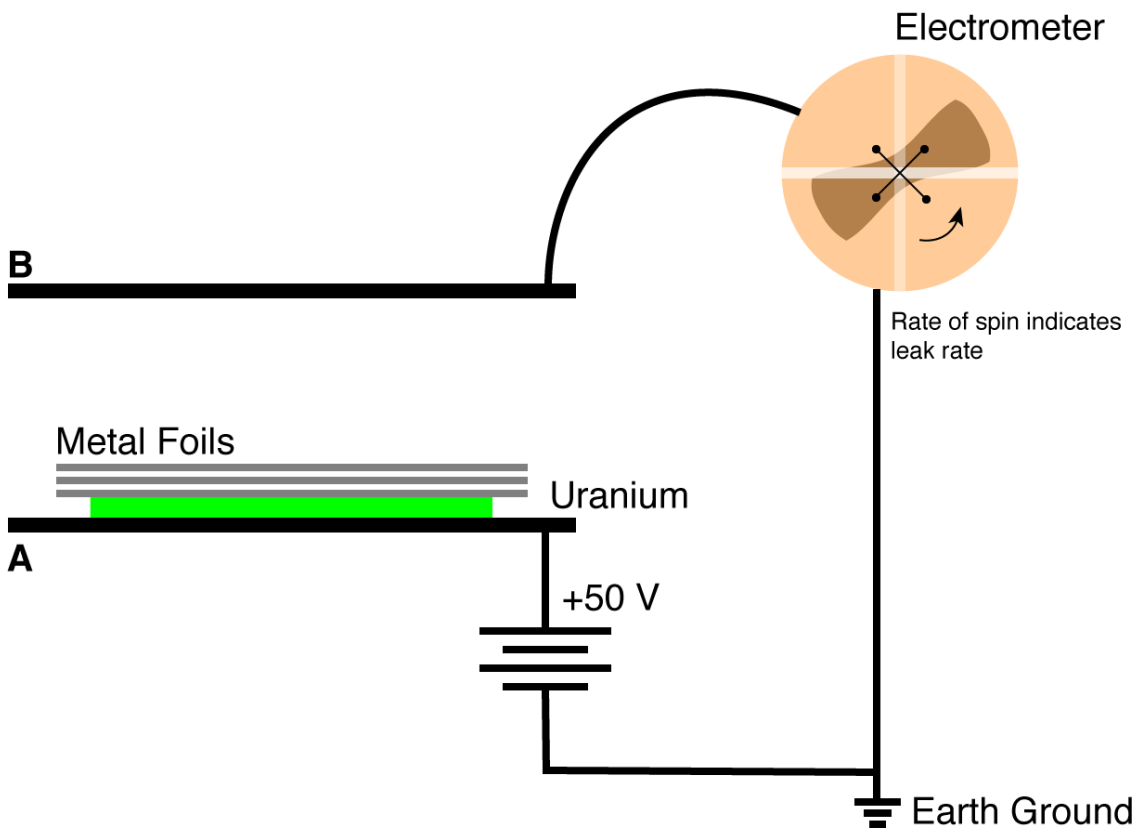
(+) charge direction

https://www.youtube.com/watch?v=k4xF4Mo2lL0

Aurora borealis

Slunce (nepravidelnosti v jeho magnetickém poli) → vytváří sluneční skvrny → erupce částic (elektronů, protonů…) → sluneční vítr → interakce s magnetickým polem Země (které je nejsilnější v polárních oblastech) → stáčení el. nabitých částic po spirálách k zemské atmosféře → srážky s atomy kyslíku nebo dusíku (v horních vrstvách zemské atmosféry) → excitace nebo ionizace těchto atomů.

Rutherford's Experiment to Understand β-Rays

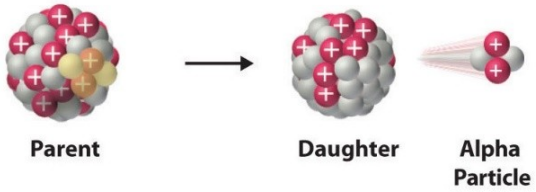
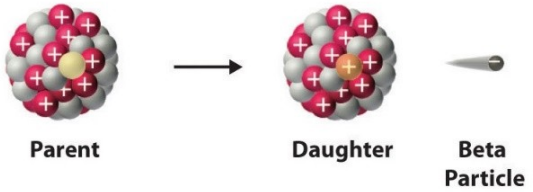
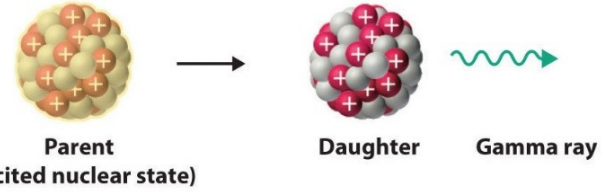


- This helped to confirm the work of Becquerel, showing that there were two components of the ionizing radiation
- While Becquerel's works suggested the existence of the two types of rays, there was still little understanding of their nature.

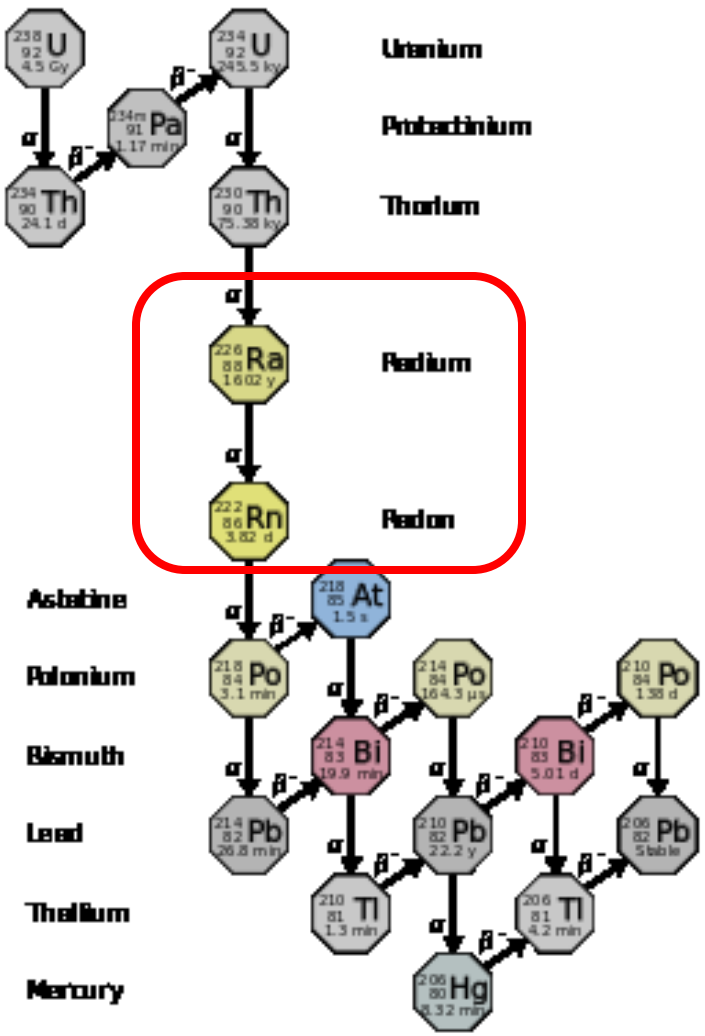
Rutherford – tři druhy radioaktivního záření

V roce 1903 si uvědomil, že typ radiace objevený (ale nepojmenovaný) francouzským chemikem **Paulem Villardem** při pokusech s radiem v roce 1900, <u>nemůže být alfa či beta zářením, protože je mnohem pronikavější</u> → pojmenoval tento nový druh záření jako **paprsky gama**

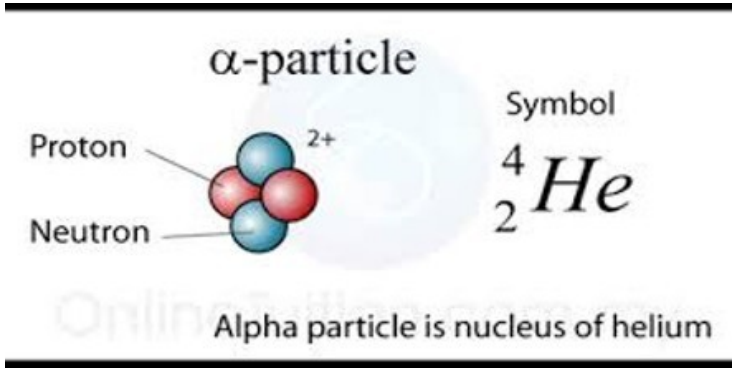
Paulem Villardem, studoval paprsky X

Decay Type	Radiation Emitted	Generic Equation	Model
Alpha decay	${}^{4}_{2}\alpha$	${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^{4}_{2}\alpha$	
Beta decay	${}^{0}_{-1}\beta$	${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}X' + {}^{0}_{-1}\beta$	
Gamma emission	${}^{0}_{0}\gamma$	${}^{A}_{Z}X^{*} \xrightarrow{\text{Relaxation}} {}^{A}_{Z}X' + {}^{0}_{0}\gamma$	

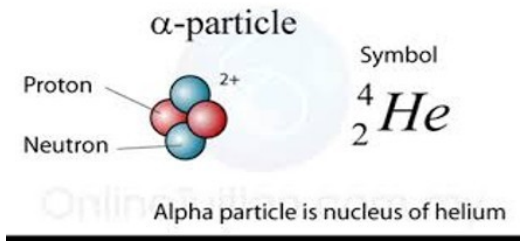
- V roce 1900 Rutherford zjistil, že nej(radio)aktivnější prvek není samotné rádium, ale radioaktivní plyn vznikající v důsledku rozpadu rádia. Spolu s Fredericem Soddym přezkoumali vlastnosti tohoto plynu a zjistili, že se podobá vzácným plynům.
- **Tak byla poprvé objevena samovolná přeměna jednoho chemického prvku v jiný, a byl objeven nestálý prvek radon**.
- Když v roce 1904 William Ramsay a Frederic Soddy zpozorovali nápadný výskyt helia kolem radioaktivních sloučeninách rádia, domnívali se, že **helium se tvoří z rádia**.
- Spolu s **Thomasem Roydsem** provedli pokusy (1909), kterými určili, že hélium v okolí α-zářičů vzniká z **alfa částic, jež představují jádra hélia**, tedy $^{4}_{2}He^{2+}$

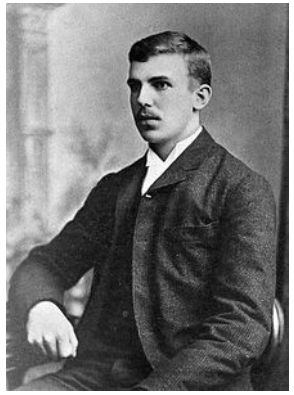


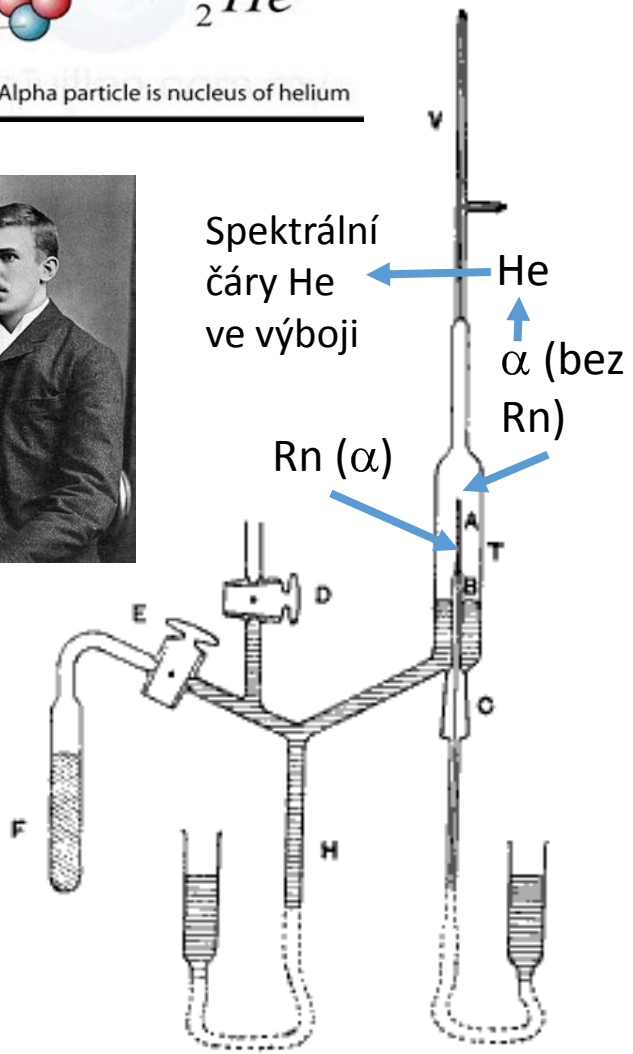
- Dále určil, že elektrický **náboj alfa částice je 2+**.



Záření alfa = jádra hélia







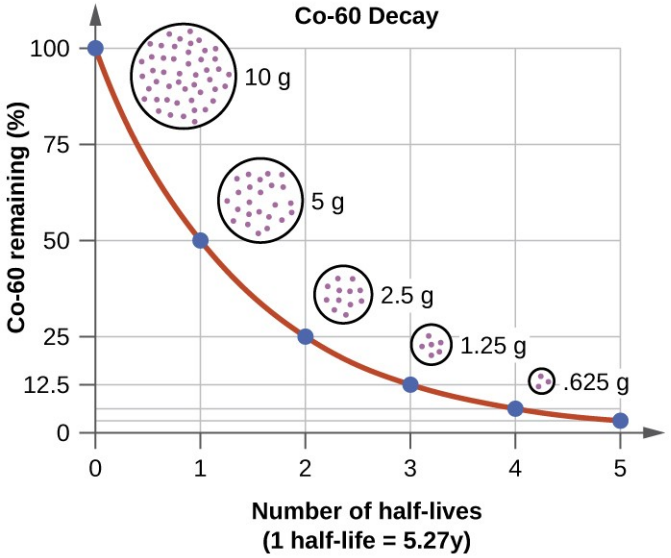
- Skleněnou trubičku (**A**) z tenkých stěn naplnili radonem, jako zdrojem částic alfa. Tloušťka stěn byla asi 0,01 mm, takže **většina částic alfa jimi prošla**.
- **Naopak atomy radonu s menší kinetickou energií stěnami difundovat nemohly**.
- Trubička A byla obklopena ještě širší trubicí (**T**), ke které přitavili výbojovou trubici s elektrodami (**V**).
- **Částice alfa hromadící se v širší trubici** (případně ve rtuti) (**T**) **se neutralizovaly (přijaly elektrony) na atomy helia**, které difundovaly do evakuovaného prostoru a po stlačení se přemístily do kapilární výbojové trubice (**V**).
- Po šesti dnech při elektrickém výboji **zjistili spektrální čáry helia**. Tím bylo dokázáno, že částice alfa jsou ionty, tj. jádra helia.

D – ventil pro napojení pumpy pro evakuaci trubice V
F – dřevěné uhlí pro dokončení evakuace trubice V (chlazené vzduchem)
H – zásobník rtuti – rtuť se přiváděla do trubice T až po spodek trubice A

Rutherford: alpha-particles and radioactive decay half-time (Tm)

- *Alpha rays are in fact positively charged helium atoms that become true helium when they slow down and their charge is neutralised by picking up electrons.*
  Beta rays were later shown to be made up of electrons, and gamma rays to have a shorter wavelength than X-rays.

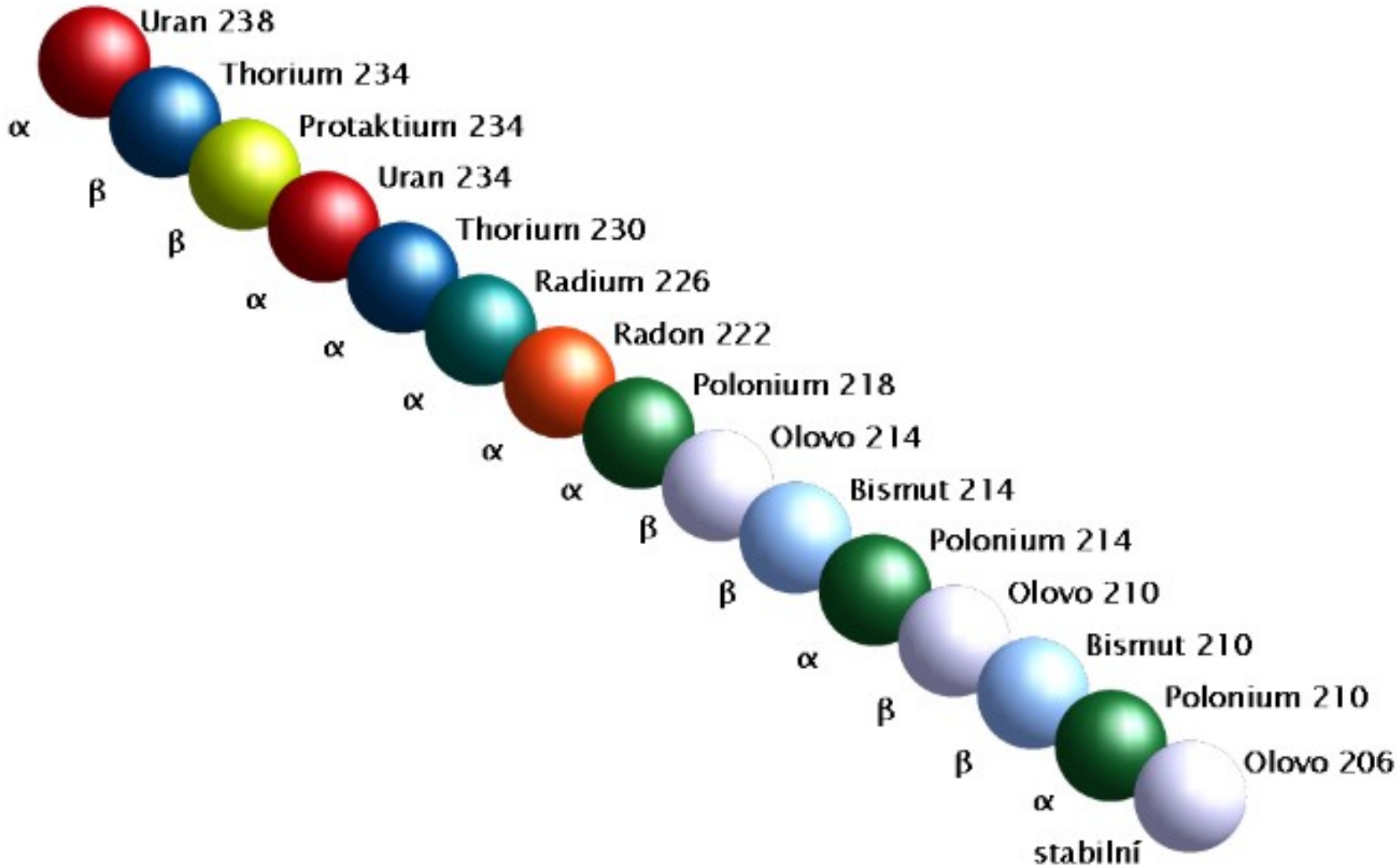
- with Frederick Soddy, he showed that over a period of time, half of the atoms of a radioactive substance could disintegrate. During the process the substance spontaneously transmuted to other elements. During radioactive decay, one kind of atom (radium) was ejecting another kind of atom (helium).



Rutherford + Soddy

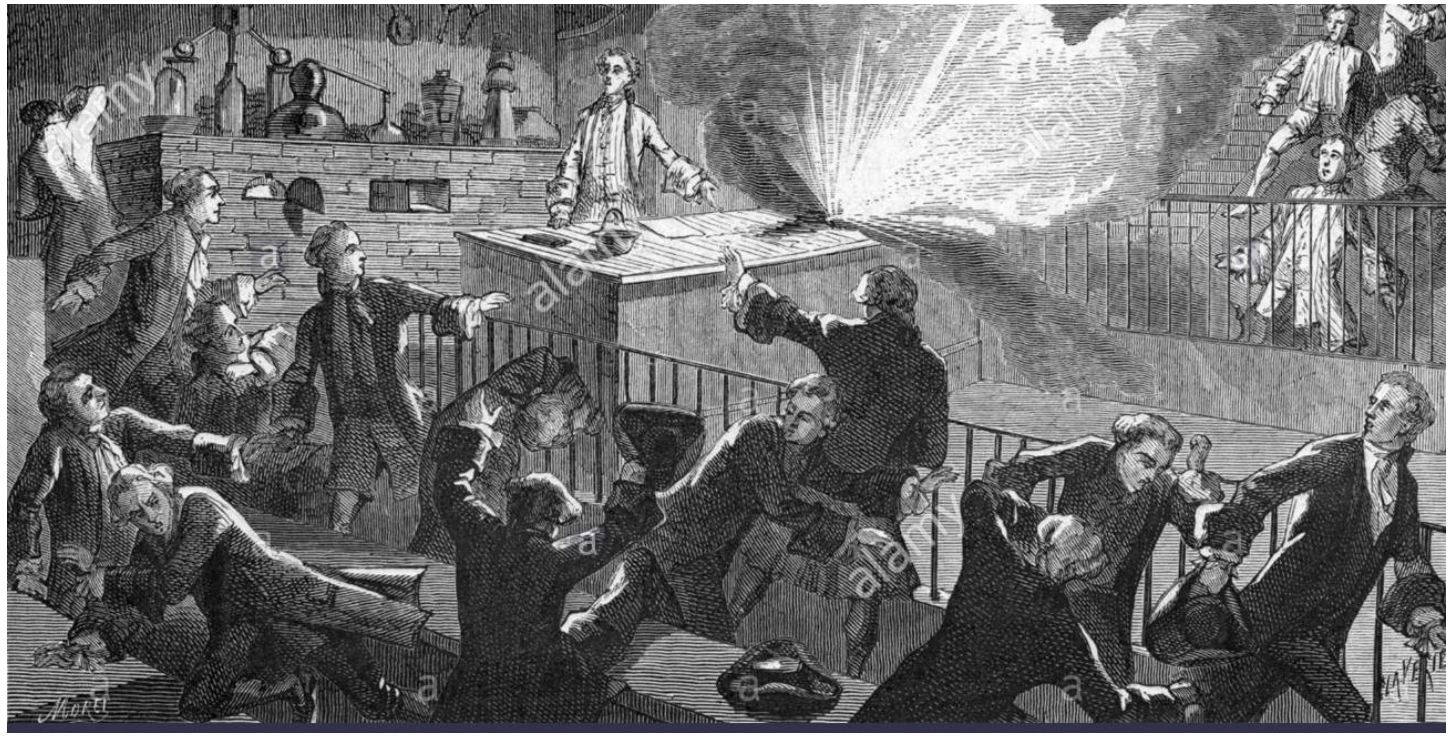
- prvek záleží na počtu protonů v jádře (vodík – 1, ale U – 92!!). U je tak těžký, že tím „trpí“ a zbavuje se proto svých částí (alfa částice), čímž se mění na prvek jiný
- U → Thorium → Protaktinium → ..Radium → Radon → Polonium → celkem 14 generací „dcer“ – poslední je olovo
- systemizoval dosavadní poznatky a **uspořádal radioelementy do skupin**, jejichž členy byly vzájemně svázány radioaktivními přeměnami.
- Dospěl ke konečnému výsledku, jímž je **detailní popis tří rozpadových řad**: **uranové**, **thoriové** a **aktiniové** (velmi významně přispěl Bertram Boltwood, 1870 – 1927)
- Rozpadem U se postupně uvolňuje energie – kdyby ji někdo dokázal z atomu dostat najednou, měl by v rukách ohromnou moc
- Postulování exponenciálního rozpadového zákona a poločasu rozpadu
- Rutherford navrhl využít měření aktuálního množství výchozího a koncového elementu rozpadového procesu ke stanovení délky jeho trvání, t.j. k určení stáří vzorku. Tímto postupem, jenž **je ideovým základem současné metodiky radioaktivního datování**

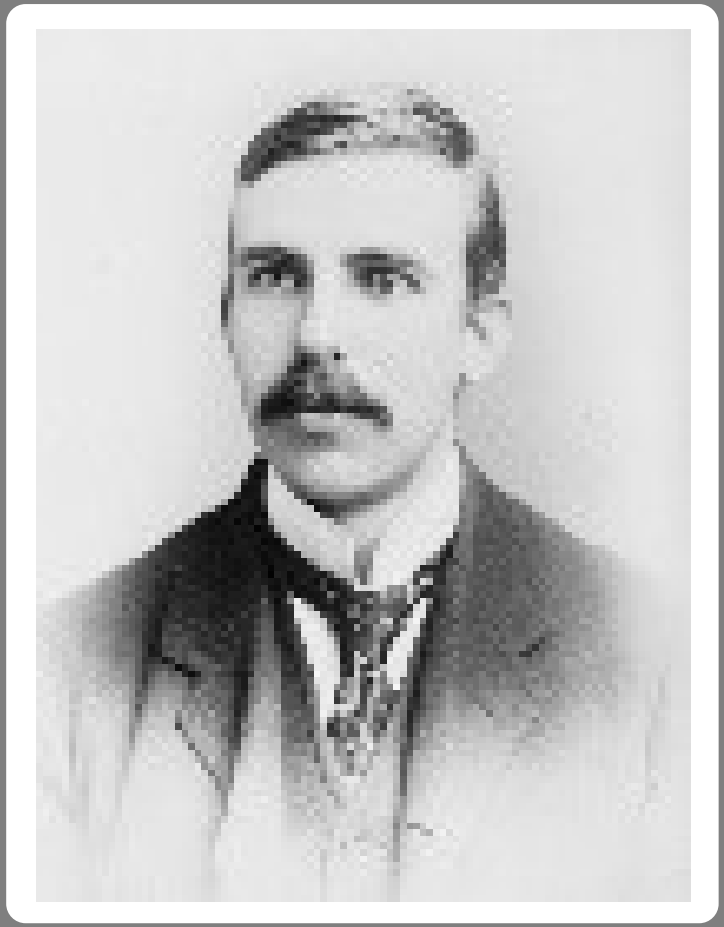
Rozpad uranu 238



RADIOAKTIVITA = energie uvolněná při přeměně prvků

- Svým způsobem tak Marie Curie a Rutherford rehabilitovali dávné alchymisty, kteří usilovali o transmutaci prvků - jen poněkud nestandardními metodami.





Opět Frederick Soddy

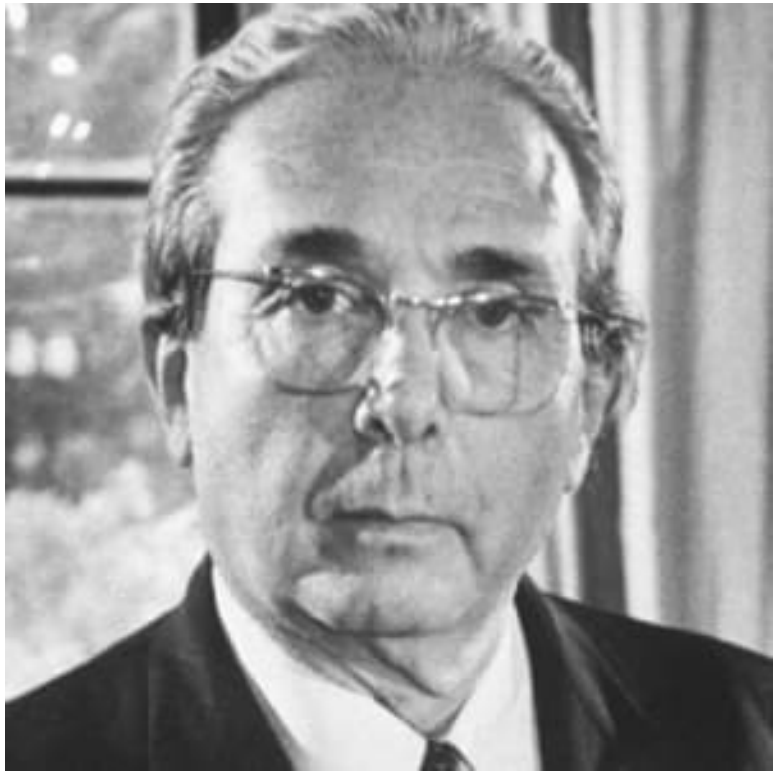
- Prvním, kdo spekuloval o využití jaderné energie byl Frederick Soddy:
- „*Člověk, který dostane do rukou tuto energii, jako by vlastnil zbraň, kterou by mohl zničit Zemi, kdyby chtěl*.“

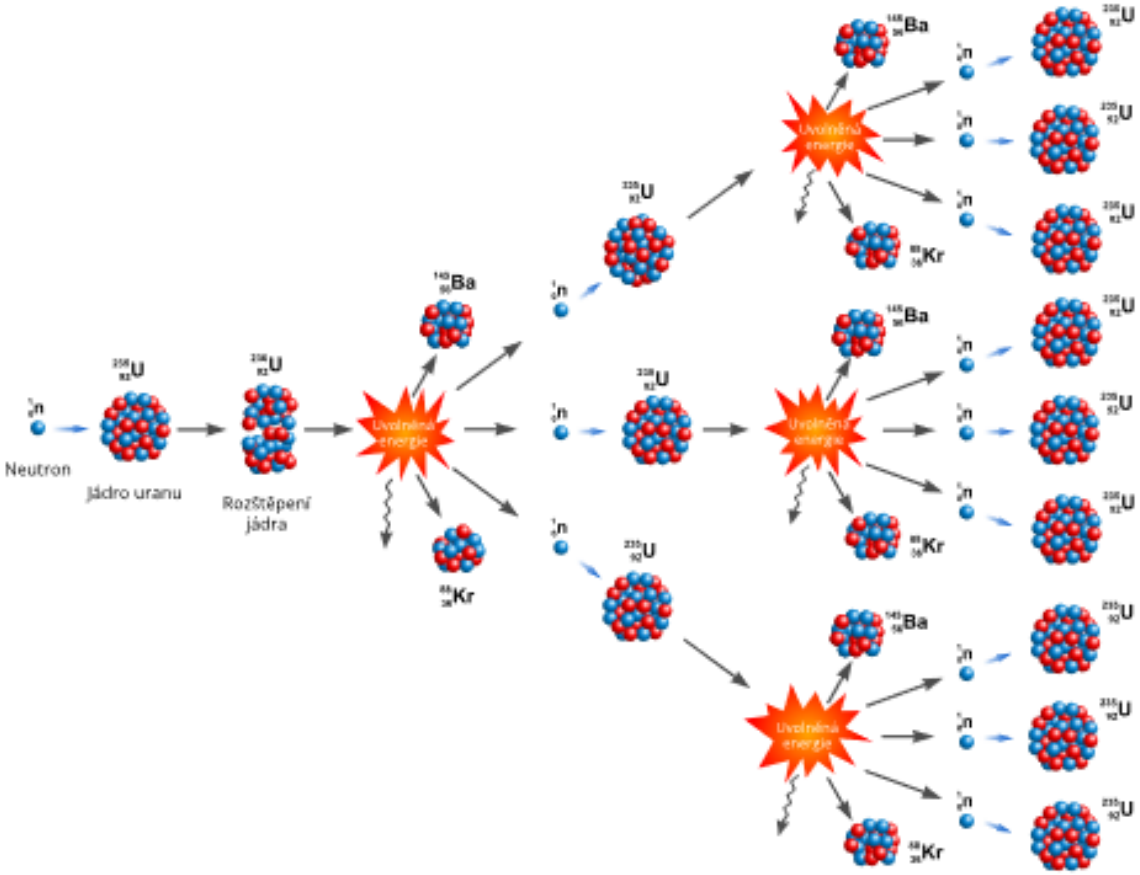
Herbert George Wells (Sci Fi spisovatel):

- **1914:** – novela **Osvobozený svět**
- kde se lidé naučili ovládnout sílu atomové energie – rok 2036,
- věnoval knihu právě F. Soddymu.
- Poprvé se zde objevuje znepokojivý výraz – **ATOMOVÁ BOMBA**

Leo Szilard v kontextu událostí

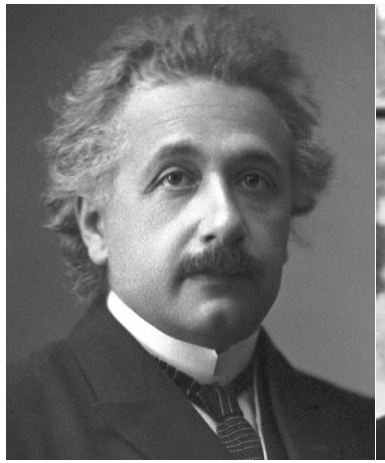
1933 – Londýn, Leo Szilard – dočetl Osvobozený svět, což mu vnuklo myšlenku – co kdyby šlo přimět atomy uvolnit energii v exponenciální kaskádě – myšlenka **ŘETĚZOVÉ REAKCE** (12. 9. 1933)





Leo Szilard v kontextu událostí

- V Německu byl toho času kancléřem **Adolf Hitler** a Německo bylo vědeckou mocností
- Albert Einstein a Leo Szilard (maďarský žid) prchají do USA



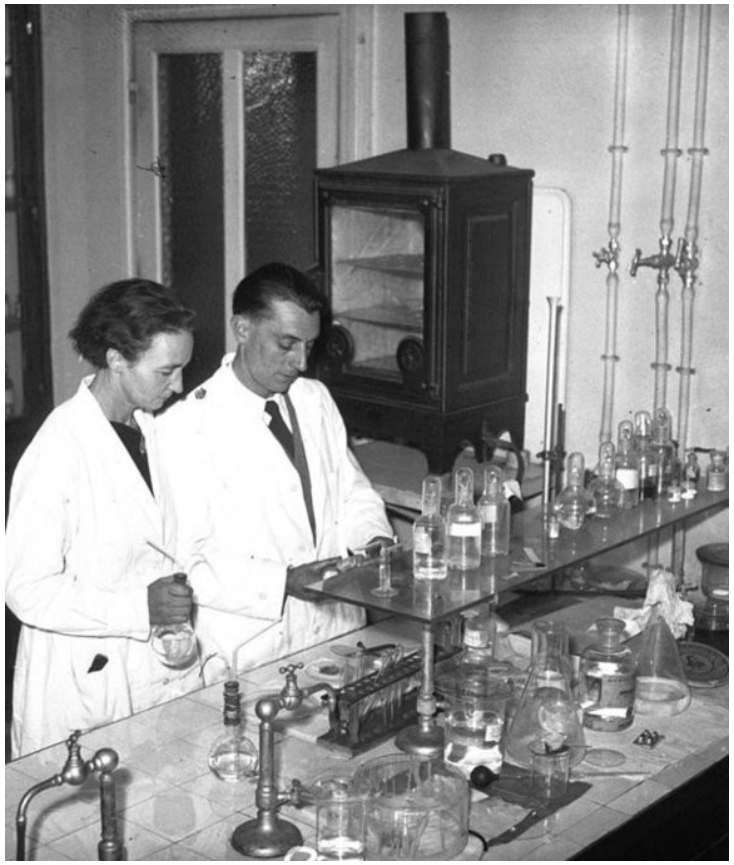
- Szilard věděl, že **Německo má vysokou šanci vyrobit atomovou bombu jako první**

(→ Otto Hahn – Kaiser Wilhelm Institut)

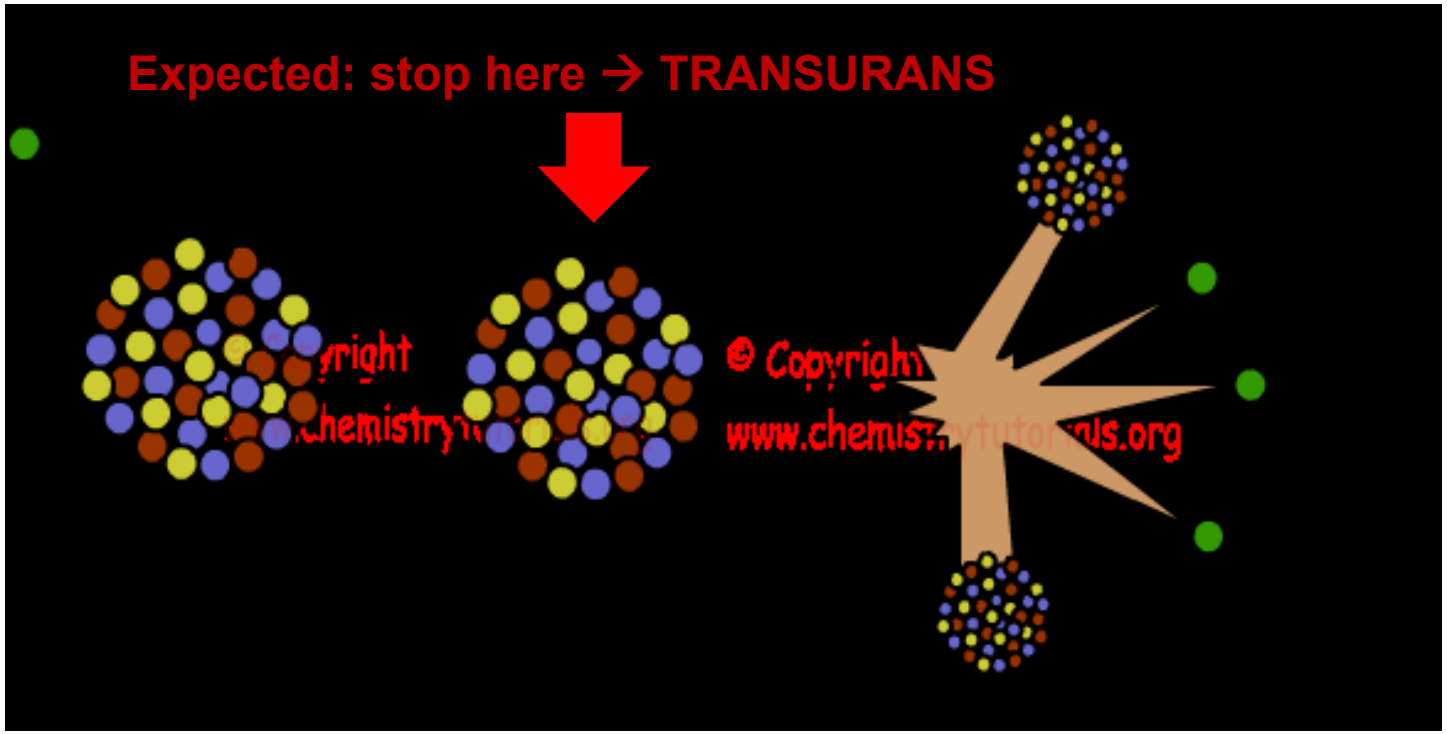
Iréne Joliot-Curie: umělá radioaktivita

- Ve stopách svých rodičů dále pokračovala **Iréne Joliot-Curie s manželem Frédericem**,
- Dokázali, že **neutrony mají o něco větší hmotnost než protony**.
- Při výzkumu neutronů **ostřelovali atomy** hliníku, hořčíku a boru **částicemi α** (kladně nabitá jádra helia)
- Zjistili, že **tyto prvky, PŮVODNĚ NERADIOAKTIVNÍ, začaly vyzařovat neviditelné radioaktivní záření** (až na základě jejich ostřelování).
- Tento jev byl označen jako **umělá radioaktivita (1934)**, neboť byl vznik radioaktivního záření uměle vyvolán.

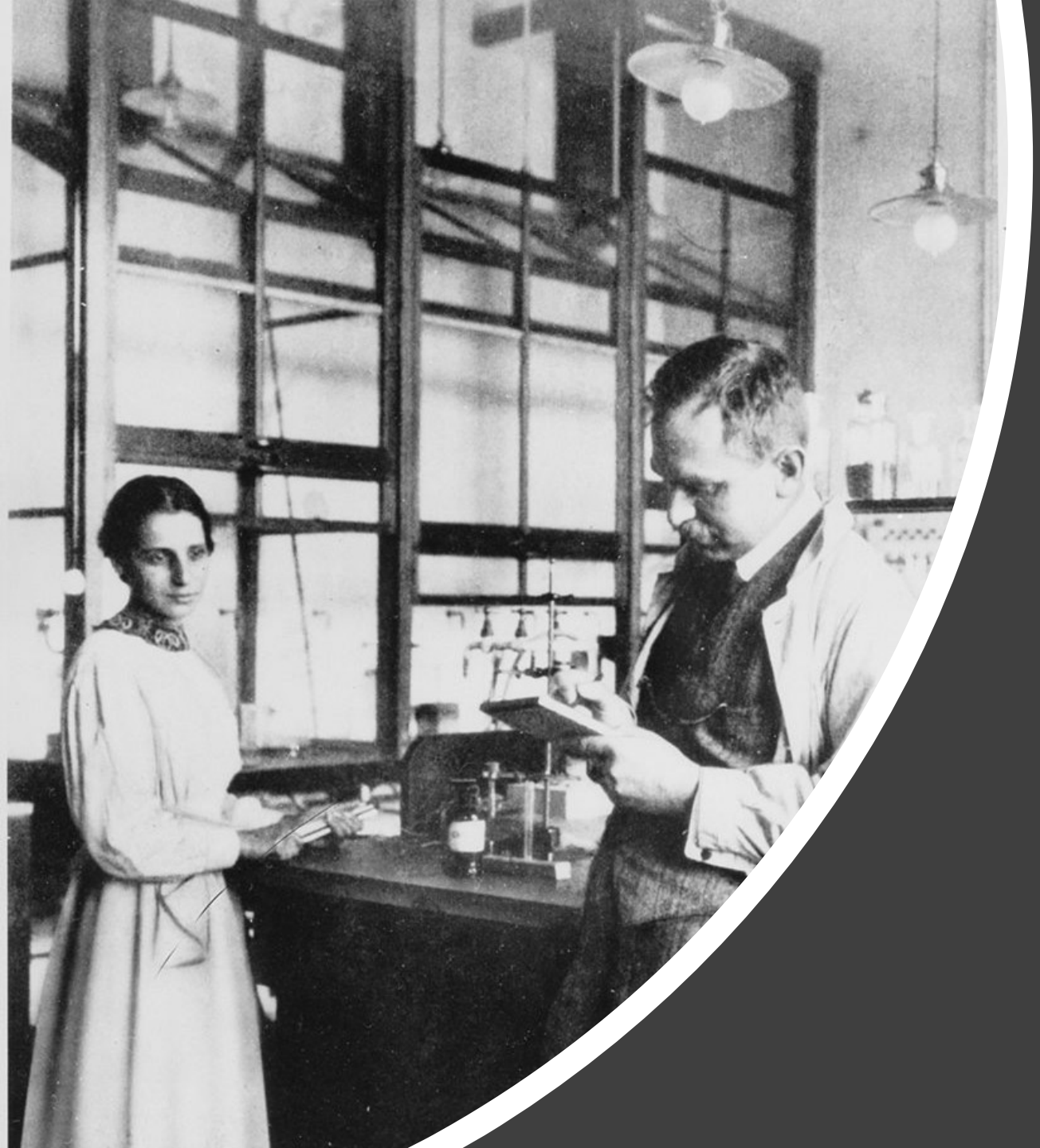
Iréne Joliot-Curie



- V roce **1935** společně se svým manželem Frédericem obdržela **Nobelovu cenu za chemii za společné práce na syntéze nových radioaktivních prvků**.
- ve stejném roce objevila také **neptuniovou radioaktivní řadu** (**navíc k přirozeným řadám - uranové**, **thoriové** a **aktiniové**). Kompletně byla ale tato rozpadová řada prozkoumána až v roce 1947.



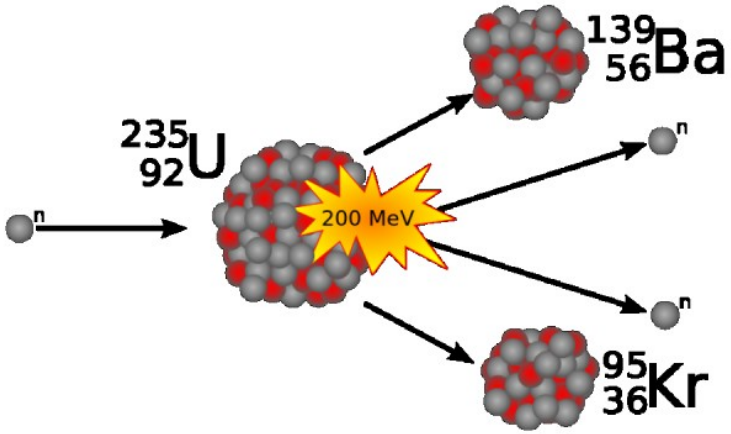
- V roce **1938** Irene Joliot–Curie a Pavel Savic zjistili, že **jeden z produktů vytvořených při ozáření uranu neutrony nebyl transuran, jak se očekávalo, ale prvek ze skupiny vzácných zemin**. Znamenalo to, že **objevili nový druh jaderných reakcí**.
- Tento výsledek byl v říjnu 1938 na Solvayovském kongresu **přijat s velkým skepticismem**. Bylo oběma doporučeno experimenty zopakovat s větší přesností a důkladností, protože takový výsledek nebyl podle teorie možný.
- Proto prvenství objevu štěpení uranu bylo přiznáno až **Otto Hahnovi, Fritzi Strassmanovi a Lise Meitner** na základě jejich prací publikovaných v roce **1939**.

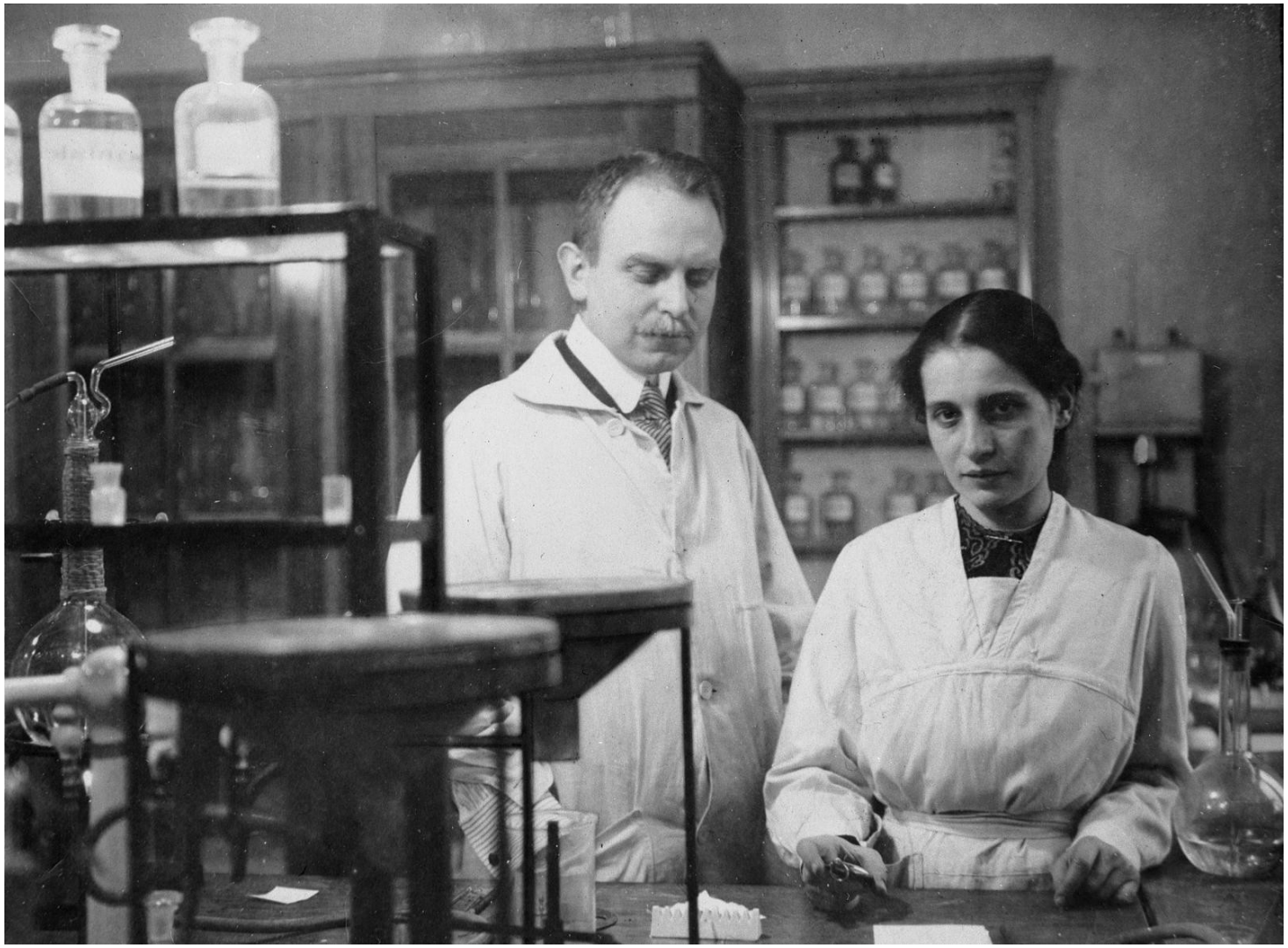


Otto Hahn & Lise Meitner

- **Otto Hahn** – brilantní německý chemik, který studoval u Rutherforda, právě v době, kdy se Soddym zjistil, že uran se štěpí
- Snažil se uran **uměle přimět ke štěpení** s nejasnými výsledky → poslal je své kolegyni **Lise Meitnerové** (židovka, dlouho pracovala s O.H., ale po anexi Rakouska musela uprchnout z Německa)

Lise Meintnerová (1878 Vídeň –1968 Cambridge)

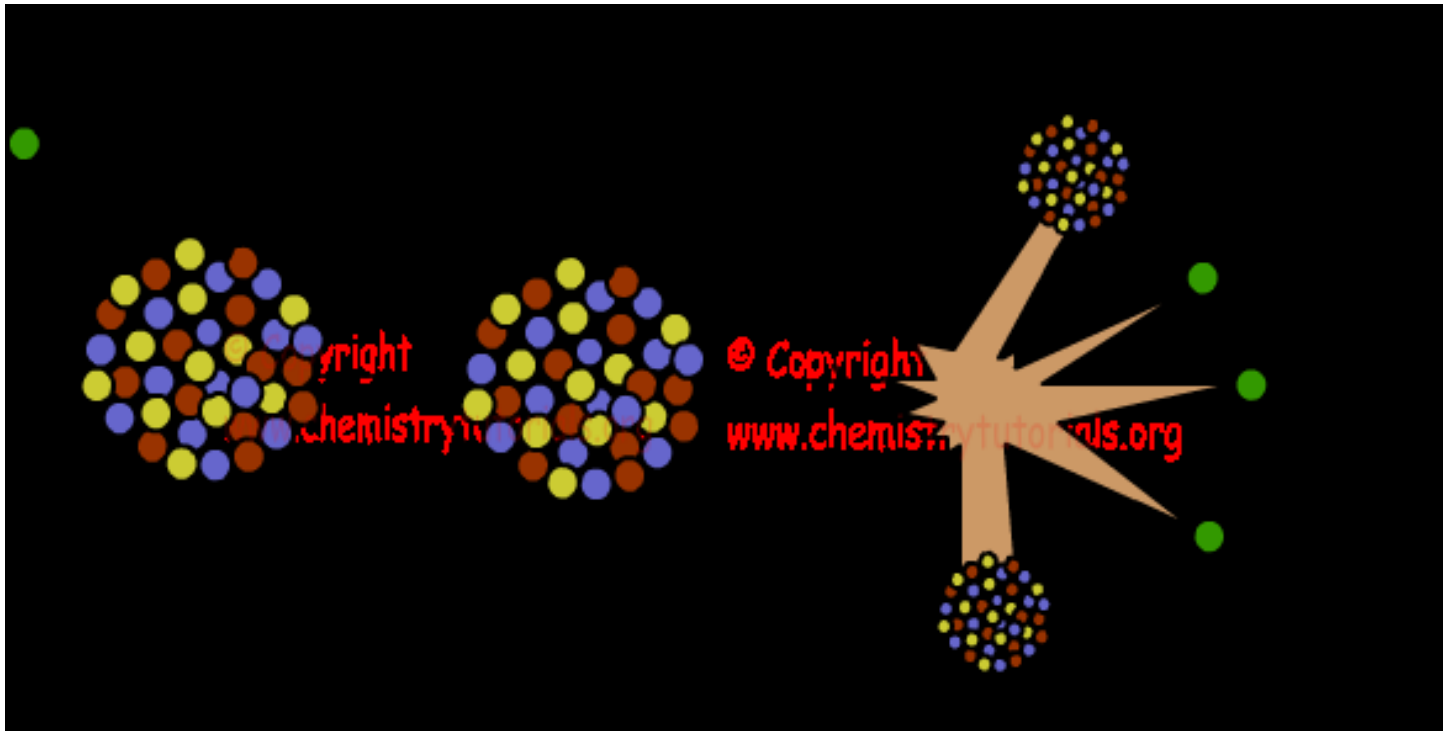




- Zjistila, čeho Otto Hahn dosáhl → **rozštěpil atom uranu**
- To do té doby bylo považováno za nemožné
- **Štěpí se pouze ^{235}U** (92 protonů, 143 neutronů)

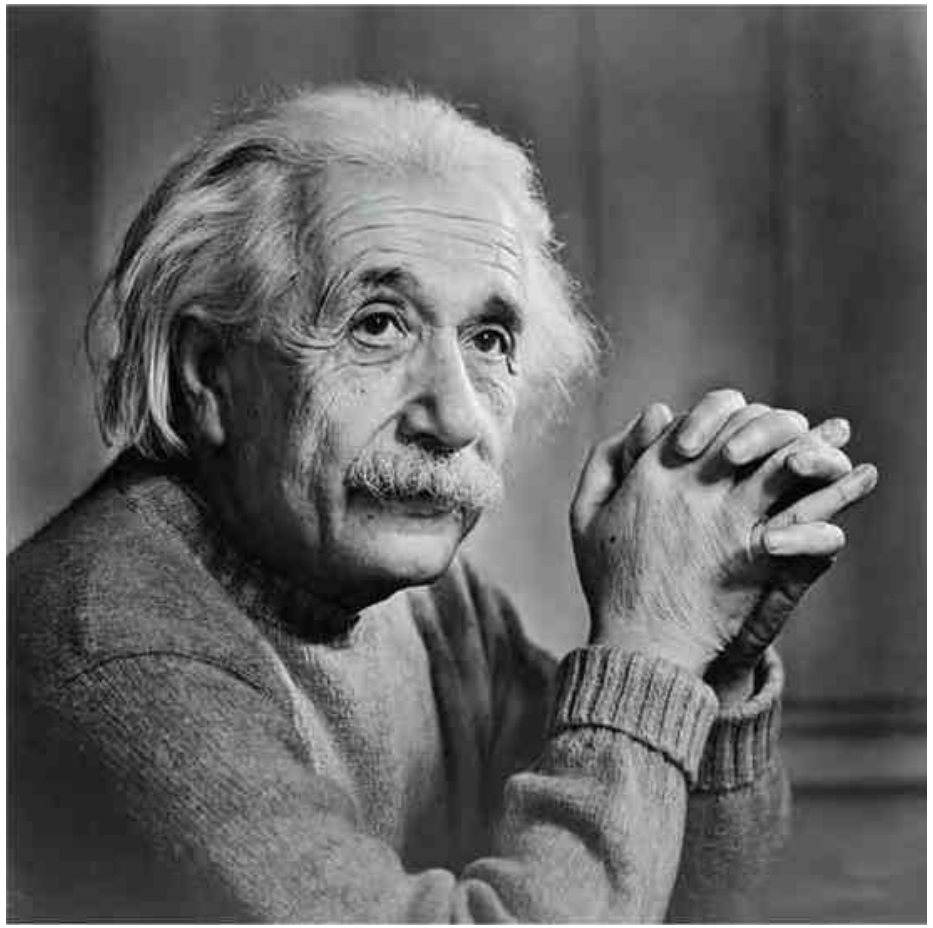
- **Silná jaderná síla** – nejsilnější síla ve vesmíru, drží pohromadě atomová jádra
- **Přesto je jádro uranu tak nestabilní, že pronikne-li do něj další neutron, štěpí se**

- Hmota uvolněných (rozštěpených) částí uranu je silnou jadernou interakcí více zhušťována než v původním jádru uranu
- → jejich celková hmota je proto menší → **rozdíl se uvolní ve formě (obrovské) energie**
- **Zároveň se uvolňují další 2 až 3 neutrony**, ty mohou štěpit dále (Szilard → řetězová reakce)



$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{144}_{56}Ba^{*} + ^{89}_{36}Kr^{*} + 3\,^{1}_{0}n$$

Albert Einstein



$$E = mc^2$$

- Hmota a energie jsou zaměnitelné!
- Nebo též: malé množství hmoty nám dá (protože $*c^2$) obrovské množství energie

CESTA K ATOMOVÉ BOM

- **Szilard nyní ví, že uran může vytvořit bombu a Němci vědí, jak to udělat**
- Okupace Československa – **nyní má Hitler přístup k jedinému nalezišti uranu v Evropě** (U je ještě více i v Německu, tenkrát ale nebyl objeven)
- Kdyby Němci měli atomovou bombu první, vyhráli by válku. Szilard proto přes Alberta Einsteina apeluje na presidenta Franklina Roosvelta, aby USA začaly s vývojem atomové bomby
- Albert Einstein byl v té době nejznámějším vědcem na světě, ale myšlenka na atomovou bombu ho nikdy předtím nenapadla. Nyní měl však také ihned jasno a byl vyděšen. Podepsal proto Szilardův dopis Roosveltovi, kde ho varovali, že Německo patrně vyvíjí uranovou bombu
- **Roosvelt ihned nařídil aby USA začaly urychleně pracovat na uranové bombě**
- **→ PROJECT MANHATTAN**

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium,by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an inofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

b) to speed up the experimental work,which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,
A. Einstein
(Albert Einstein)

ATOMOVÝ DŽIN BYL VYPUŠTĚN Z LÁHVE a už se do ní nikdy nevrátí…

Radioaktivita, není z těch džinů, které jde snadno vyvolat a stejně snadno také zapudit zpět do láhve.

Project Manhattan

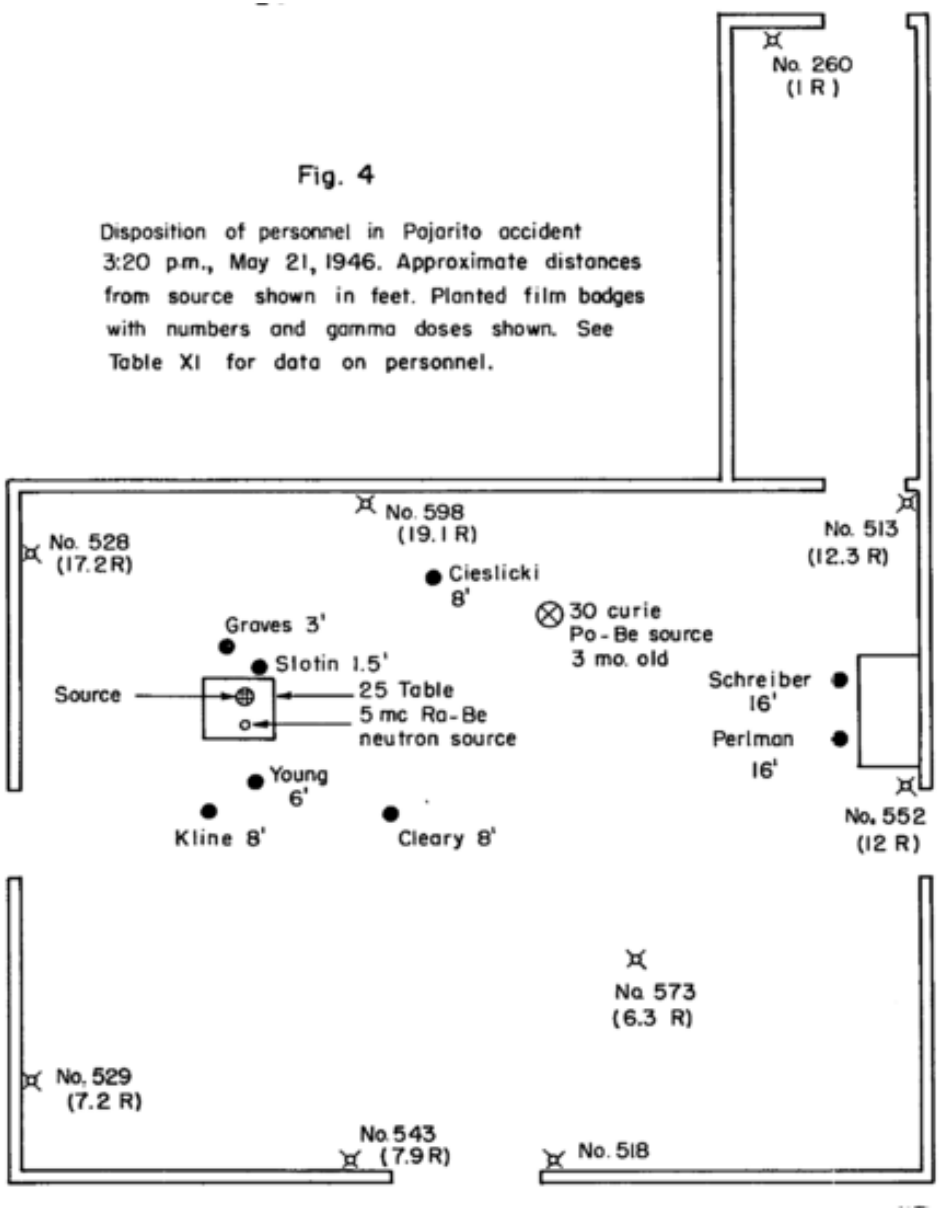
- Vybudováno městečko v poušti v Novém Mexiku - **Los Alamos**
- Vynaloženy 2 mld USD a povoláni nejvýznamnější vědci. Tenkrát zde největší koncentrace nositelů Nobelovy ceny.
- **1921 Robert Oppenheimer** – navštívil Jáchymovské lázně, fascinovala ho uranová ruda
- **O 21 let (1942) později učinil z uranu nejděsivější horninu na světě – udělal z něj atomovou bombu**
- Byl to fyzik se slabostí pro Martini, ženy a dávnou indickou poezii
- Německo kapitulovalo ještě před dokončením bomby – USA zadržely německé fyziky – též Otto Hahna.
- Zjistilo se, že Německo s vývojem bomby vlastně nikam nepokročilo

Louis Slotin
Tahání draka za ocas "tickling the dragon's tail"

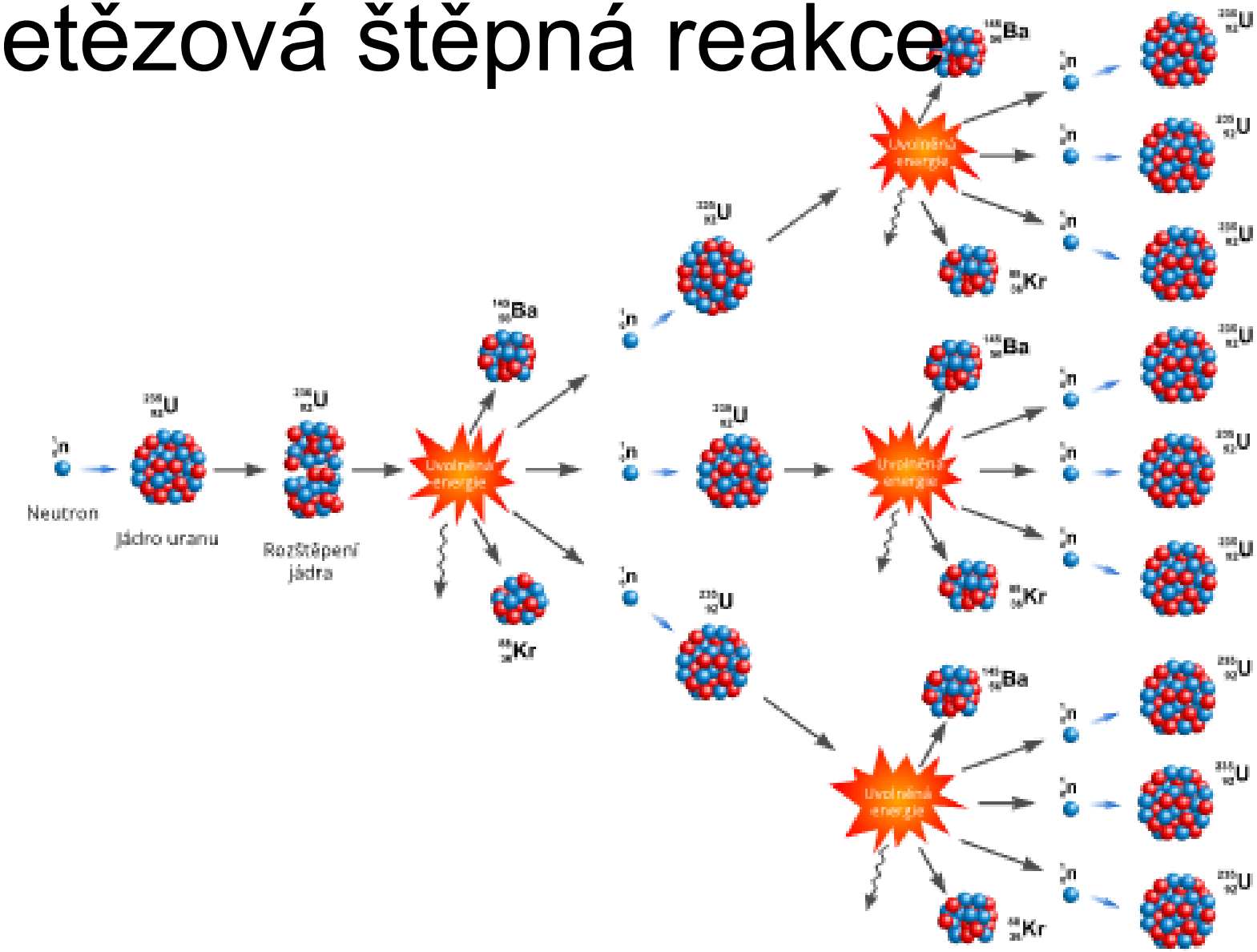
- Na projektu se podílel i mladý vědec **Louis Slotin**. Již předtím pracoval na stavbě prvního funkčního jaderného reaktoru
- Hledání kritického množství jaderného materiálu a studování reakcí přibližováním hemisfér s podkritickým množstvím k sobě s pomocí šroubováku

Louis Slotin
Tahání draka za ocas "tickling the dragon's tail"

- Jednou Louisovi Slotinovi šroubovák sklouzl a obě hemisféry se na chvíli zcela spojily, než je Slotin rychle odtrhl. Tím zachránil spoustu lidí, sám byl však exponován smrtelné dávce neutronů a záření gama
- Po přílišném přiblížení kovových hemisfér v jejichž středu byla umístěna podkritická množství plutonia došlo ke krátké řetězové reakci
- Laboratoř osvítil modrý záblesk a radiace vystoupala nad kritické hodnoty.
- Slotin následně zakreslil pozice jednotlivých pracovníků pro odhad jejich ozáření
- *„Vy budete O. K., ale já jsem nejspíš vyřízený,“ řekl obraceje se k ostatním vyděšeným vědcům.* Měl bohužel pravdu, za pouhých devět dní v nemocnici zemřel.



Řetězová štěpná reakce



Einstein: A Security Risk

- In July 1940, the U.S. Army Intelligence office denied Einstein the security clearance needed to work on the Manhattan Project. The hundreds of scientists on the project were forbidden from consulting with Einstein, because the left-leaning political activist was deemed a potential security risk.

- "Woe is me."—Albert Einstein, upon hearing the news of the Hiroshima bombing