



BIOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AVČR

Dpt. buněčné biologie a
radiobiologie

Martin Falk
(falk@ibp.cz)

Radiační biofyzika ~ radiobiologie

- studium interakcí
ionizujícího záření s
biologickými systémy
a biologických efektů
ionizujícího záření



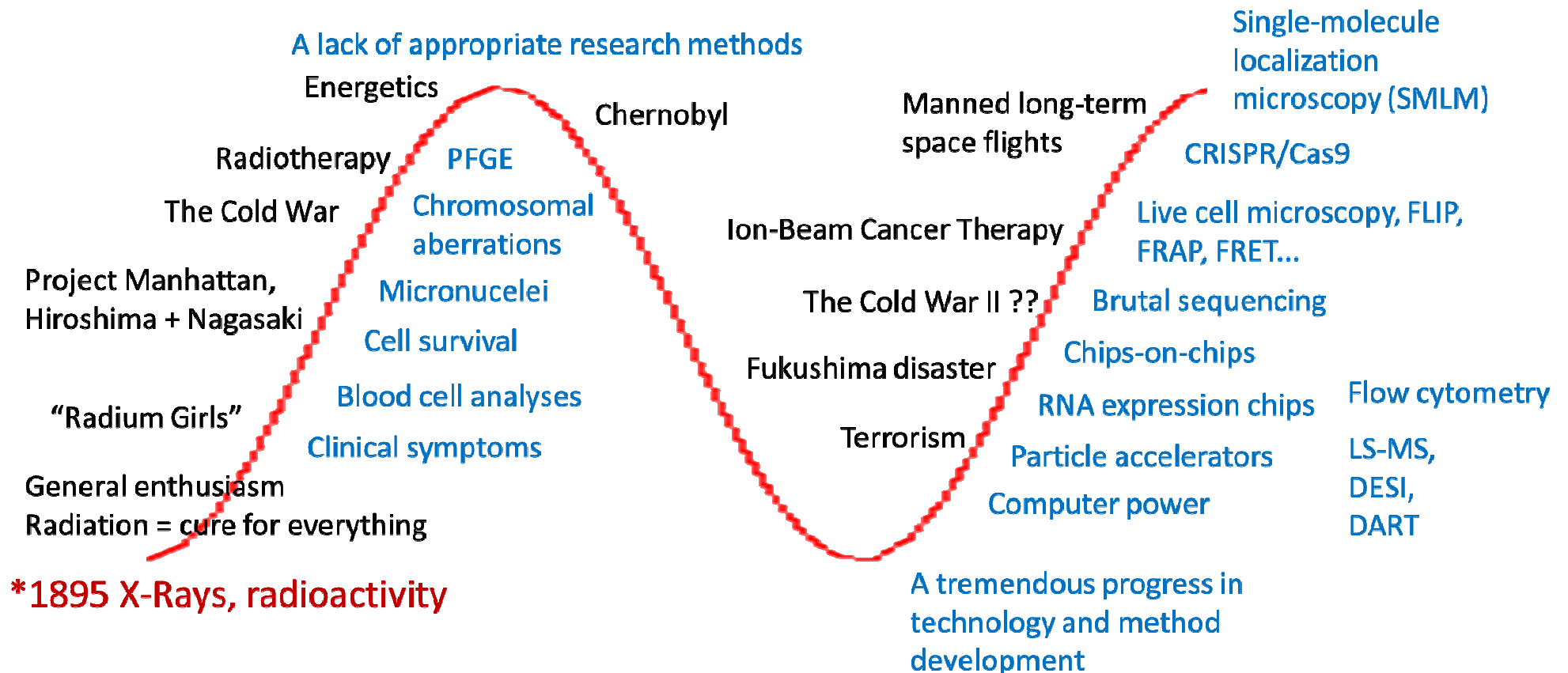
NOVÉ VYZVY • NOVÉ METODY – RENESSANCE



IZ: neskutečně užitečné i velmi nebezpečné, přičemž ho nemůžeme vnímat našimi smysly – málokterý fenomén proto ve společnosti vyvolává tak rozporuplné emoce, jako právě IZ

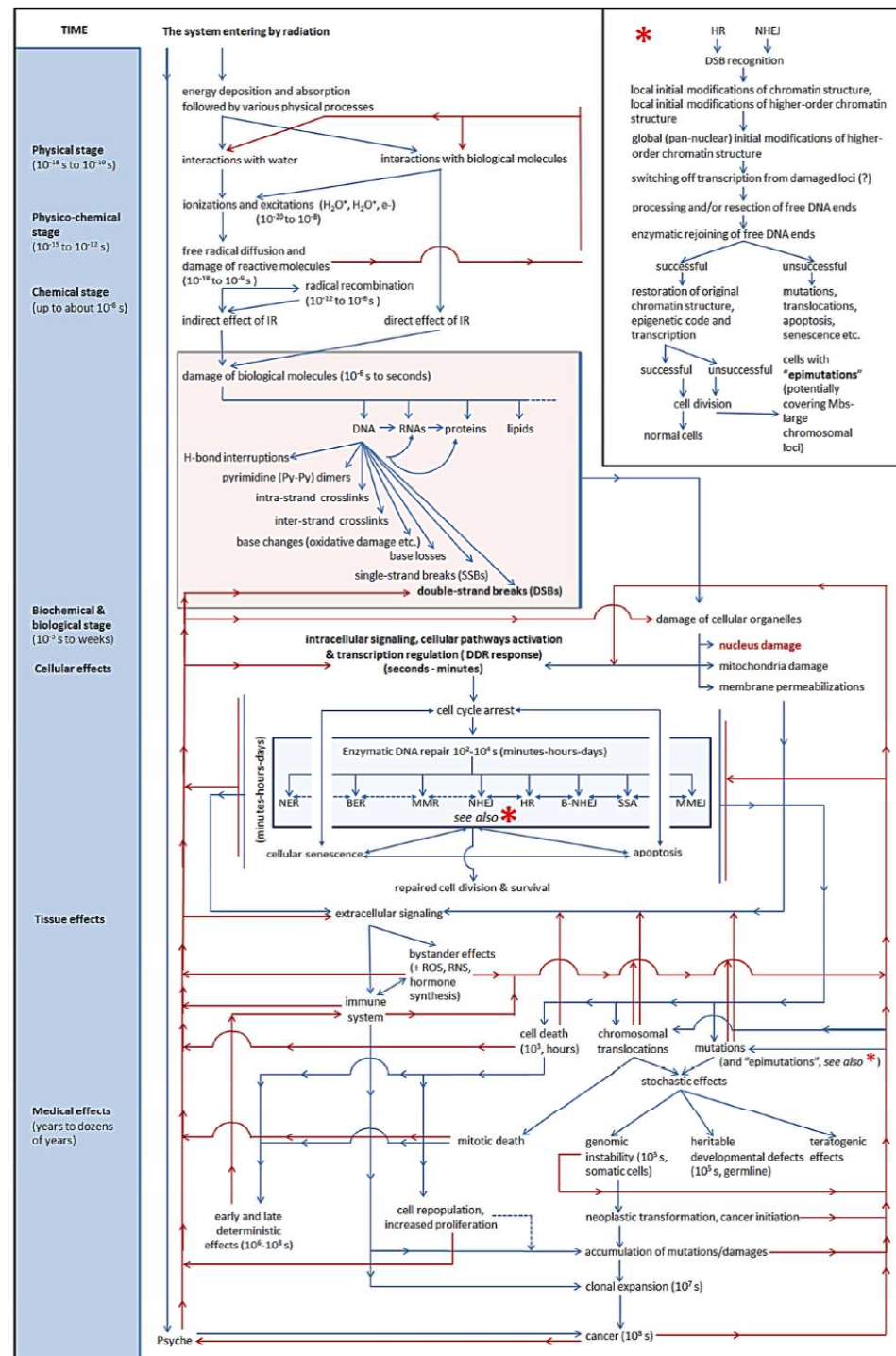
Etapy a cíle radiální biofyziky/RB

THESE DAYS: RENAISSANCE OF RADIOBIOLOGY

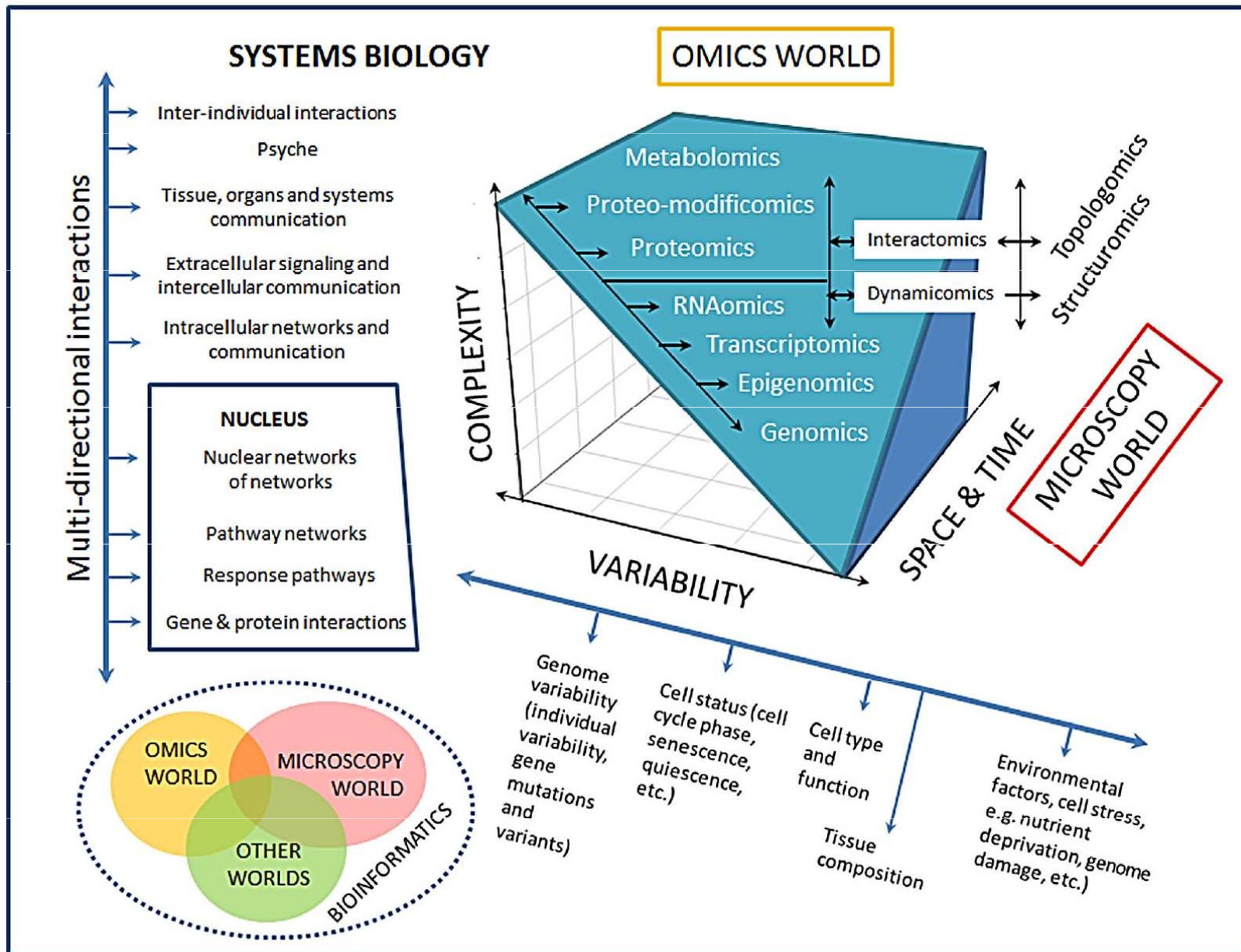


Multidisciplinární charakter a komplexita zkoumaných dějů: Problém a krása „radiobiologie“ zároveň

Radiačně vyvolané procesy zahrnují fyzikální, chemické, biologické a medicínské fenomény pokrývající extrémní škálu časových a prostorových dimenzí



RADIOBIOLOGIE: nejen komplexita, ale i variabilita biologických syst.



Orientační syllabus – část 1

- **Vlastnosti a zdroje ionizujícího záření, jeho interakce s hmotou, ochrana před IZ**
- Úvod – Radiobiologie a její náplň v kontextu dějin
- Vlastnosti elektromagnetického záření, základní vlastnosti ionizujícího záření (IZ), objev Rentgenova záření, rentgenka, základní aplikace v medicíně a některé další aplikace
- Objev přirozené radioaktivity, záření gama, stavba atomu, elementární částice, typy ionizujícího záření, rozpadové řady
- Interakce různých typů ionizujícího záření s hmotou
- Základní veličiny
- Základy radiační ochrany, vnější ozáření, vnitřní kontaminace, biogenní radionuklidy
- Přírodní a umělé zdroje IZ, radon, terestriální a kosmické záření, IZ v diagnostice a radioterapii, průměrné absorbované dávky
- **Účinky IZ na úrovni tkání a organismů:**
- Deterministické a stochastické účinky IZ, akutní nemoc z ozáření (ARS), účinky nízkých dávek IZ, hypersenzitivita, hormeze, tkáně citlivé a rezistentní k deterministickým a stochastickým účinkům, časně a pozdní účinky, somatické a gametické účinky, radiosenzitivita různých organismů
- Jaderné havárie: Černobyl, Fukushima, Three Mile Island, Majak, Jaslovské Bohunice, ..., klasifikace jaderných havárií, plynoucí ponaučení

Orientační syllabus – část 2

- **Účinky záření na buněčné úrovni:**

- Přímý a nepřímý účinek ionizujícího záření, lineární přenos energie (LET), IZ s nízkým a vysokým LET, základy radiační chemie
- Buňka, stavba buňky, radiační poškození proteinů, lipidů, RNA a DNA; funkce a radiační poškození membrán a buněčných organel
- DNA jakožto kritický cíl pro ionizující záření, struktura buněčného jádra, chromatinu a DNA
- Chromozómy, karyotyp člověka, chromozomální a chromatidové aberace (translokace, delece, inverze), vliv LET na charakter poškození chromozómů
- Biodosimetrie pro krizové události
- Radiační poškození DNA na molekulární úrovni – typy radiačních lézí DNA, mutagenese, IZ s nízkým a vysokým LET – mikrodosimetrie, vztah mezi LET a relativní biologickou účinností IZ (RBE)
- Cytoplasmatické účinky IZ – bystander effect
- Karcinogeneze, klonální expanze, chromothripsis, protoonkogeny a nádorové supresory, onkogeny, solidní nádory a leukémie
- Buněčný cyklus ve vztahu k radiorezistenci, reparaci DNA a karcinogenezi; transkripce a replikace DNA, typy buněčné smrti – apoptóza, nekróza, mitotická smrt, autofagie
- Reparační mechanizmy DNA – základní reparační dráhy BER, NER, zejména pak NHEJ, HR a alternativní reparační dráhy dvouřetězcových zlomů DNA, bodové mutace a epimutací

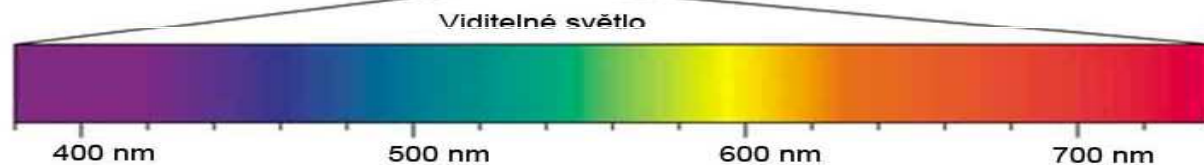
Orientační sylabus – část 3

- **Aplikace IZ – radiodiagnostika a radioterapie**
- Princip radioterapie – odpověď normálních a nádorových buněk na ozáření, zevní terapie, frakcionované ozařování, moderní přístupy v radioterapii, brachyterapie, boron-capture therapy
- Hadronová terapie – protony a urychlené těžké ionty s vysokým LET (též v souvislosti s kosmickými lety), fyzikální výhody
- Radiorezistence nádorů – hypoxie, kyslíkový efekt (OER), genetické faktory (např. mutace p53), selekce radiorezistentních klonů
- Možnosti radioprotekce normálních buněk a radisoenzitizace nádorových buněk – chemické (amifostin), biologické (inhibitory reparace DNA, imunomodulátory, apod.), a fyzikální
- **Nemedicínské aplikace IZ**
- Elektronová mikroskopie a další výzkumné metody
- Atomové elektrárny
- Atomové zbraně
- **Metody v radiobiologickém výzkumu**
- **Aktuální témata v radiobiologii**

KOLOKVIUM

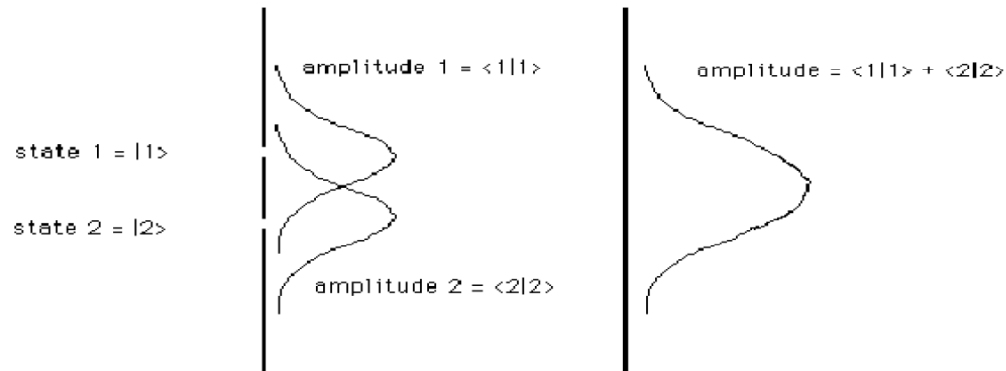
Duální povaha ZÁŘENÍ

Světlo jako částice

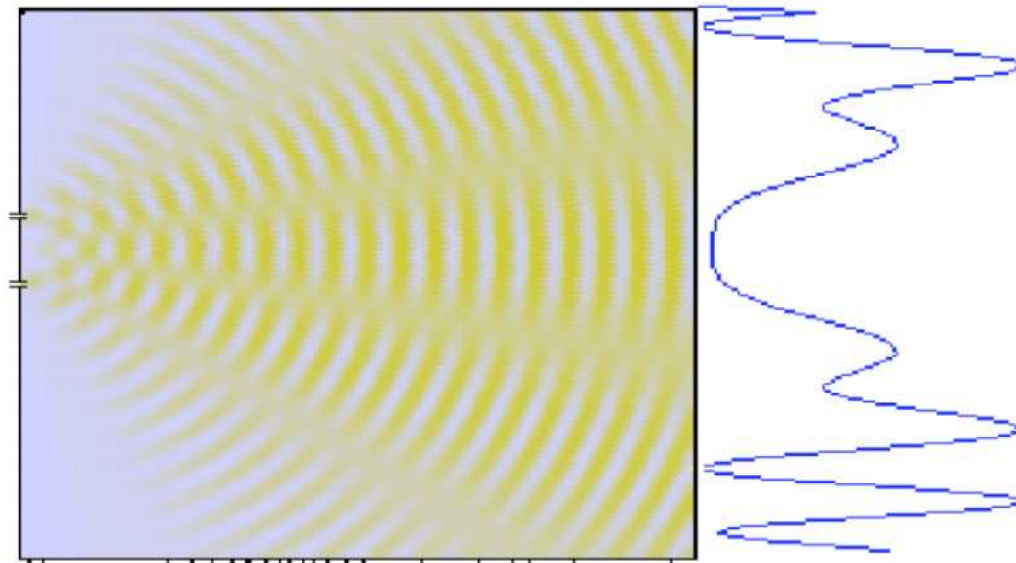


Kromě postulování tří Newtonových zákonů, které ho proslavily, zabýval se Newton také studiem světla. Používal k tomu různé hranoly a již ve svých 23 letech zjistil, že **světlo se dá rozložit na barevné spektrum** (viz obr.). Dále zjistil, že světelné spektrum se dá zase spojit použitím druhého hranolu. Vymezením se dá získat světlo určité barvy. Newton si představoval světlo jako **proud částic různé velikosti**. Jestliže narážejí v hranolu na částice stejné hmotnosti, pak nejméně se budou odrážet částice s největší hmotností.

Světlo jako vlnění



Obr. 5. Průchod světla dvěma štěrbinami by měl dát na stínítku součet osvětlení od jednotlivých štěrbin (vpravo)



Interference světla ze dvou štěrbin

Vlnové vlastnosti světla studoval **Thomas Young** na začátku 19. století

- Klasický experiment, v němž světlo prochází dvěma štěrbinami (obr. 5).
- Průchod světla dvěma štěrbinami by měl dát na stínítku součet osvětlení od jednotlivých štěrbin (vpravo)
- místo toho však pozoroval interferenční obrazec (obr. dole).
- Tento obrazec lze vysvětlit za předpokladu, že se světlo šíří ve formě vlnoploch (jako vlny na hladině rybníka), tj. v každém bodě kde světlo vznikne dochází ke vzniku nové vlnoplochy → **elektromagnetické vlnění**

Electromagnetic Spectrum

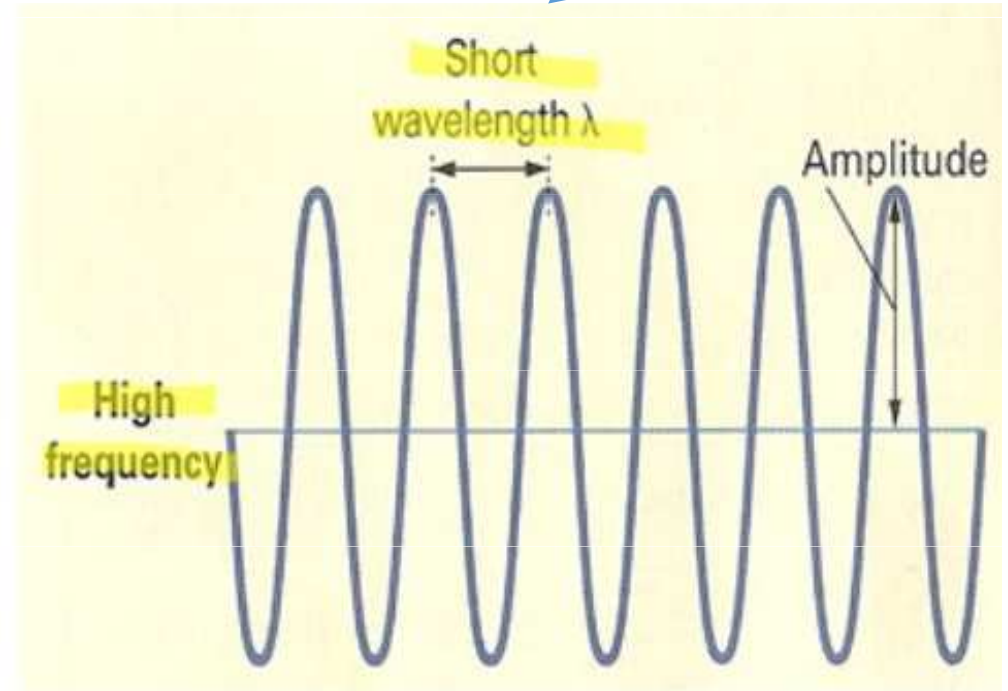
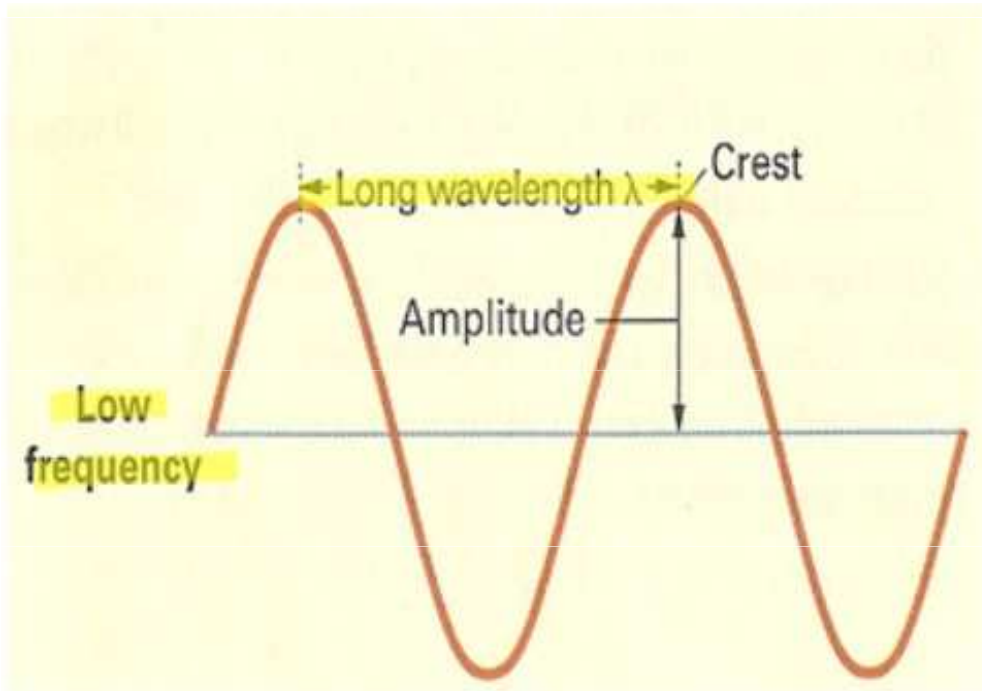
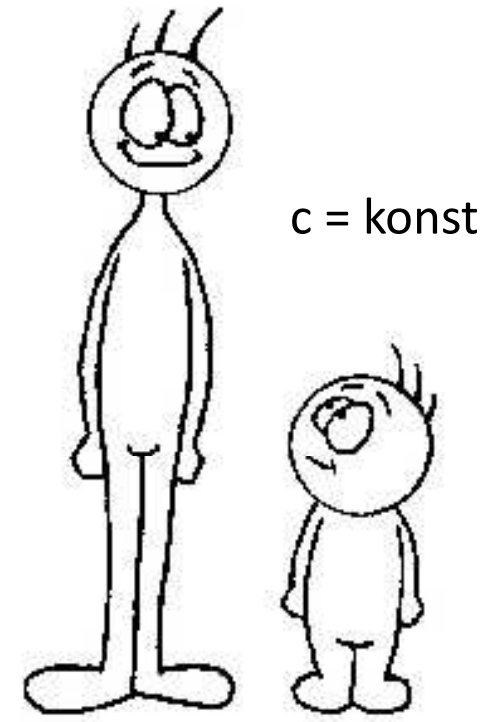
- Frequency & wavelength are inversely proportional

$$c = \lambda \nu$$

c : speed of light (3.00×10^8 m/s)

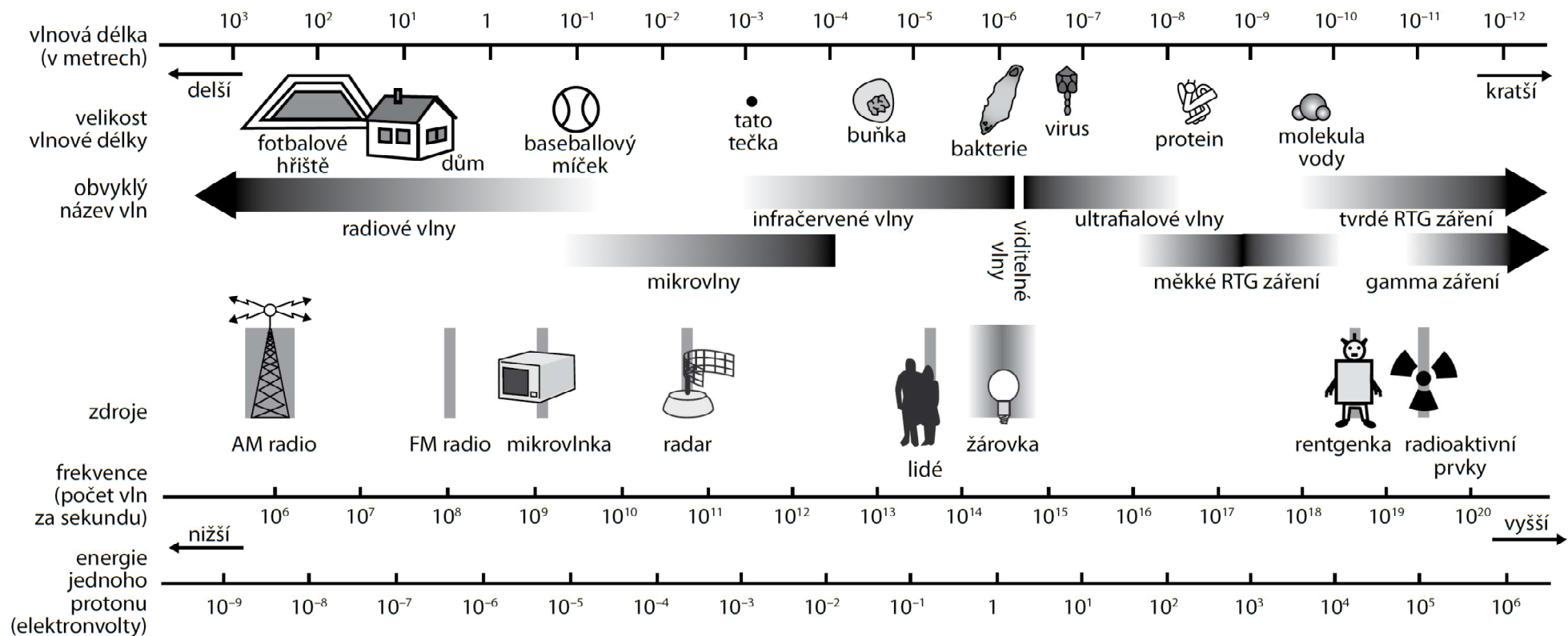
λ : wavelength (m, nm, etc.)

ν : frequency (Hz)



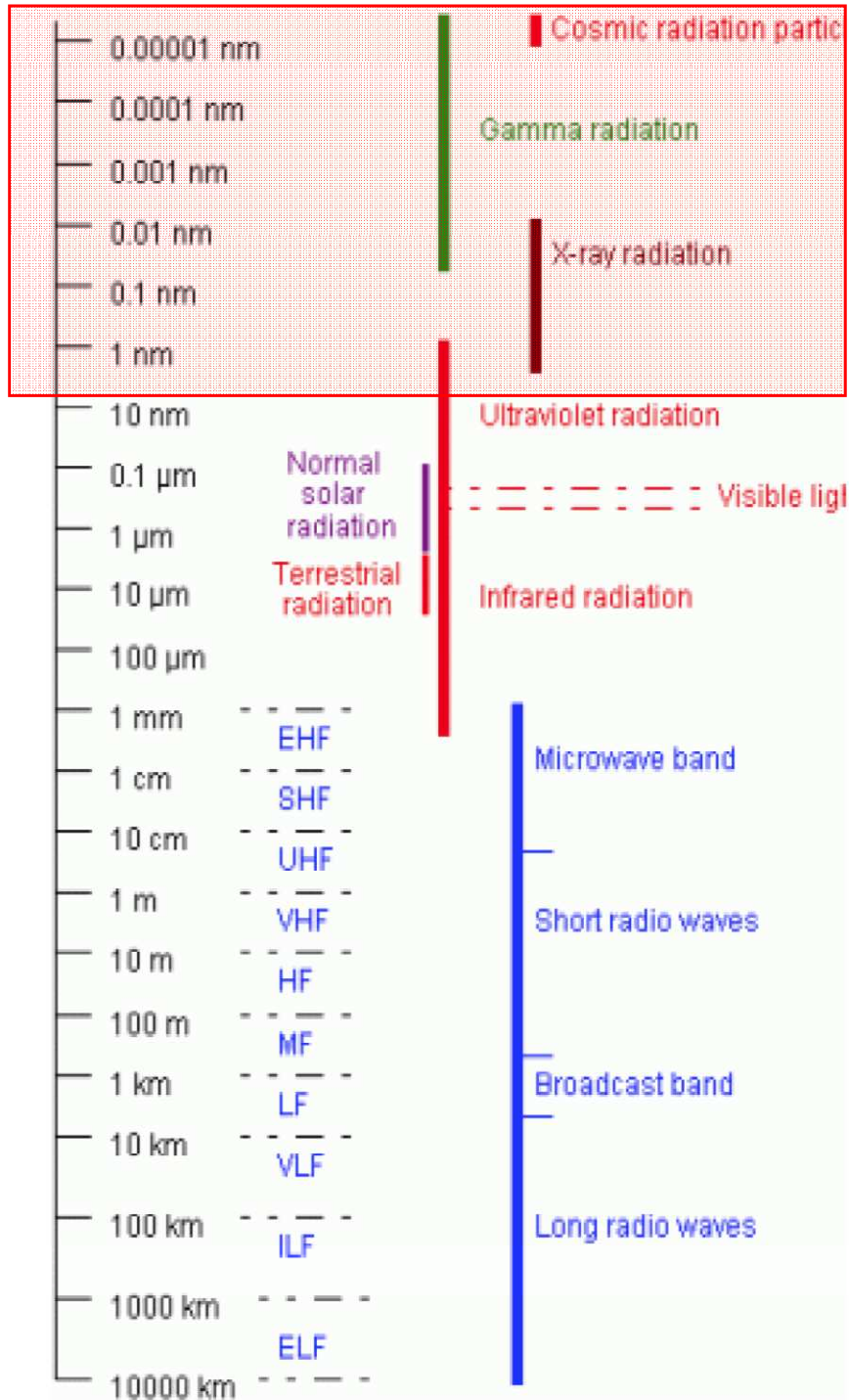
Druhy elektromagnetického záření

- Podle vlnové délky či frekvence můžeme rozdělit elektromagnetické vlny na několik skupin
- **Radiové vlny:** délkou odpovídají rozměrům fotbalového hřiště
- **Mikrovlny:** (v mikrovlnné troubě) mají velikost asi baseballového míčku,
- **Viditelné spektrum:** vlny rozměrově odpovídají bakteriím
- **Ionizující záření (RTG a gama záření):** < velikosti molekuly



Vlnová délka [λ]

Druh záření



IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

- Jak je zřejmé z vlastního pojmenování, ionizující záření definujeme jako záření, jehož kvanta mají **dostatečnou energii k ionizaci atomů**
- tj. odtržení elektronu z jejich elektronového obalu.
- Minimální energie potřebná k ionizaci ve vodném prostředí (cytoplazma) je **33 eV**.
- To odpovídá záření s kratší vlnovou délkou, než přísluší ultrafialovému záření, přibližně **<40 nm**.

Wavelength and Frequency

Vztah mezi energií fotonu a vlnovou délkou je dán rovnicí

$$c = \nu \lambda$$

c = speed of light (3×10^8 m/s)

ν = frequency (s^{-1})

λ = wavelength (m)



$$E = h \nu$$

E = energy (Joules or J)

h = Planck's constant (6.6×10^{-34} J/s)

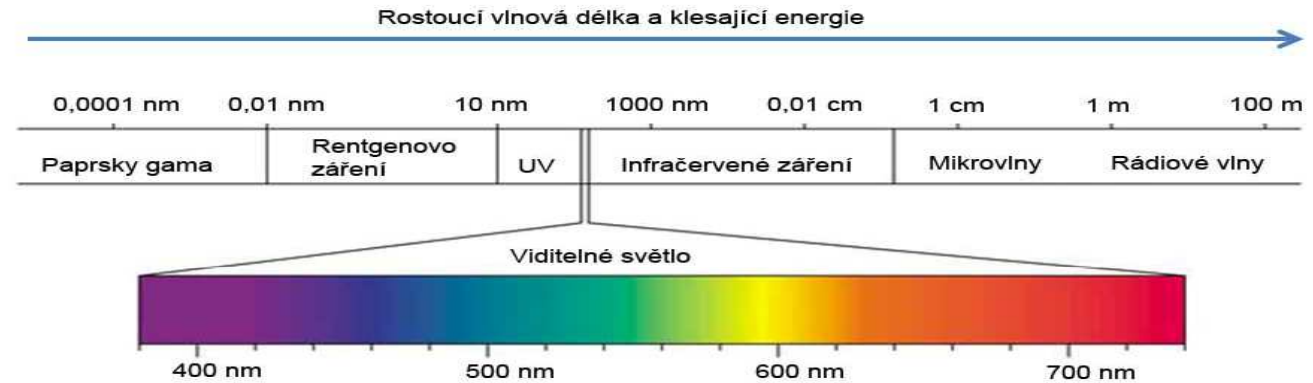
ν = frequency (s^{-1})

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$h = 6,62607015 \times 10^{-34}$ J·s

$h = 4,135\ 667\ 696... \times 10^{-15}$ eV Hz⁻¹

OBJEV RADIOAKTIVITY A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ



Obr. Elektromagnetické spektrum

Wilhelm Conrad Röntgen

8. listopadu 1895

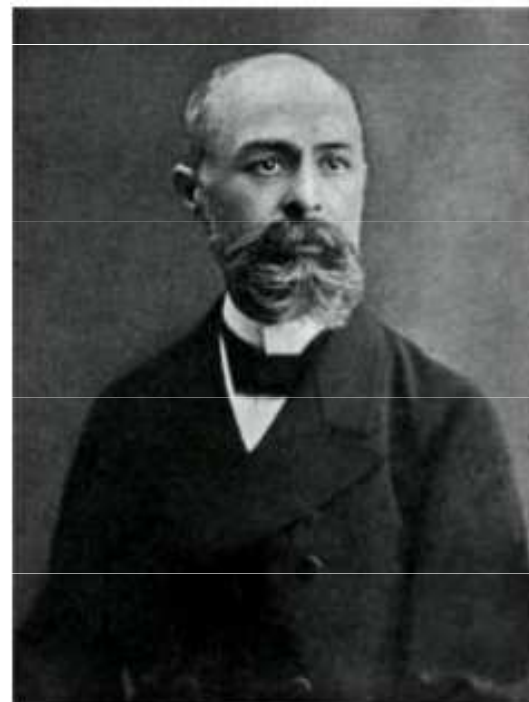
„To, co vidíme, jsou kosti vaší ruky...“



Antoine Henri Becquerel

18. května 1896

1903 – spolu s **Pierre a Marií Curie** - Nobelova cena za fyziku za objev radioaktivity



Co předcházelo objevu paprsků X

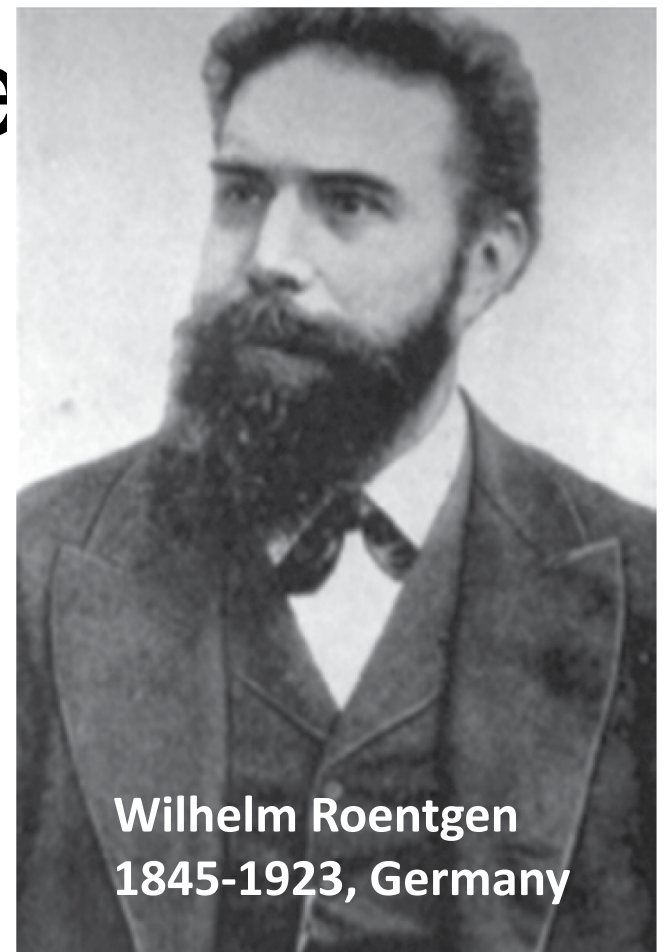


Vznik katodového záření (e- /sklo)



Objev ionizujícího záře

- **Den-D:** 8. listopad 1895, podvečer
- **Místo-M:** Universita ve Würzburgu,
- **Wilhelm Roentgen**
- Experimentoval s katodovými paprsky v temné komoře
- zkoumal světélkující fluorescenční stínítko (pokryté fluorescenční látkou, obvykle **kyanidem platičitobarnatým**), ve kterém byla fluorescence indukována katodovými paprsky, jež vznikaly po dopadu elektronů na antikatodu ve vakuové trubici (viz dále).

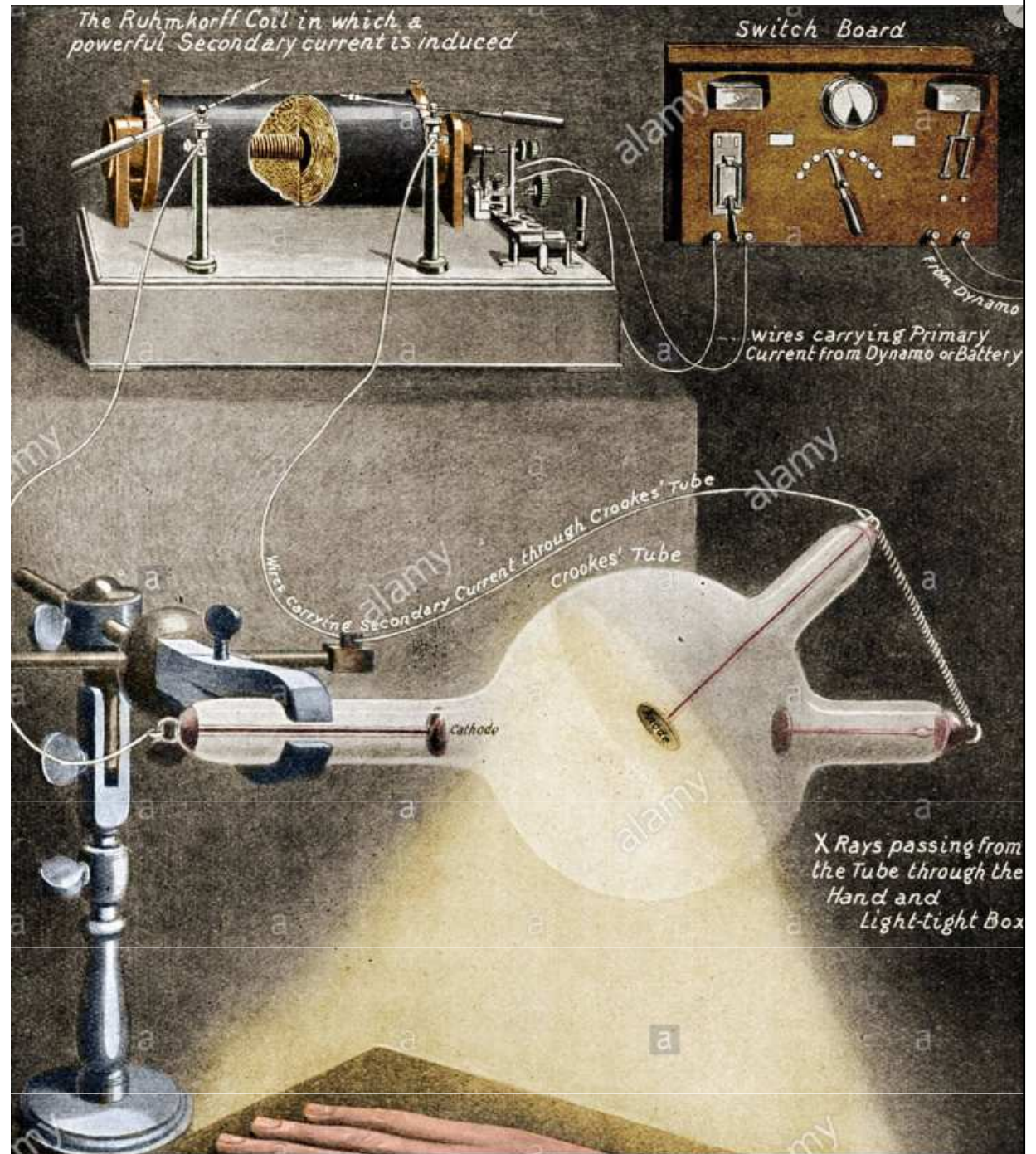


Cherche z la femme



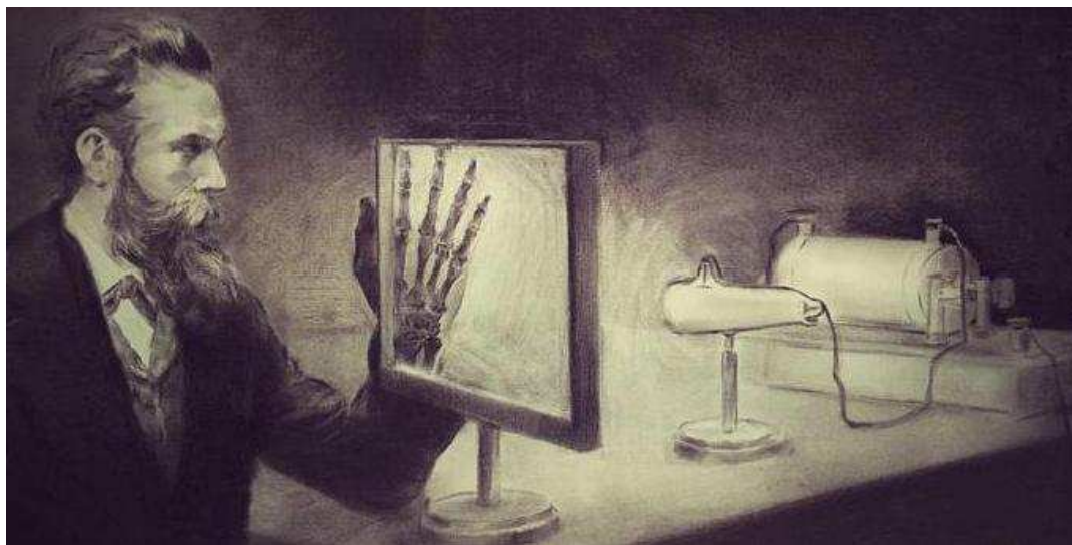
- Ze záhadných (neznámých důvodů zakryl výbojovou trubicí černým papírem
- Možná její světélkování narušovalo experiment, možná v tom měla prsty jeho manželka ;-)
- Každopádně sehrála hlavní roli náhoda, díky níž se objevilo světélkování/ stín na NEUKLIZENÉM světélkujícím stínítku... (Flemingovi zplesnivěly kultury na penicilin, objev přirození radioaktivity – opět náhoda ;-)
- Nebýt této události, nebyl by asi Roentgen vkládal mezi trubicí a stínítko různé předměty (včetně své ruky). Dělal by dál zajímavé pokusy s katodovými trubicemi stejně jako desítky dalších experimentátorů v té době, ale nové pronikavé záření by asi neobjevil (ostatně, toto X-záření ve stejné době nezávisle objevili H.Jackson a A.A.Campbell-Swinton).

- Zjistil, že fluorescence nemizí ani při zaclonění trubice černým papírem, ani když mezi trubici a stínítko vložil tlustou knihu; stínítko fluoreskovalo i na vzdálenost 2 metrů
- Když poté vkládal mezi lampu a stínítko další různé předměty, zjistil, že jimi paprsky X procházejí různě intenzivně. Teprve když mezi trubici a stínítko umístil kovový předmět, na stínítku se ukázal stín



I Have Seen My Death' aneb Mrs. Roentgen podruhé

- Jednou takto vložil mezi lampu a stínítko **NÁHODOU** svou ruku a uviděl ke svému velkému překvapení kosti prstů.
- Podruhé už raději podruhé požádal o ruku svou manželku ;-)



Anna Bertha (Ludwig) Roentgen



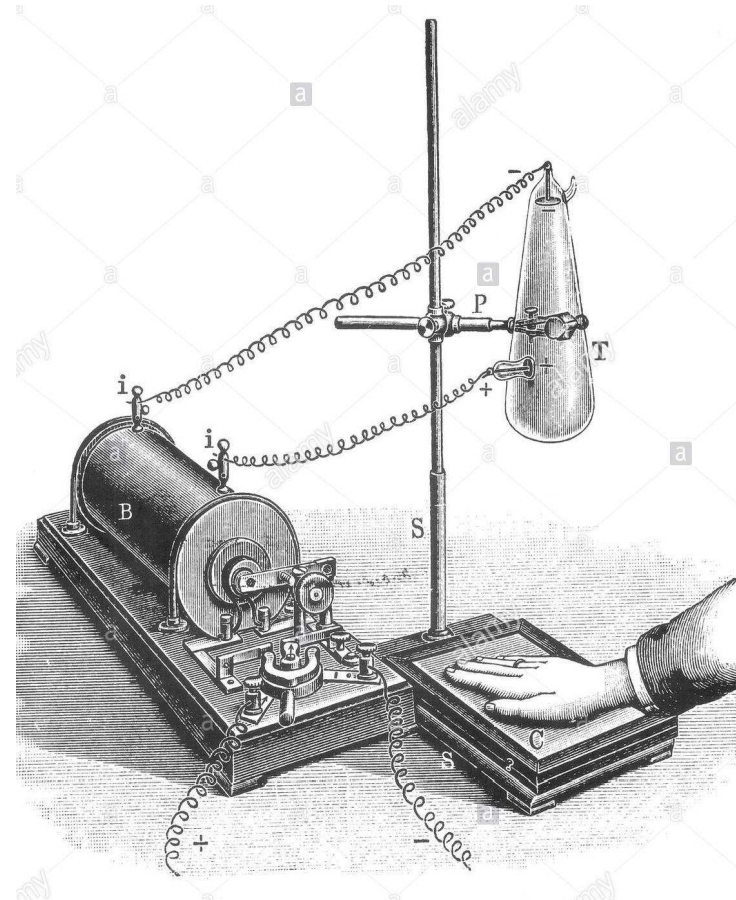
Anny Berthy. Na rozdíl od svého muže ji obraz kostí se snubním prstenem příliš nenadchl; údajně jej velice překvapila a zklamala, když prohlásila: „*Viděla jsem vlastní smrt.*“



Historicky první rentgenový snímek

- Roentgen popsal i další vlastnost RTG záření, např. že **vyvolává zčernání fotografické desky**.
- ...a měsíc po svém objevu zhotovil (opět náhodou??) historicky první rentgenový snímek na světě, obraz ruky své manželky s kovovým prstenem na fotografickou desku.
- Toto datum je pokládáno za den zrození nového lékařského oboru

– radiologie.



X-Rays: Objev ionizujícího záření

- Usoudil, že se jedná o neviditelné záření, které vzhledem k jeho neznámé povaze pojmenoval podle matematického symbolu pro něco neznámého jako **PAPRSKY X**. V roce 1896 byly na jeho počest pojmenované na rentgenové paprsky.
- Pojmenování **X-Rays** se dodnes užívá v anglosaské literatuře, u nás se většinou upřednostňuje název **RTG záření**.
- Během dvou měsíců publikoval pečlivý popis výsledků svého výzkumu. **28.12.1895 napsal předběžnou zprávu „O novém druhu paprsků“**. Poslal ji do žurnálu Würzburgské lékařské společnosti.
- Objev byl natolik překvapivý, že ho nejprve odmítali i slovní vědci (např. Kelvin). Překvapen byl i sám Roentgen, který proto pronesl „**I did not think, I investigated**“ (tedy něco ve smyslu „Nevymyslel jsem to, ale objevil“)
- Ve skutečnosti k objevu rentgenového záření přispělo mnoho významných vědců jako Ivan Pului, sir William Crookes, Johann Wilhelm Hittorf, Eugene Goldstein, Heinrich Hertz, Philipp Lenard, Hermann von Helmholtz, Nikola Tesla, Thomas Alva Edison, Charles Glover Barkla a Wilhelm Conrad Röntgen.

Zasedání společnosti lékařů a přírodovědců → RENTGENOVY paprsky

- Již v lednu příštího roku (23.1.1896) byl Roentgen pozván na zasedání společnosti lékařů a přírodovědců, kde zhotovil fotografický snímek ruky tehdy významného anatoma Rudolfa Alberta *von Köllikera*.
- Ten potom navrhl, nadšen tím co viděl a za mohutné podpory publika, **aby se paprsky X nazvali rentgenovými**. Návrh byl přijat s velkým nadšením. Paprsky rychle nabyly obrovského významu ve vědeckém výzkumu, technice i lékařství.





Experimenter in 1890s (*top right*) examining his hand with fluoroscope.

Taking an X-ray image with early [Crookes tube](#) apparatus, late 1800s. The Crookes tube is visible in center. The standing man is viewing his hand with a [fluoroscope](#) screen. The seated man is taking a [radiograph](#) of his hand by placing it on a [photographic plate](#). No precautions against radiation exposure are taken; its hazards were not known at the time.

RDG včera a dnes

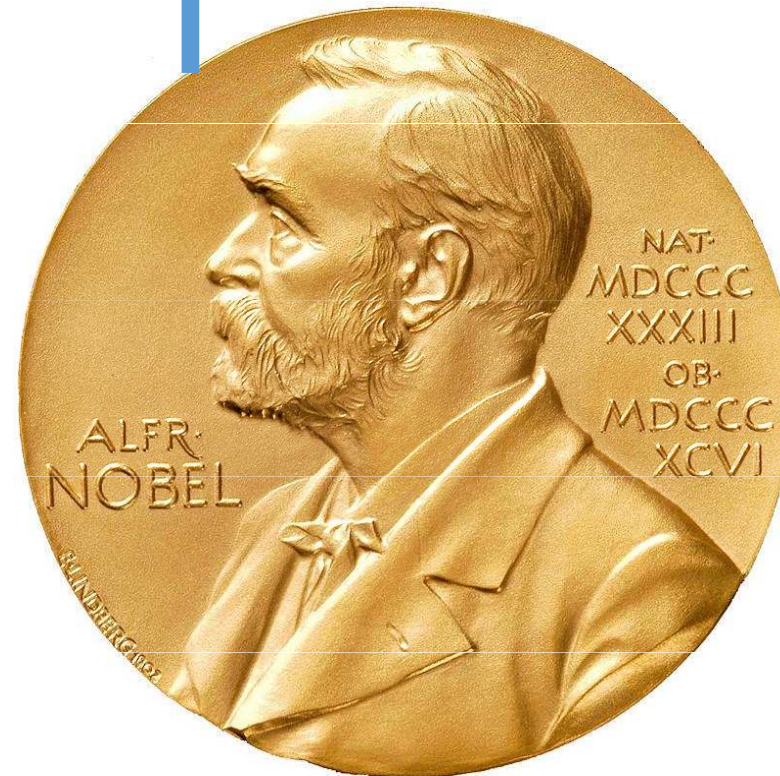
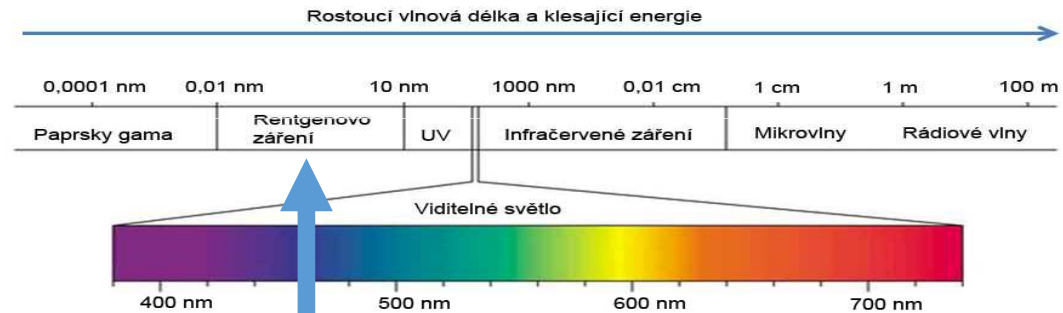


A historic photograph of Roentgen's wife's hand (left) contrasted with a present-day X-ray photograph (right) (source Internet)

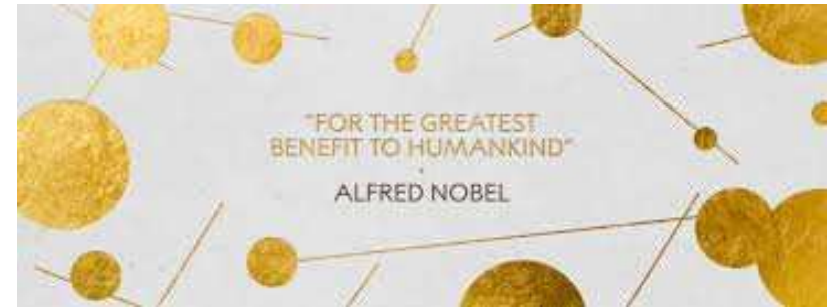
Roentgen obdržel za objev pářsků X (RTG) v roce 1901 vůbec první **Nobelovu cenu** za fyziku



Wilhelm Conrad Röntgen
8. listopadu 1895



first Nobel Prize in Physics in 1901. His was the first of more than 20 Nobel Prizes awarded for research related to radioactivity in the 20th century.



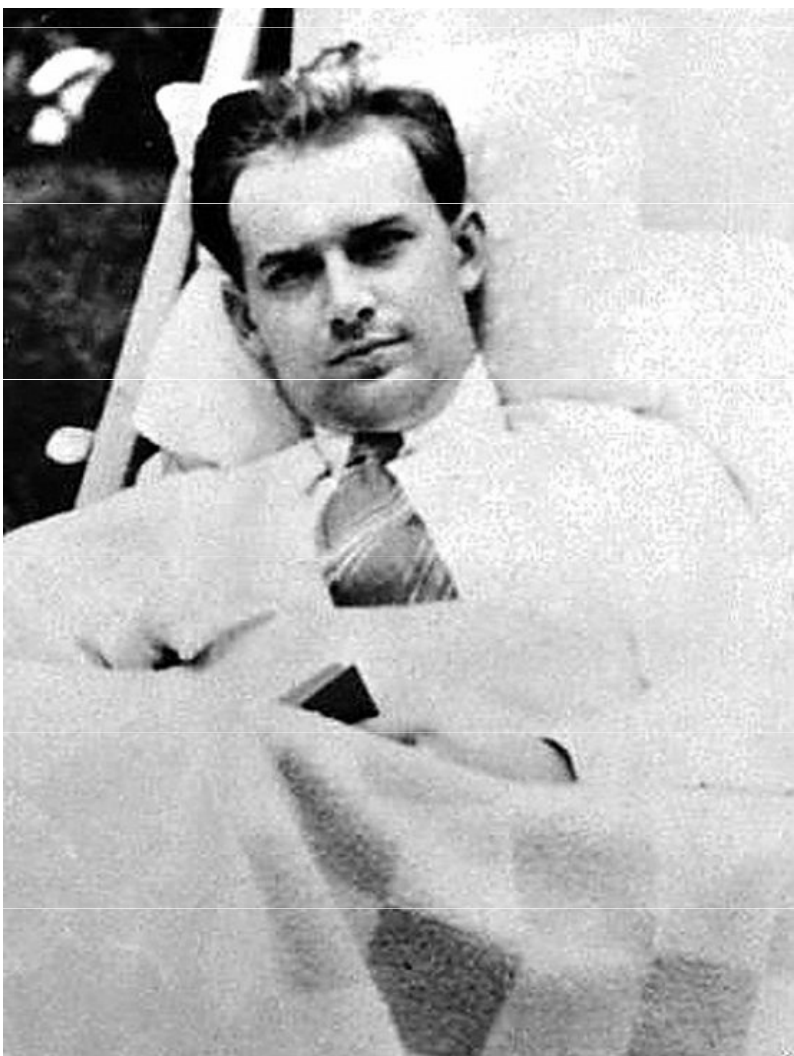
Just Months After Its Discovery, the X-Ray Was in Use in War



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)

Paprsky X v poezii – mystičnost a fascinace

Jiří Wolker : U roentgenu



To není Faustova jizba a duše
zde nevchází v prokletí,
to je Roentgenův přístroj s
magickou krásou XX. století

https://www.psanci.cz/literatura_dilo.php?id=331

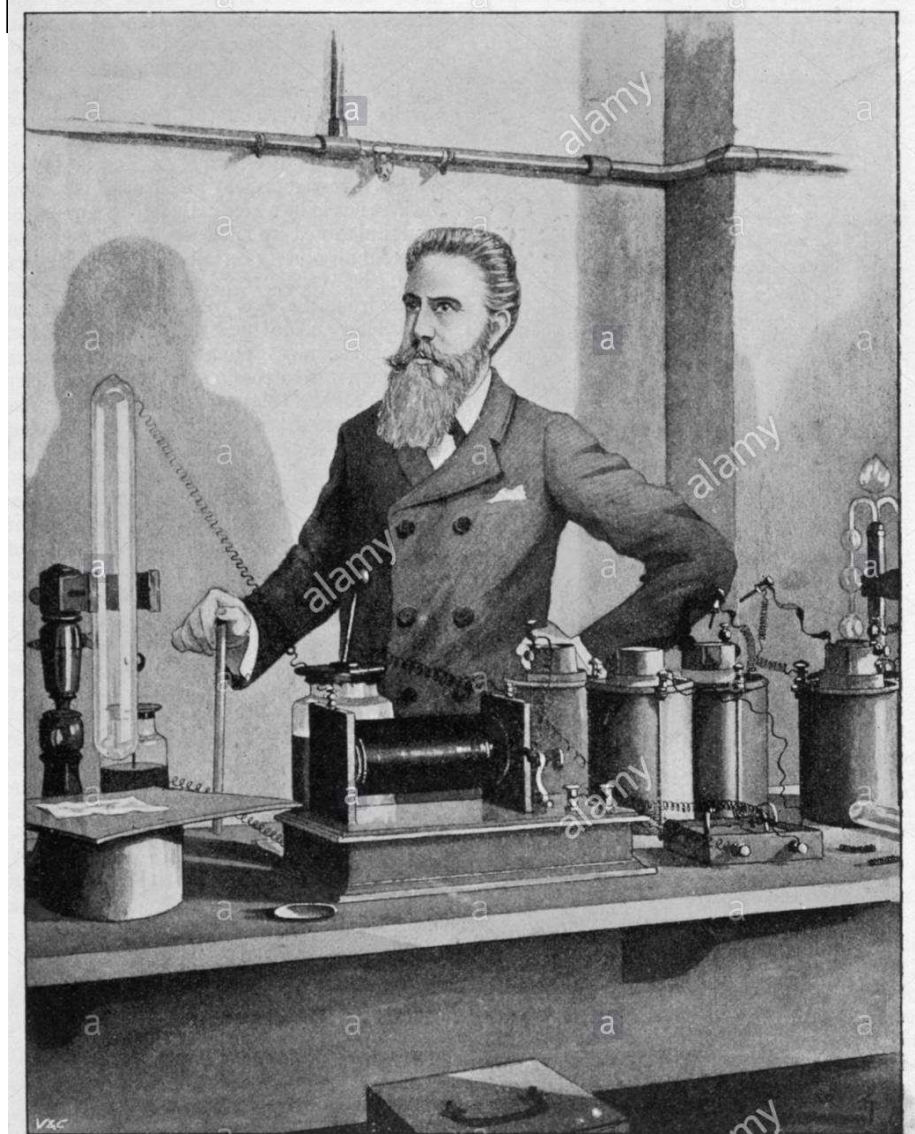
Wilhelm Roentgen - zajímavosti

- Jako jediný díky své plachosti a skromnosti nepřednesl nobelovskou přednášku
- objev nikdy nepatentoval, což umožnilo jeho rychlé rozšíření do praxe. Kategoricky odmítal také všechny firemní nabídky k jeho komerčnímu využití. Zastával názor, že dílo vykonané na univerzitní půdě s pomocí veřejných prostředků by mělo sloužit zdarma úplně všem: proto dobrovolně odevzdal svůj vynález veškerému lidstvu.
- také odmítl povýšení do šlechtického stavu jakožto pomíjivé)
- Zemřel zcela bez finančních prostředků.
- zemřel v 77 letech (v roce 1923) v Mnichově na leukémii v důsledku dlouhodobého ozáření jako chudý a osamělý člověk



Röntgenův názor na badatelskou práci:

„Experiment je nejmocnější a nejspolehlivější pákou, již můžeme na přírodě vynutit její tajemství; musí vždy být nejvyšší instancí při rozhodování otázky, zda lze nějakou hypotézu uznat, nebo zavrhnout. Každý jev je třeba co nejpřesněji pozorovat a popsat ve všech jednotlivostech a teprve potom se člověk může odvážit podat nějaké vysvětlení.“

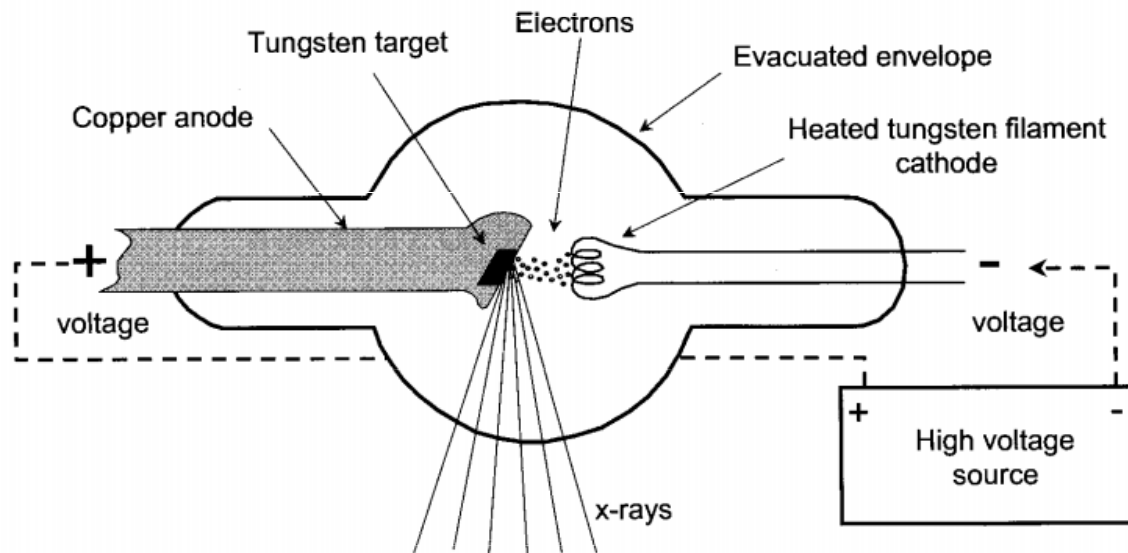


Vznik RTG záření, RENTGENKA

Rentgenka, správně nazývaná **rentgenová lampa** (angl. *X-ray tube*).

Obecně - vakuová elektronka

Zjednodušeně je to trubice s vakuem uvnitř, jejíž součástí je (žhavená) katoda, která slouží jako zdroj elektronů. Tyto elektrony jsou urychlovány, dopadají na terčík neboli anodu, čímž vzniká rentgenové záření. Rentgenka tedy **slouží k produkci rentgenového záření**.



Katodové trubice byly vlastně prvními jednoduchými urychlovači elektronů a později se z nich vyvinuly obrazovky (v jisté formě slouží i dnes jako zdroj e- pro urychlovače)

Vznik RTG záření, RENTGENKA

- Röntgen předpokládal, že pronikavé záření vzniká ve zředěném plynu katodové trubice,
- nicméně další experimenty prokázaly, že RTG záření pochází z anody při interakci zabrzděných elektronů s materiálem anody.
- Zdrojem rentgenového záření není tedy samotný výboj v plynu, kterým pouze procházejí urychlené elektrony na anodu.
- Naopak odstranění (vyčerpání) plynu a použití žhavené katody zvýší účinnost vzniku RTG záření, čehož se využívá ve vakuových rentgenkách
 - Zelektrojeme-li skleněnou tyč a přiblížíme-li k ní na určitou vzdálenost prst přeskochí elektrická jiskřička
 - Kdybychom však např. konce drátů pražské osvětlovací sítě přiblížili k sobě, nestane se nám nic podobného. Proč? Poněvadž napětí elektrického proudu je velmi malé
 - k přeskočení výboje 1 cm dlouhého je zapotřebí napětí asi 25.000 volt. Vzduch totiž klade přechodu elektřiny ohromný odpor, který dá se i při poměrně krátké dráze překonat jen vysokým napětím
 - Zředíme-li však v rentgence vzduch, elektrický výboj proběhne při stejném napětí mnohem delší dráhu než za normálního tlaku

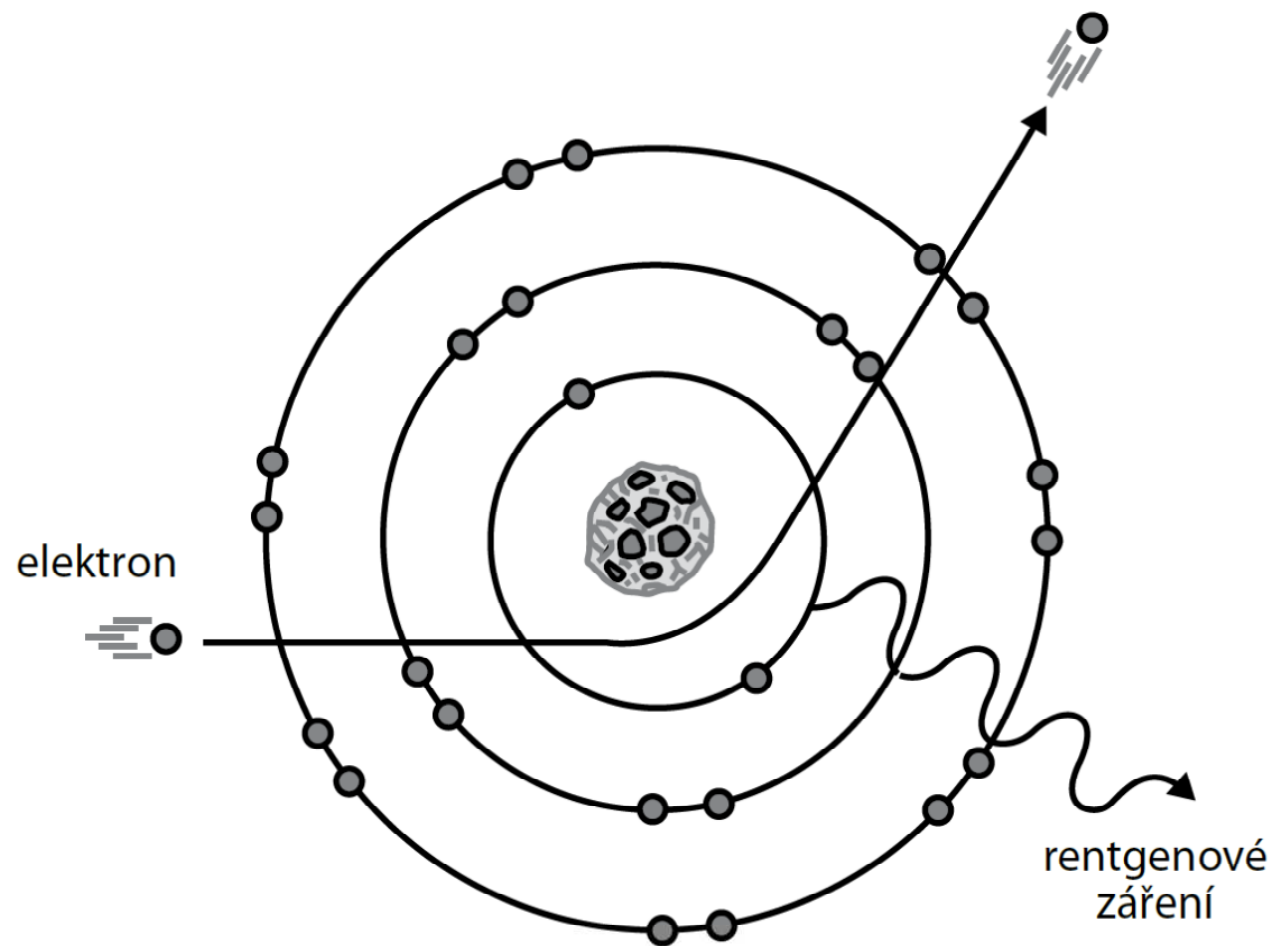
Rentgenka

- Z elektronického hlediska je rentgenka klasická **dioda** zapojená v obvodu s vysokým napětím cca 20–200 kV
- Žhavená **katoda** (napojená na záporný pól) emituje elektrony, které jsou urychlovány silným elektrickým polem daným vysokým napětím mezi katodou a anodou.
- **Anoda** (napojená na kladný pól) je zhotovena z těžkého materiálu (nejčastěji z wolframu), který má vysokou elektronovou hustotu, takže dopadající elektrony jsou velkou odpudivou silou prudce brzděny, čímž se podle zákonitostí elektrodynamiky část jejich kinetické energie mění v brzdné elektromagnetické záření, resp. fotony RTG záření.
- Po dopadu na anodu tedy pronikají elektrony několika vrstvami atomů anody a prudce se zbrzdí, dokud neztratí svou kinetickou energii
- Většina (99 %) jejich kinetické energie se přemění na teplo. Rentgenka se proto silně ohřívá a musí se chladit
- Jen malá část kinetické energie elektronů zachycených anodou se přemění na RTG záření
- Vznikající záření RTG je dvojího druhu
 - **brzdné záření**
 - a **charakteristické záření**
- RTG záření opouští anodu a vylétá z trubice ven.

Brzdné RTG záření

- Brzdné RTG záření je převažující typ záření vznikajícího v rentgence.
- Vzniká zpomalením letícího elektronu blízko jádra atomu. Jádro je kladně nabitě a přitahuje elektron, který změni směr letu a zpomalí. Rozdíl energie je přeměněn na záření různých frekvencí.
- Čím blíže se dostane elektron k jádru a čím větší je jeho energie, tím větší bude energie vznikajícího kvanta RTG záření.
- Charakteristiky brzdného záření tedy nezáleží na materiálu anody

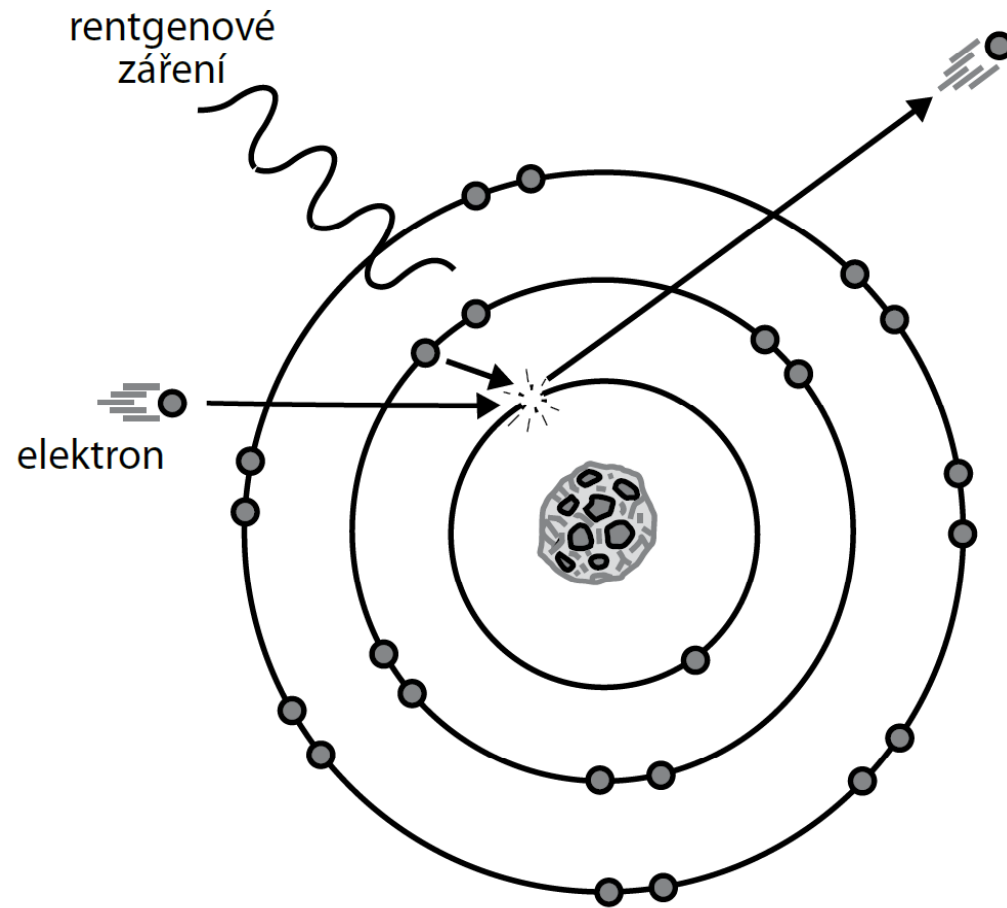
- **brzdné záření** vzniká následkem **interakce s polem jádra atomu**



Charakteristické RTG záření

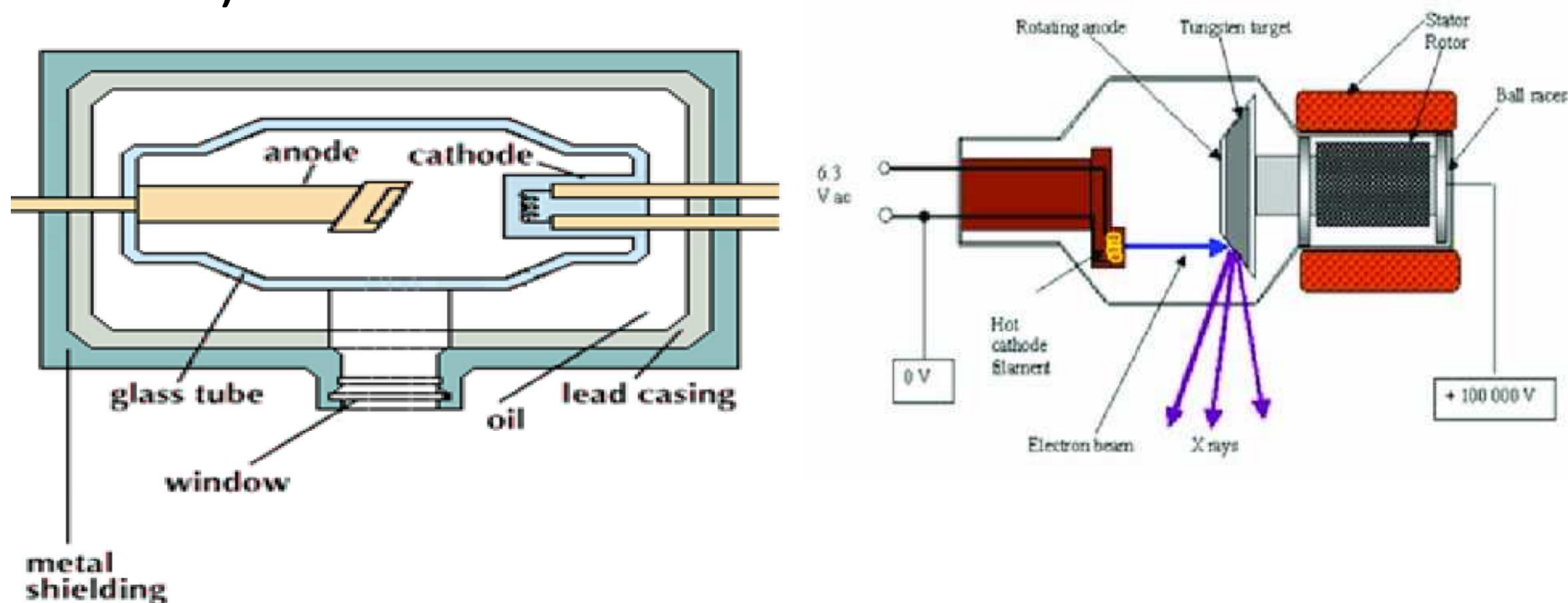
- Charakteristické RTG záření vzniká při srážce letícího elektronu (z anody rentgenky) a elektronu z elektronového obalu atomu na katodě.
- Původní elektron je vyražen ven z atomu (ionizace). Vznikne „díra“, která je ale následně zaplněna elektronem z jedné z hladin vzdálenějších od jádra, přičemž se uvolní značné množství energie ve formě fotonu RTG záření.
- Energie záření je rovna energetickému rozdílu mezi elektronovými hladinami, mezi kterými došlo k přeskoku elektronu
- Energie charakteristického RTG záření tak záleží na materiálu, ze kterého je anoda vyrobena
- čím je protonové číslo kovu anody vyšší, tím vyšší je energie charakteristického záření.

brzdné záření vzniká následkem **interakcí s obalovými elektrony**



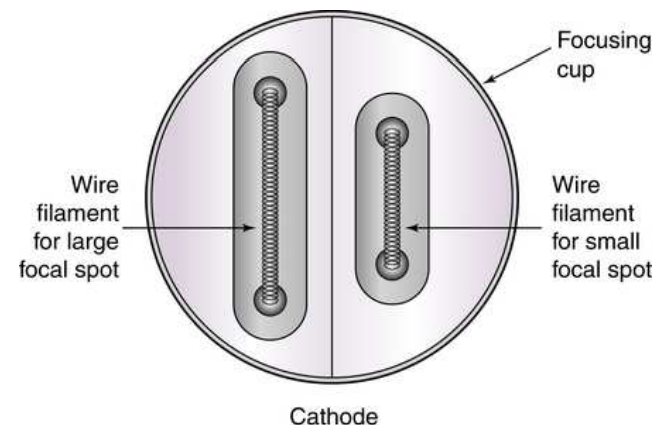
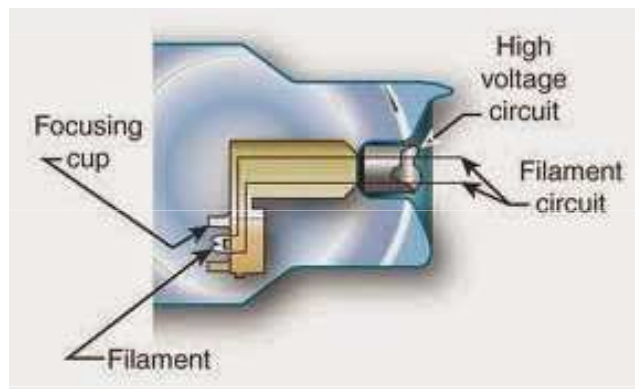
Konstrukce rentgenky

- Základní součástí každé rentgenky je **katoda** a **anoda**, mezi kterými je udržován elektrický potenciál. Další nepostradatelnou součástí rentgenky je **evakuovaná baňka** a eventuálně rotor (případně rotuje rentgenka celá)



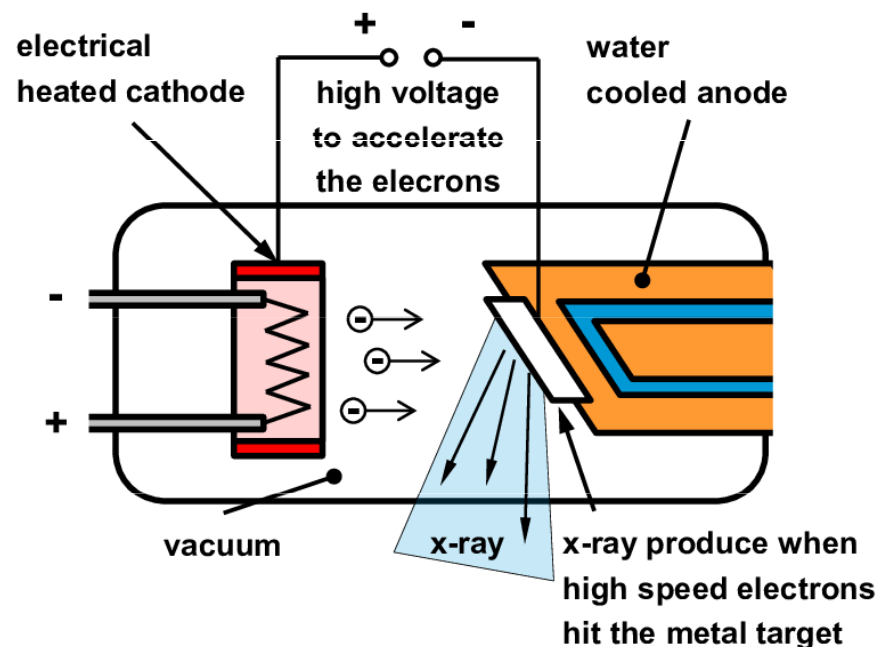
Konstrukce rentgenky

- **Katoda** tvořená spirálovitě navinutým tungstenovým/wolframovým vláknem (s příměsí thoria, které zvyšuje efektivitu emise elektronů a prodlužuje životnost katody) o tloušťce 0,2 mm, proto někdy nazývaná katodové vlákno, **slouží k produkci elektronů**.
- Toto vlákno je elektricky připojeno ke žhavicímu obvodu. Při průchodu elektrického proudu o velikosti cca 6-8 A žhavicím obvodem, a tedy i katodovým vláknem, dochází vlivem velké teploty (2000 °C) k termoemisi elektronů (Edisonův efekt).



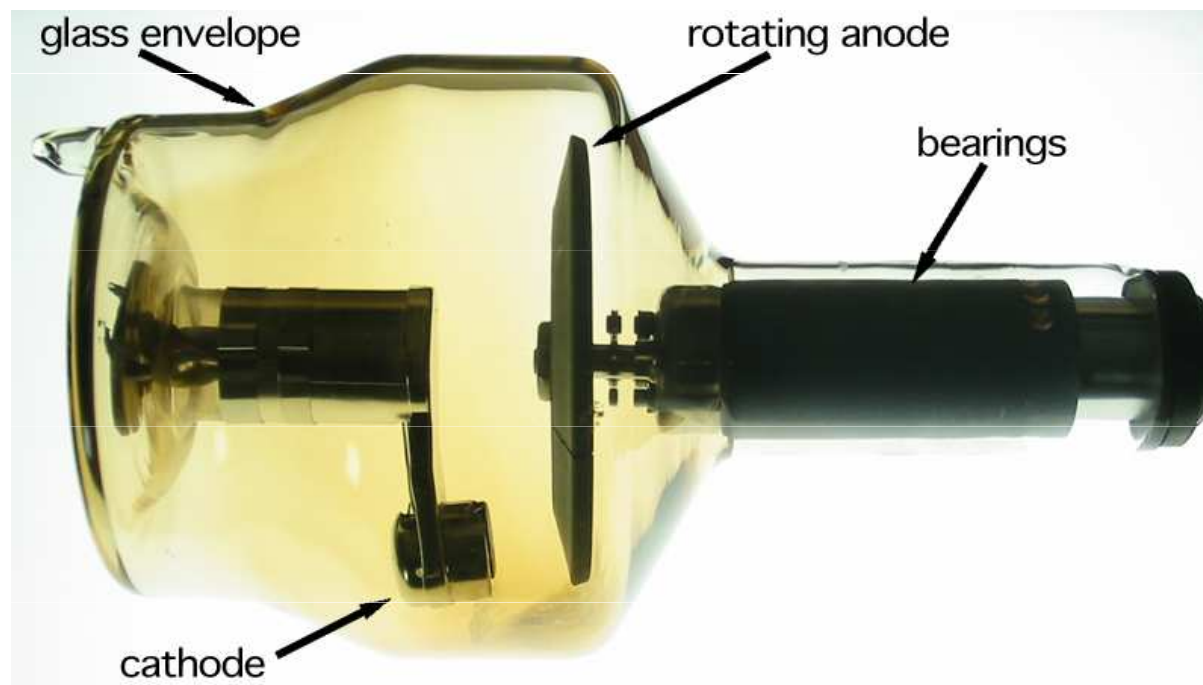
Konstrukce rentgenky

- Aby se zabránilo tepelnému zničení anodového terčičku, je potřeba vhodně zvolit materiál anody a taktéž dostatečně odvádět nepotřebné teplo.
- **Anoda** je nejčastěji vyrobena z wolframu, protože wolfram má vysoký bod tání.
- Wolfram je vhodný taktéž z toho důvodu, že díky vyššímu atomovému číslu se zvyšuje produkce fotonů rentgenového záření (více dále).
- Pro lepší odolnost terčičku se do wolframu přidává přibližně 10 % rhenia.
- V mamografii se místo wolframového terčičku používá terčič molybdenový a rhodiový → poté měď pro co nejúčinnější odvod tepla



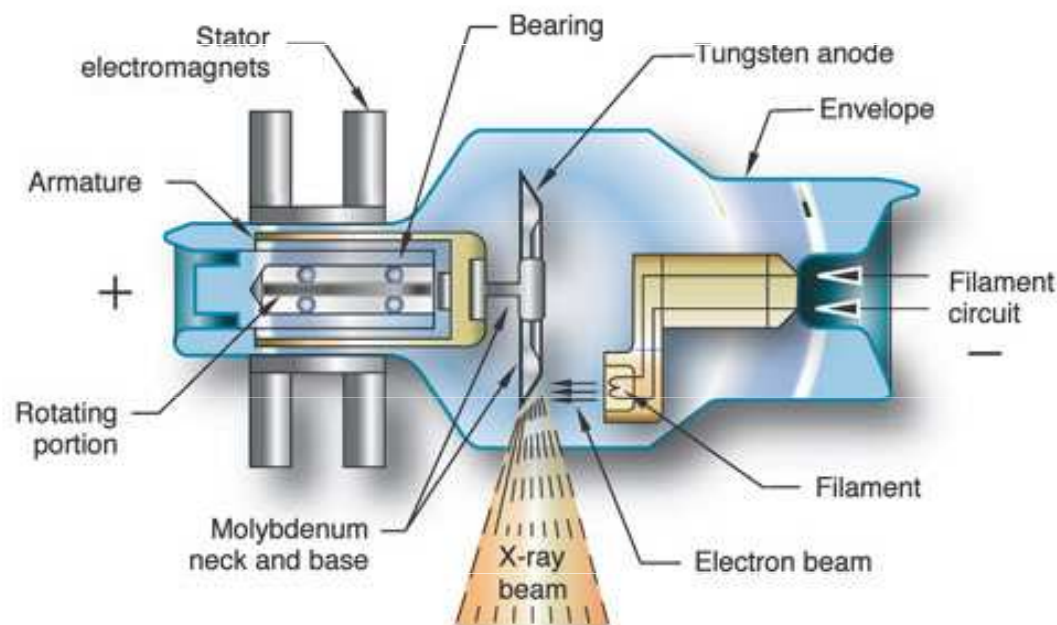
Konstrukce rentgenky

- **Rotační anoda.** U rotační anody dopadá svazek elektronů na plošinku terčíku, který však stále rotuje a teplo je tedy rozloženo na větší plochu. To umožňuje větší zatížení rentgenky. Rotační anody jsou s výhodou používány ve většině diagnostických aplikací, protože efektivněji odvádějí teplo a umožňují tak produkci většího množství fotonů potřebných pro prozáření větších objemů, aniž by došlo ke zničení terčíku.



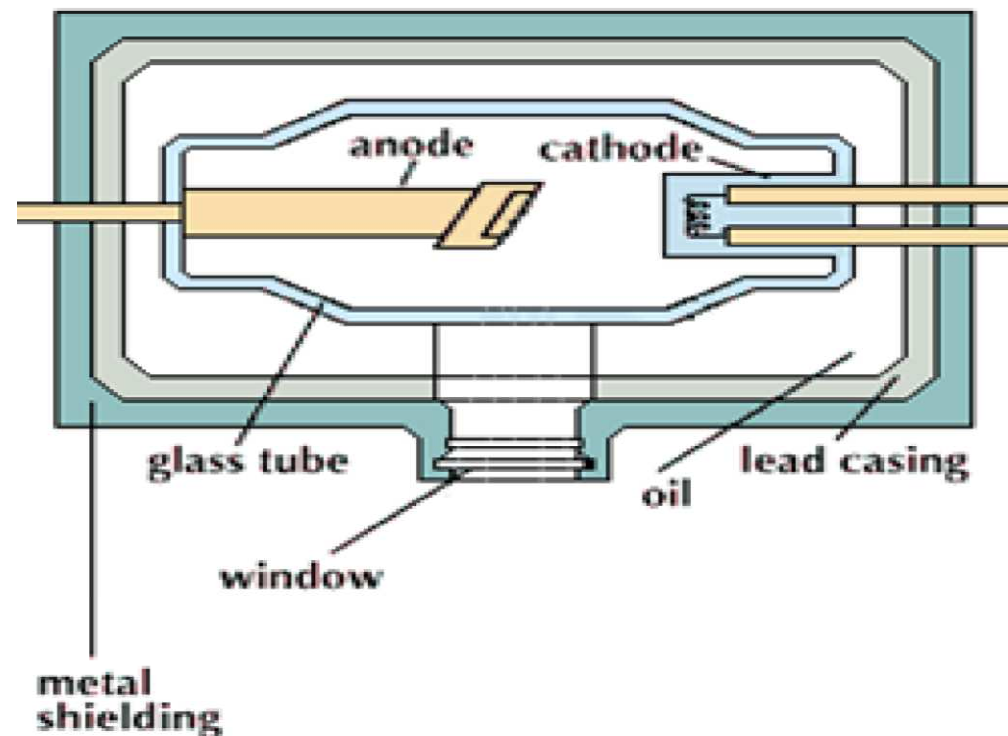
Konstrukce rentgenky

- Uvnitř evakuované baňky je umístěn taktéž **rotor**. Rotor je tvořen měděným blokem, na kterém je molybdenová osa pro upevnění terčičku. **Stator**, tvořený elektromagnety, je umístěn vně evakuované baňky. Stator a rotor tvoří společně **indukční motor**, kterým je poháněn terčičk. Rotační anoda rotuje s frekvencí až 10 000 otáček za minutu



Konstrukce rentgenky

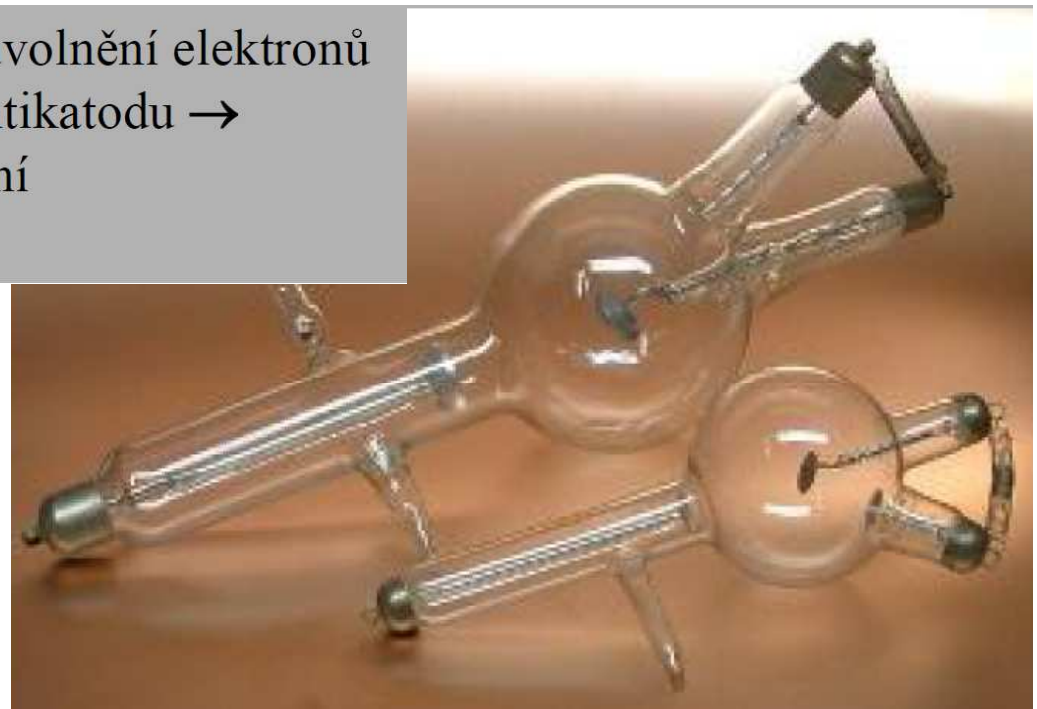
- **Evakuovaná baňka** rentgenky, ve které je umístěna katoda i anoda, je obvykle vyrobena ze skla a její hlavní funkcí je udržování vakua v trubici.
- Baňka je obtékána olejem, který tak odvádí teplo z rentgenky. Baňka bývá ještě uschována v krytu, jehož součástí je i olovo, které slouží k odstínění nepotřebného mimoohniskového záření



PRVNÍ RENTGENKY se „studenou katodou“: katodové trubice se speciálně upravenými elektrodami



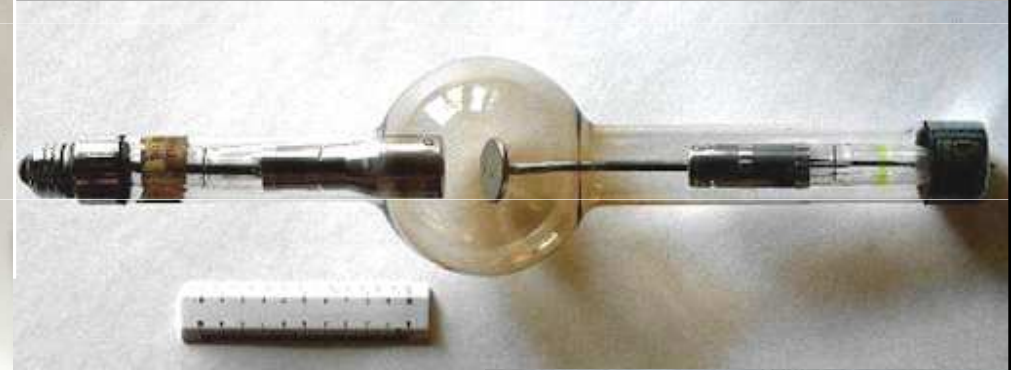
Výboj ve zředěném plynu → ionizace → uvolnění elektronů
→ urychlení k anodě → dopad na antikatodu →
→ vznik brzdného X-záření



VAKUOVÉ RENTGENKY SE ŽHAVENOU KATODOU:

žhavená katoda → termoemise elektronů → urychlení k anodě → brzdné X-záření

W.D.Coolidge r.1913:
rentgenka se žhavenou katodou

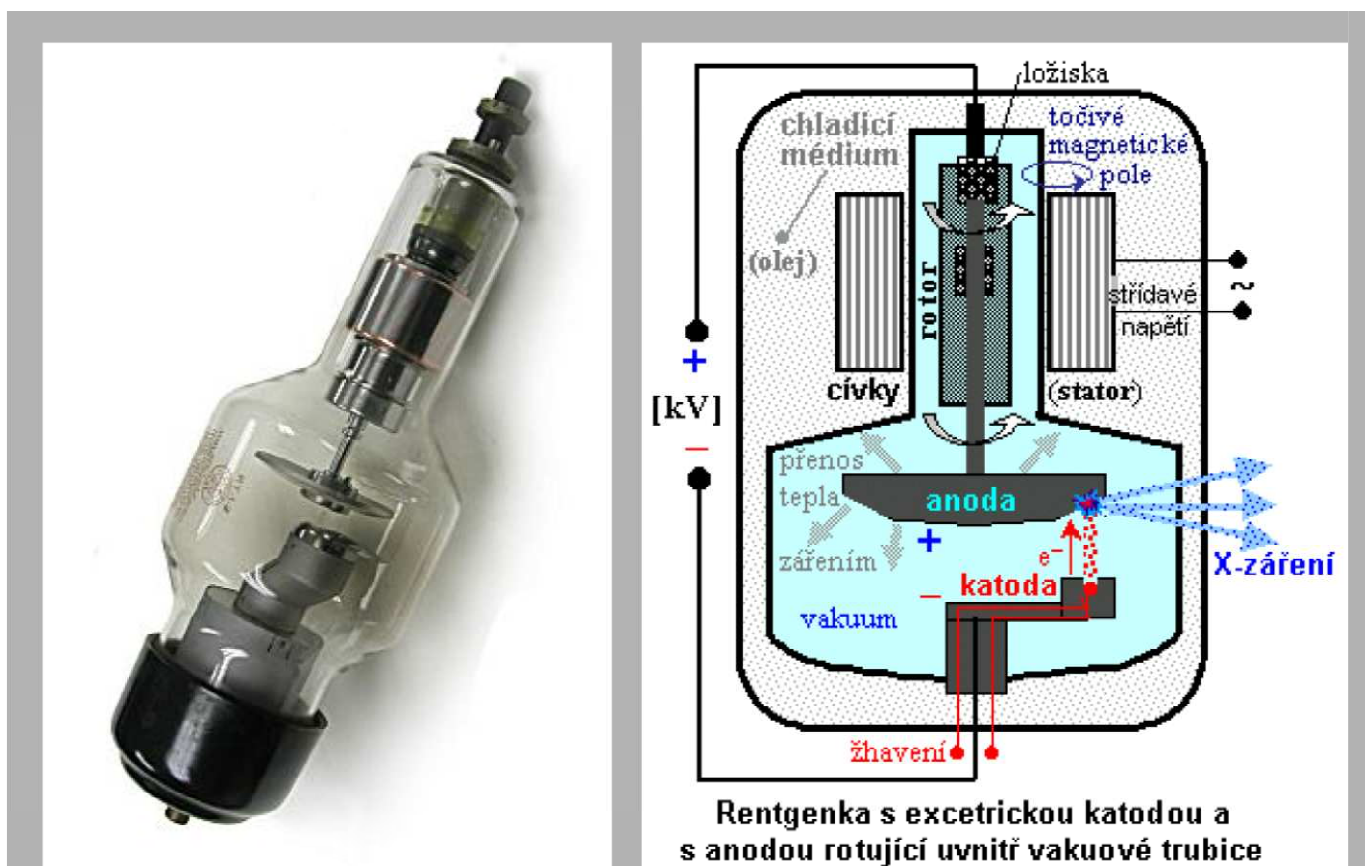


VAKUOVÉ RENTGENKY SE ŽHAVENOU KATODOU

žhavená katoda → termoemise elektronů → urychlení k anodě → brzdné X-záření

a

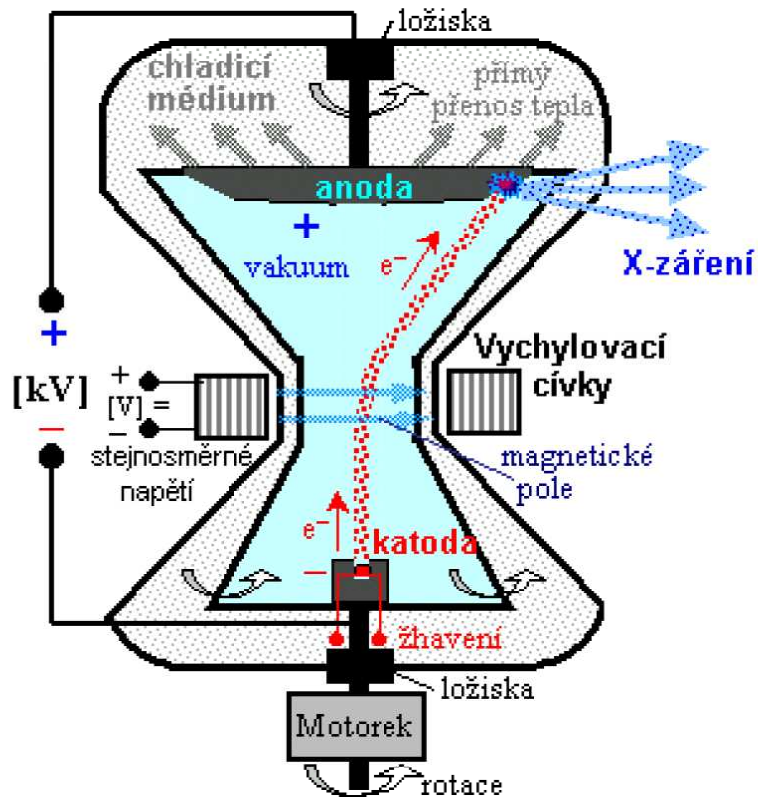
ROTUJÍCÍ ANODOU:



W.D.Coolidge r.1915 + General Electric
rentgenka se žhavenou katodou a rotující anodou

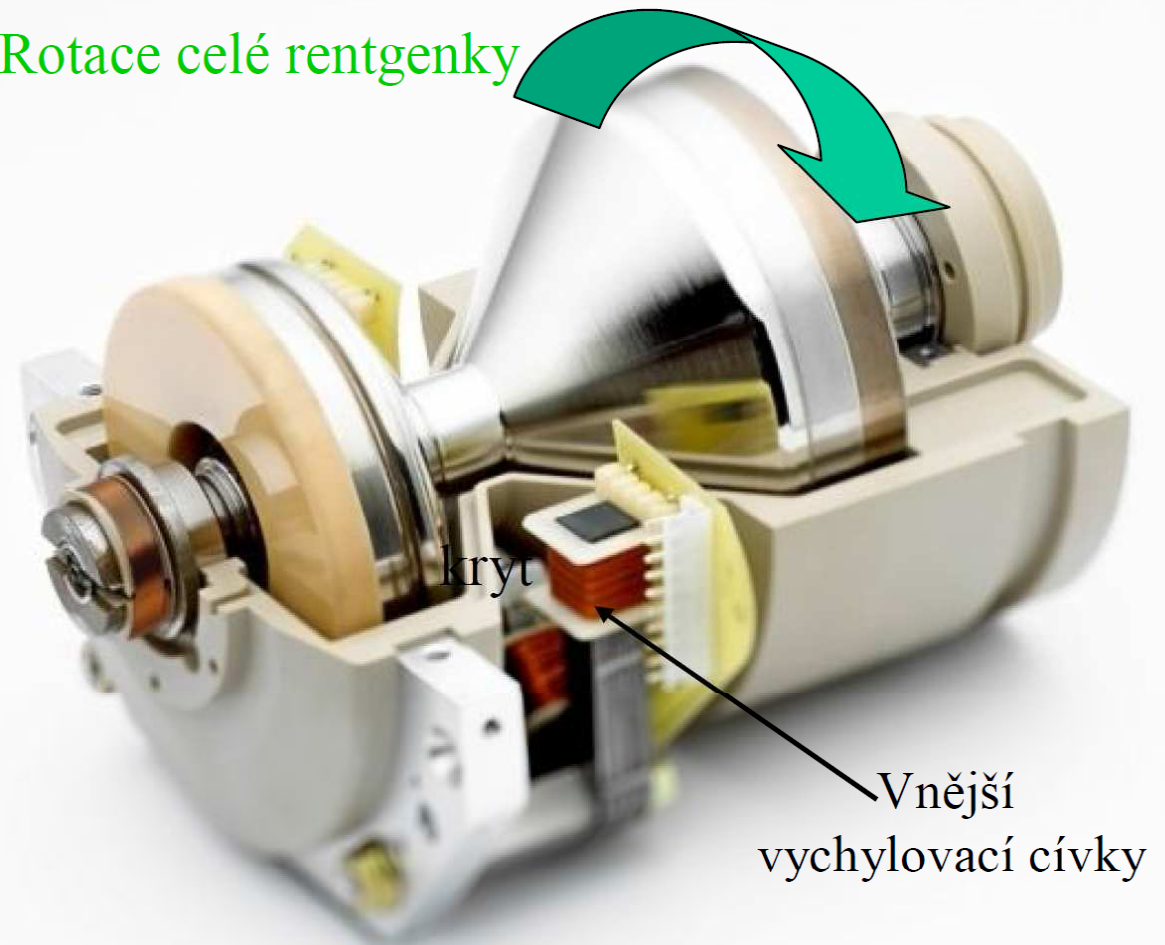
Rentgenka rotující jako celek

s čelní anodou v přímém styku s chladícím médiem
a s magnetickým vychylováním elektronového toku



Rentgenka rotující jako celek s čelní anodou
a magnetickým vychylováním elektronového svazku

Rotace celé rentgenky



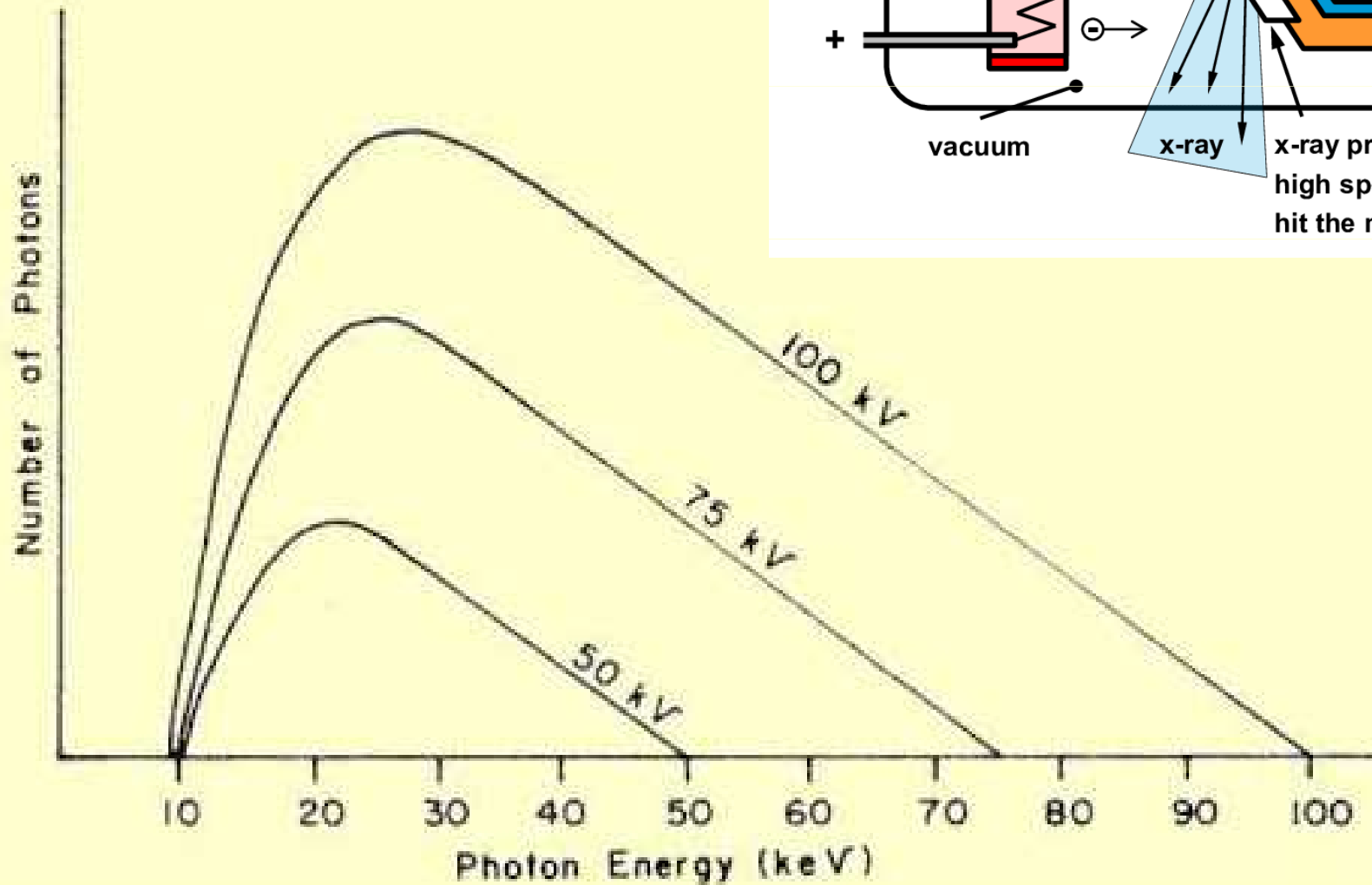
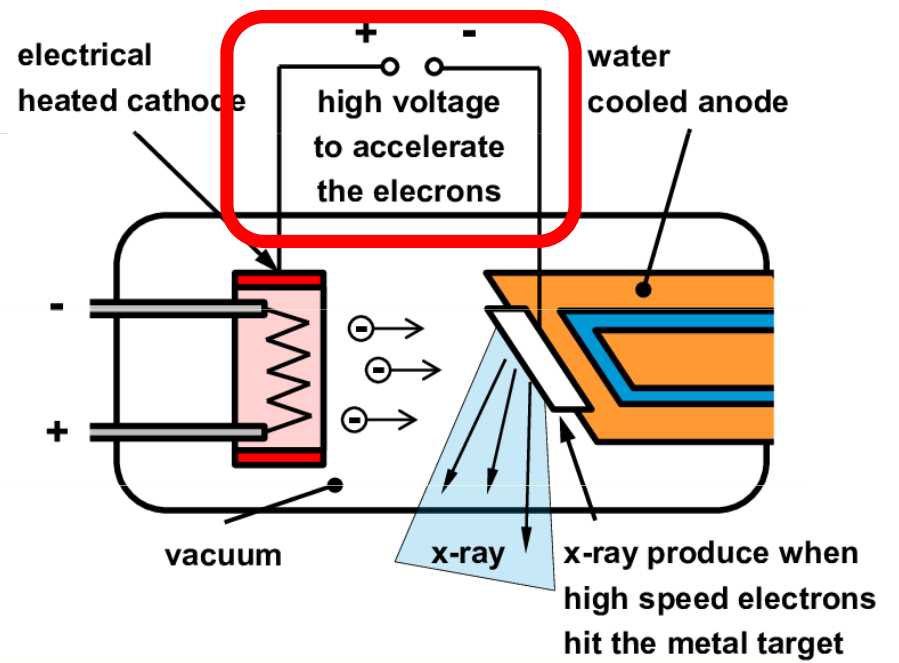
Rentgenka typu STRATON

REGULACE PRODUKCE RTG NA RENTGENE

Elektrické napájení rentgenky a regulace produkce RTG záření

- Rentgenka, jako elektronický zdroj záření, vyžaduje patřičné elektrické napájení dodávající elektrickou energii generující RTG záření a zajišťující další funkce nezbytné pro správný provoz zařízení. Rentgenka má tři základní zdroje napájení: žhavicí napětí, anodové napětí, rotace anody
- **Anodové napětí**
- určuje maximální energii fotonů výsledného RTG záření, tj. jeho „tvrdost“.
- střední energii fotonů výsledného RTG záření, tj. jeho „tvrdost“.
- Zvyšuje produkci (kvantitu) fotonů X
- Při dostatečném napětí se objevuje specifické záření X (charakteristické píky)
- Rostoucí napětí → nižší kontrast snímků
- V praxi se anodové napětí pohybuje v širokém rozmezí od cca 20 kV do 200 kV (v závislosti na druhu zobrazovaných struktur); nižší napětí = měkčí záření.

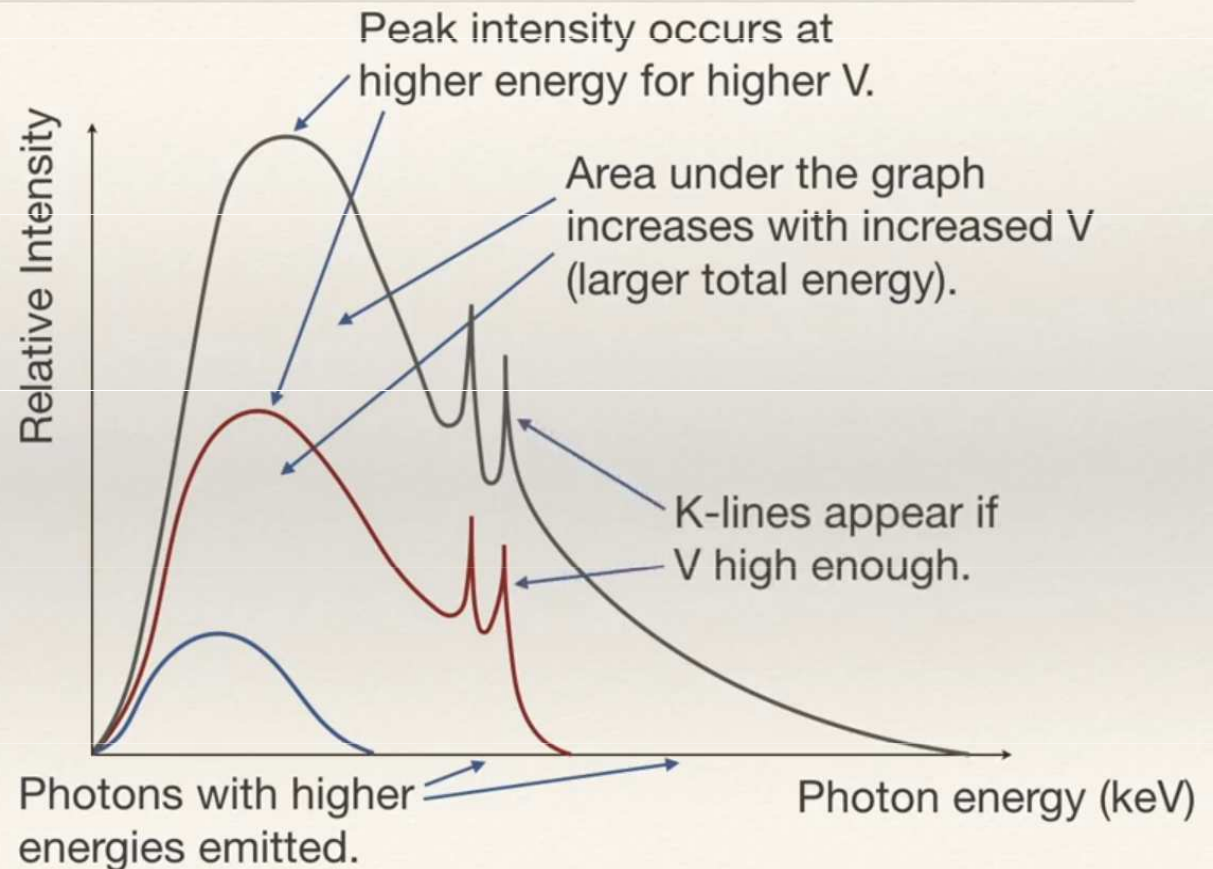
Anodové napětí





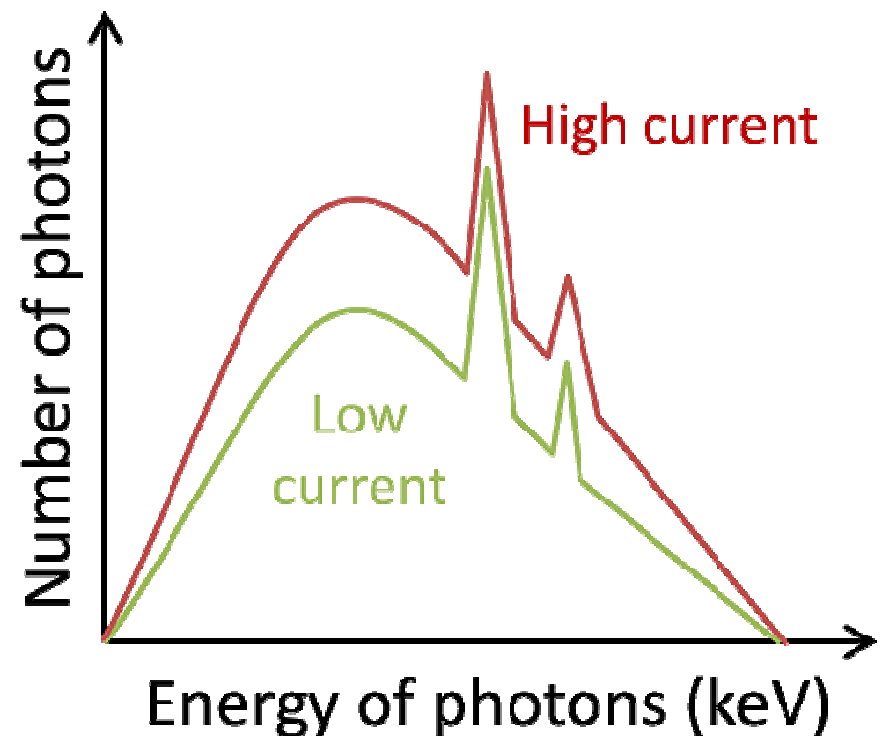
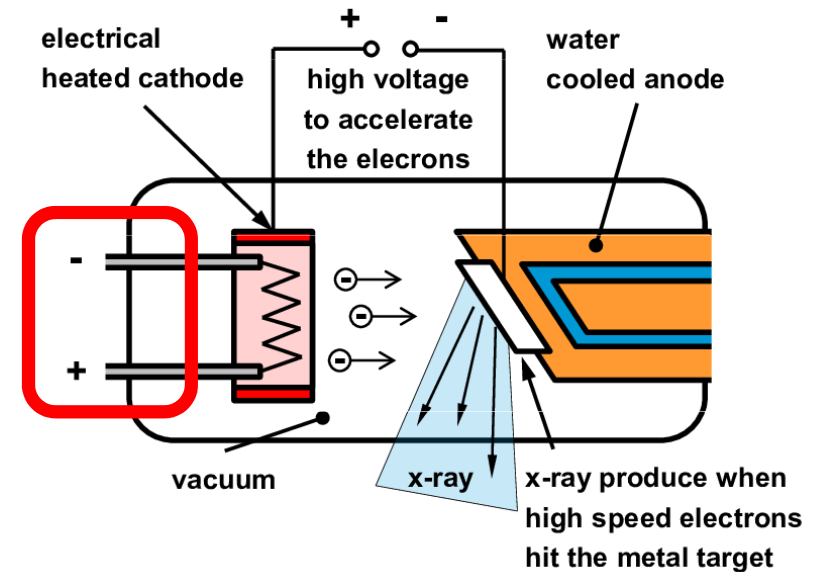
Spectra for Different Tube Voltages

- ❖ Different tube voltages:
 $V_1 > V_2 > V_3$
- ❖ Increasing voltage increases work done on electrons
⇒ larger KE
- ❖ New subatomic transitions possible.



Elektrické napájení rentgenky a regulace produkce RTG záření

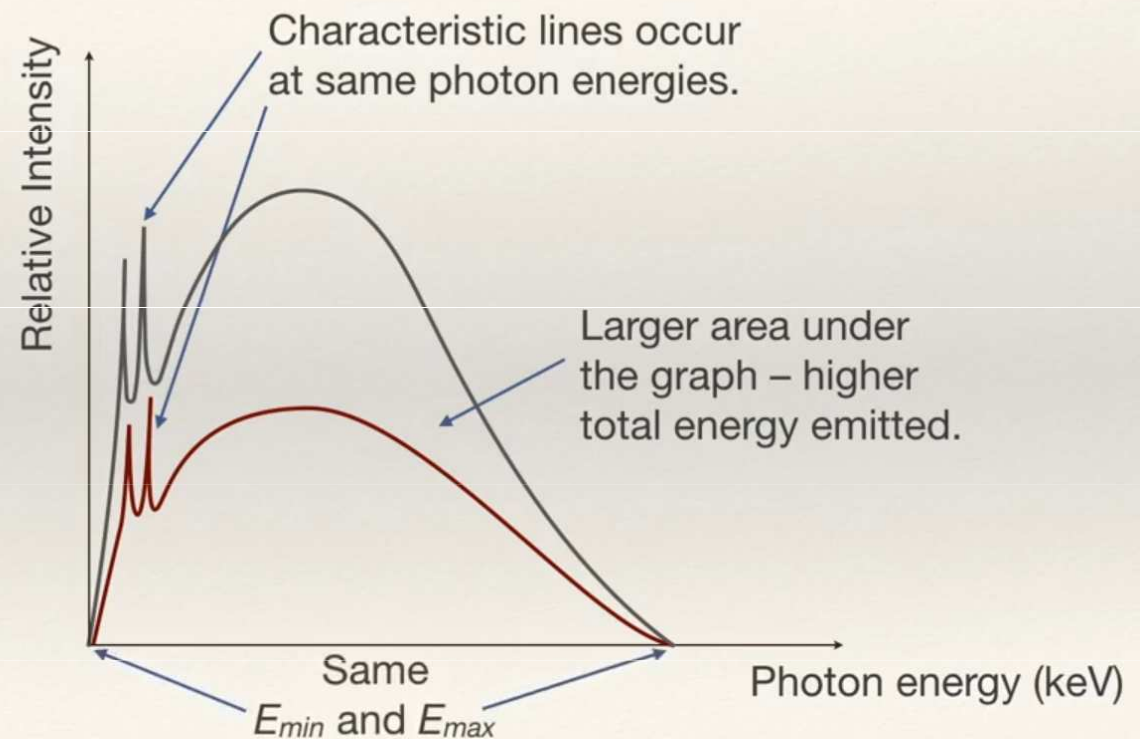
- **Katodový proud** protékající rentgenkou (+ čas expozice) určuje:
- intenzitu RTG záření emitovaného rentgenkou (**změnou žhavení katody**, žhavicího proudu, a tím teploty vlákna katody)
- Při vyšším žhavení vlákna katody je emitováno více elektronů, rentgenkou protéká vyšší proud a je vyzařována vyšší intenzita RTG záření.
- Zvyšuje se expozice (kvalita) snímků
- Průměrný proud rentgenkou se pohybuje v rozmezí jednotek mA – až asi 200 mA, okamžitý proud může být i podstatně vyšší (v pulzním režimu).





Spectra for Different Tube Currents

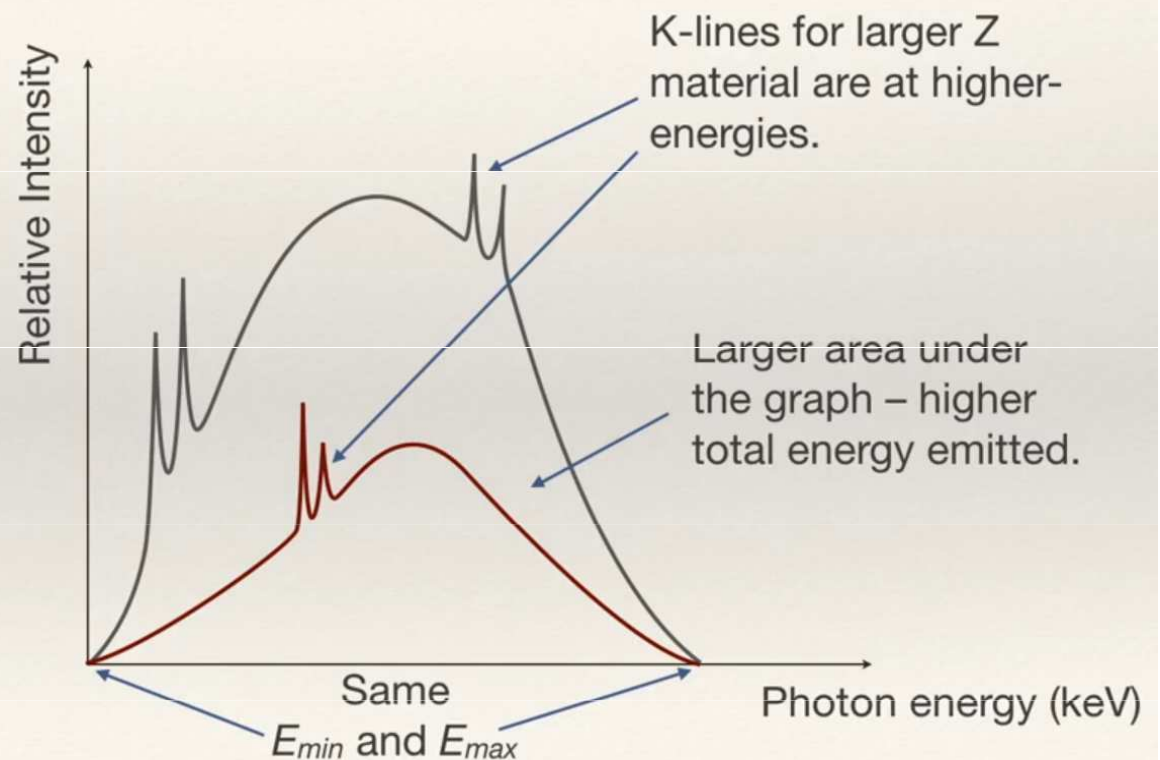
- ❖ Different tube currents:
 $I_1 > I_2$
- ❖ Larger current \Rightarrow larger rate of flow of charge \Rightarrow more electrons arriving per unit time.
- ❖ More x-ray photons produced per unit time.
- ❖ Max. and min. electron KE unaffected.



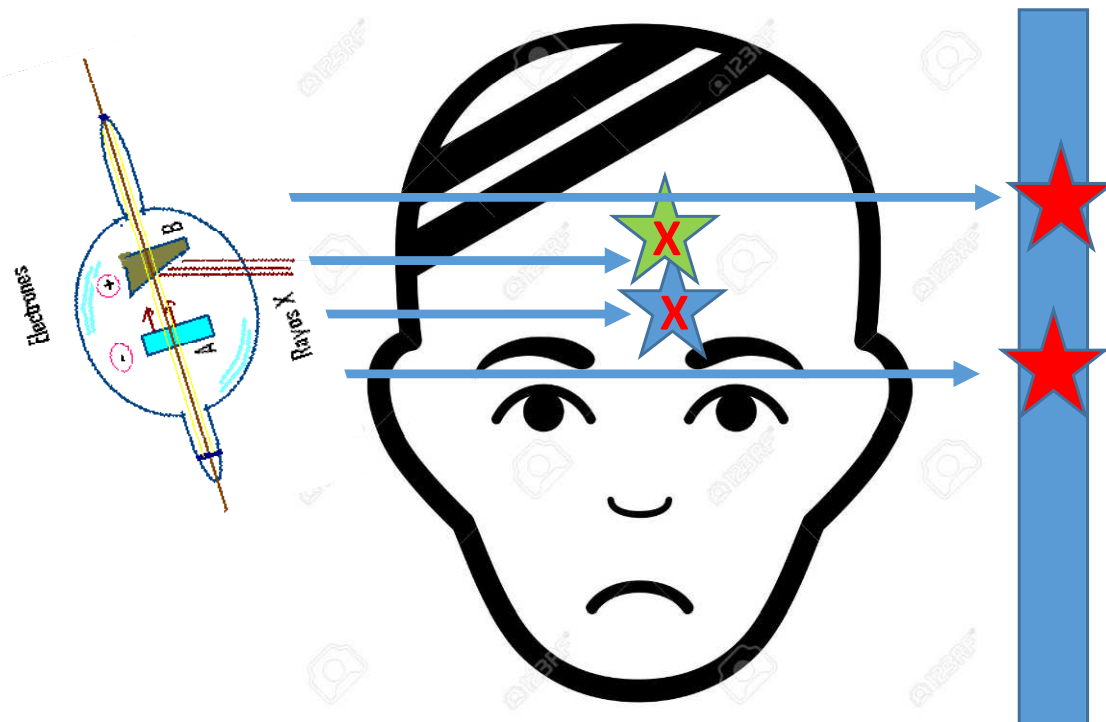
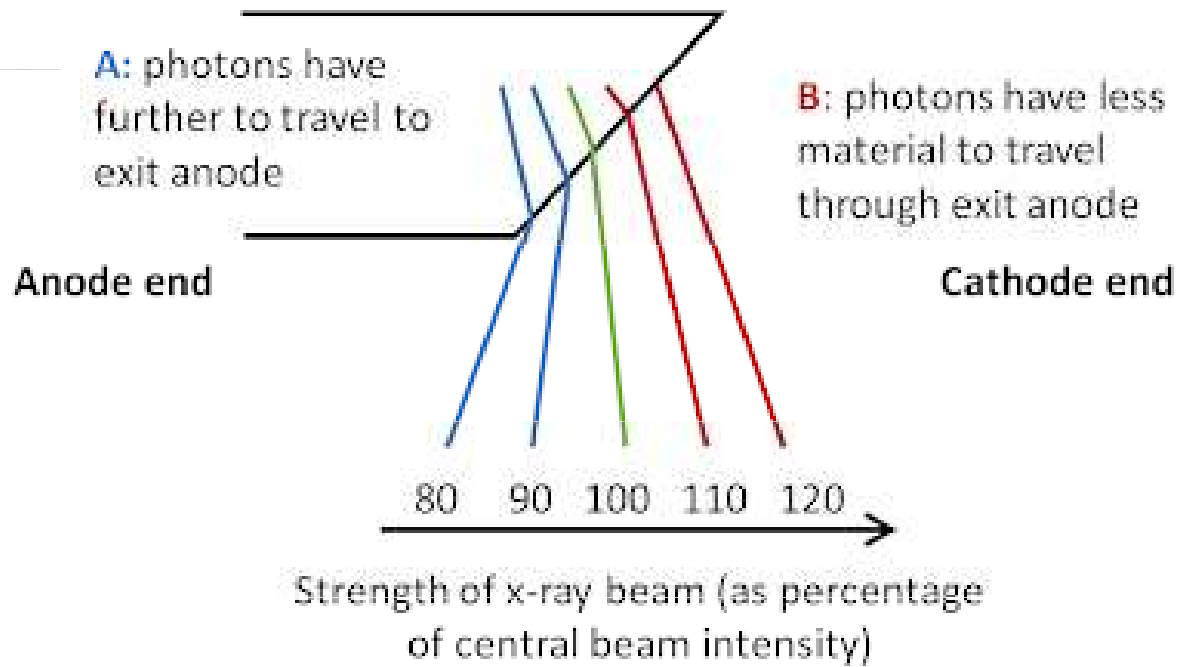


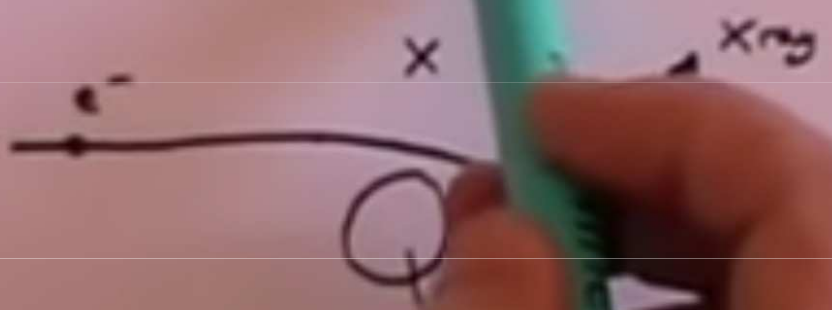
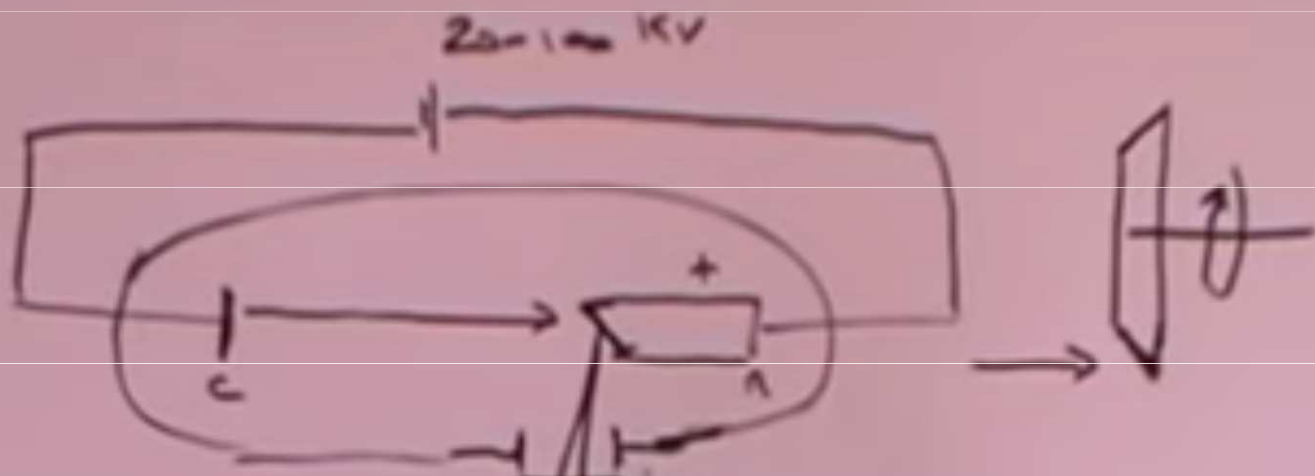
Spectra for Different Target Metals

- ❖ Different target material:
 $Z_1 > Z_2$
- ❖ More photons at each energy for increased Z .
- ❖ K-lines occur at higher energies if Z increased.



HELL EFEC

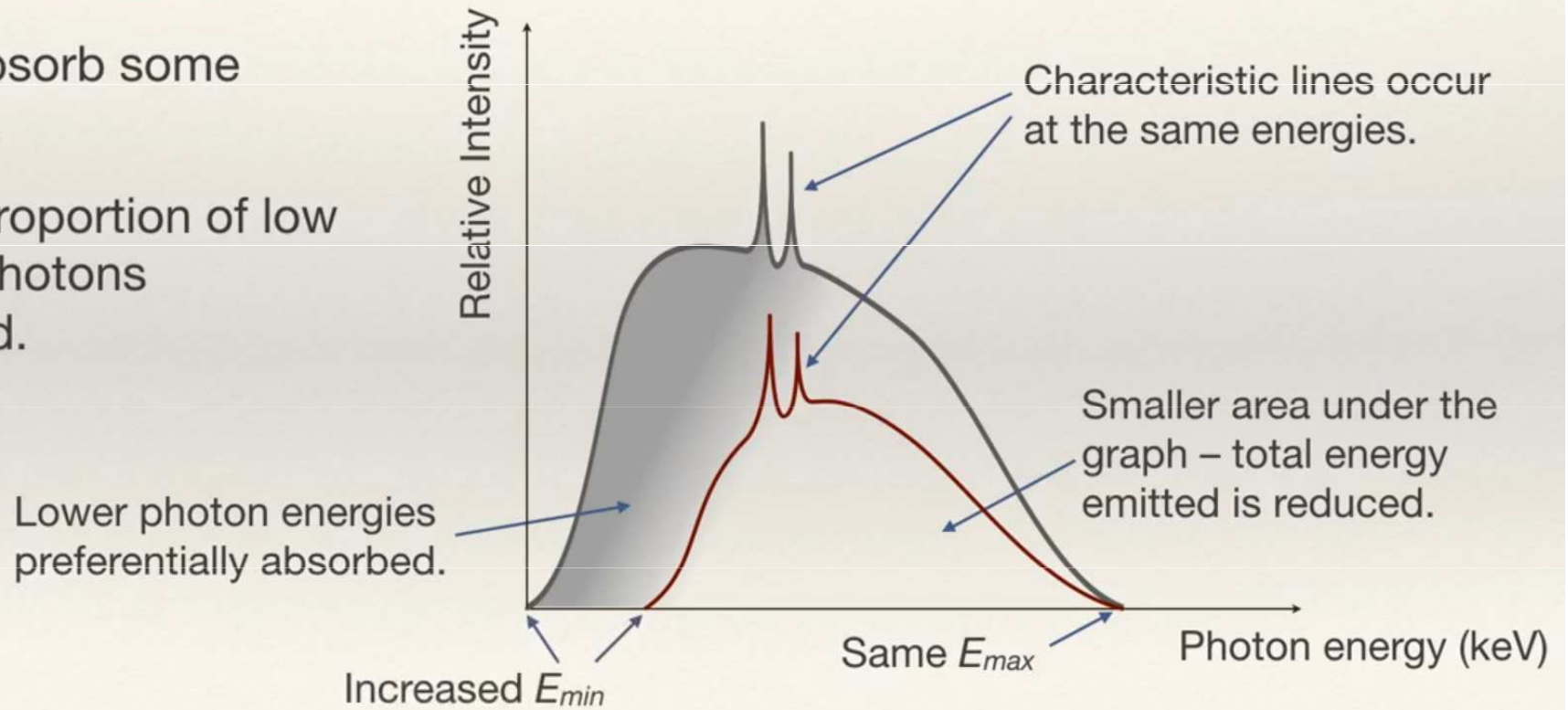


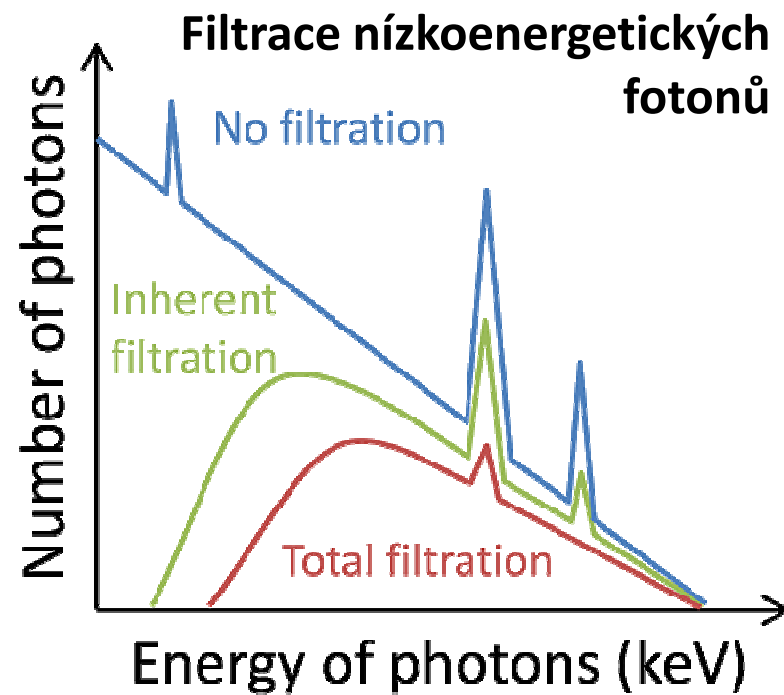
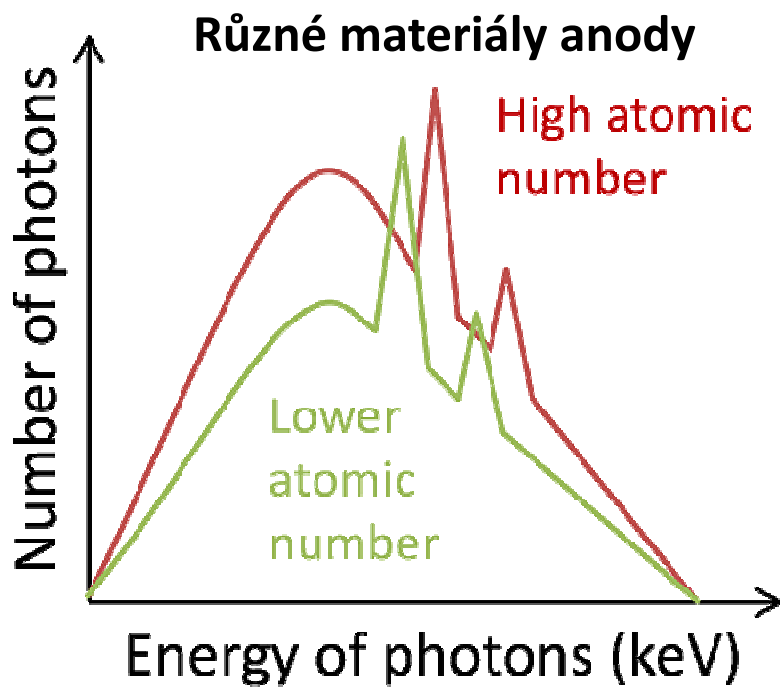
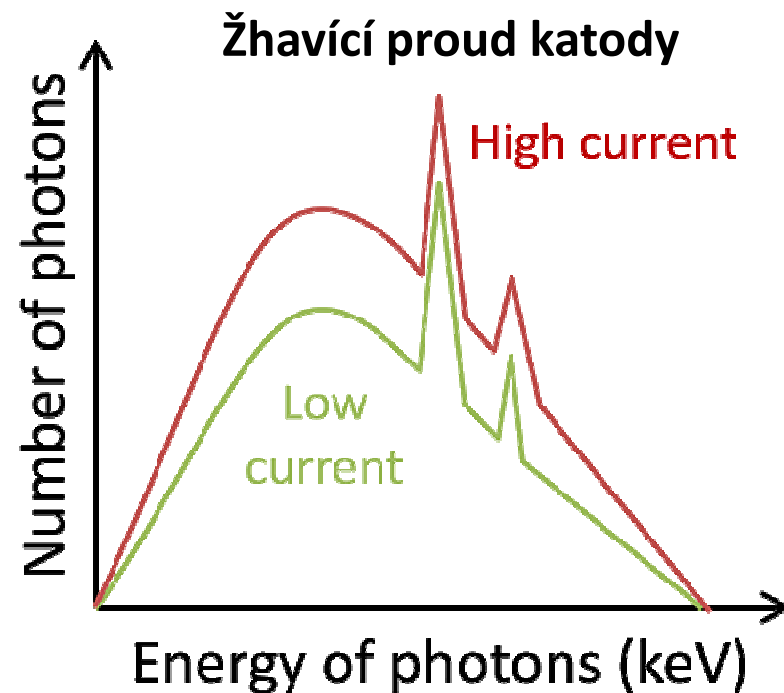
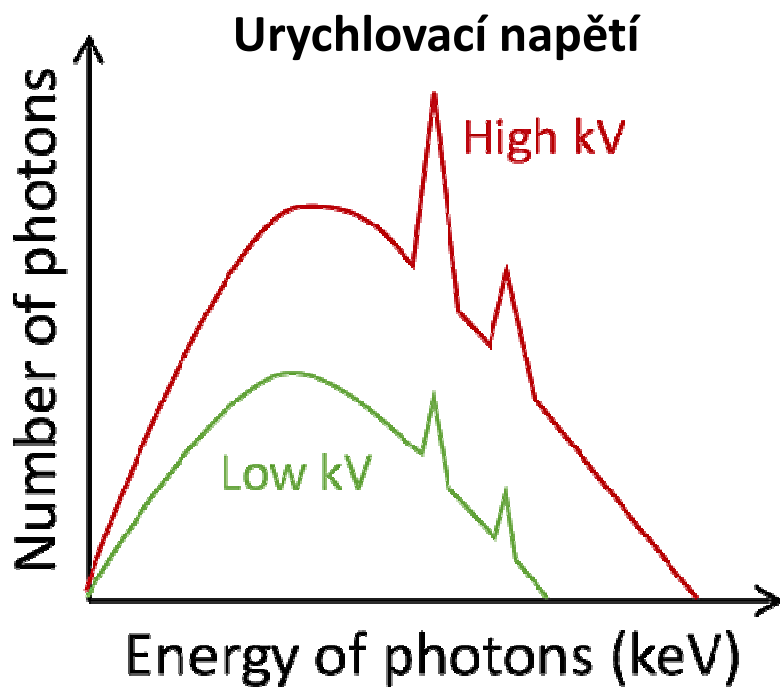




Filtered Versus Unfiltered Spectra

- ❖ Unfiltered / Filtered
- ❖ Filters absorb some photons.
- ❖ Higher proportion of low energy photons absorbed.

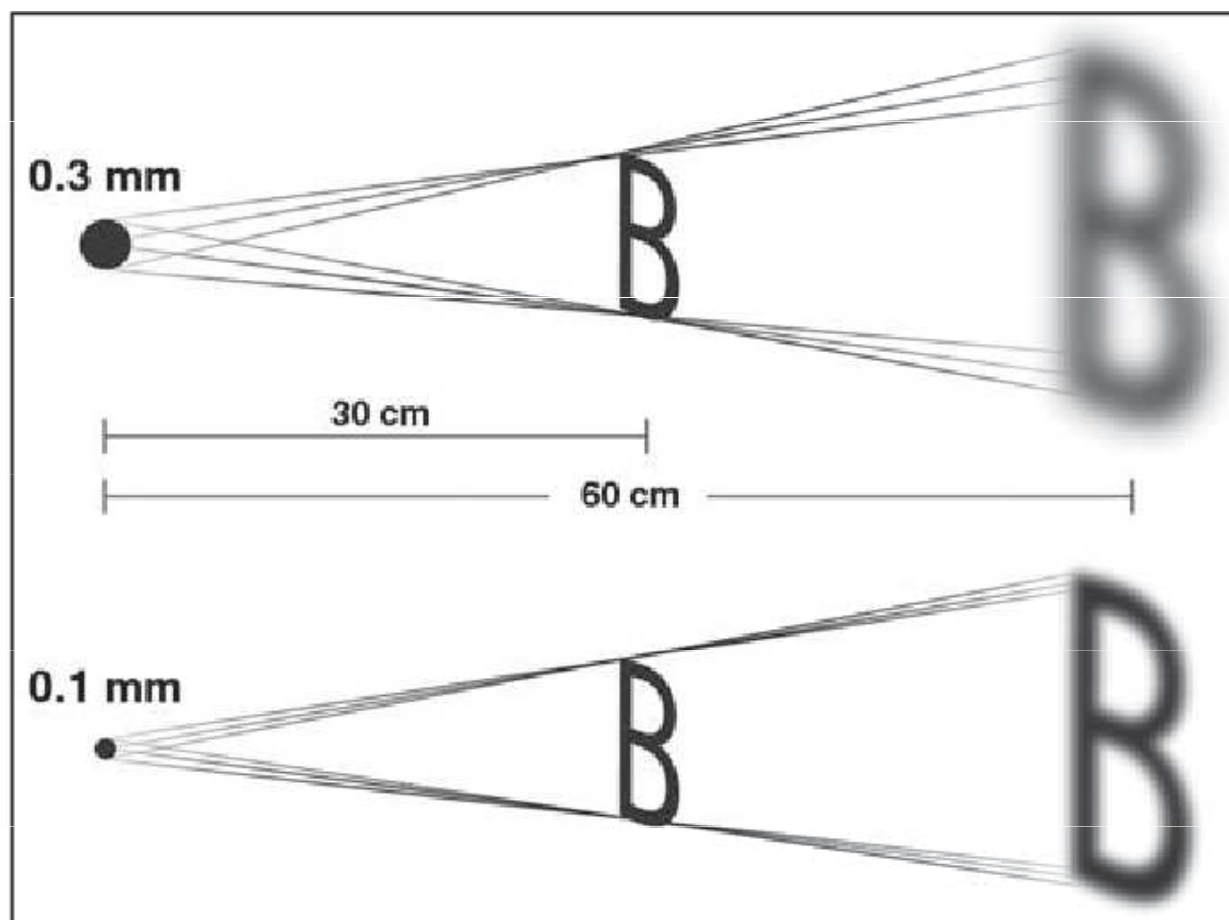




Efekt velikosti ohniska rentgenky

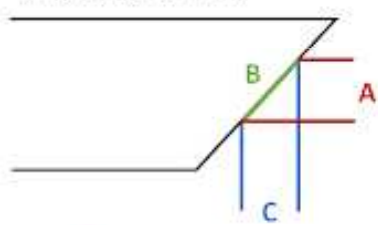
Fokusace elektronu, ohnisko

Rentgenky pro RTG diagnostiku používají fokusaci elektronového svazku do ohniska, což je podmínkou dosažení dobré ostrosti a rozlišení projekčního stínového transmisního obrazu při RTG diagnostice, resp. je zapotřebí, aby svazek X-záření vycházel z téměř bodového zdroje.

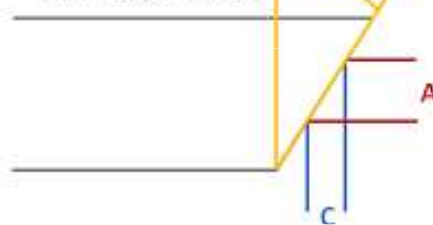


Efekt velikosti ohniska rentgenky

Large angle anode



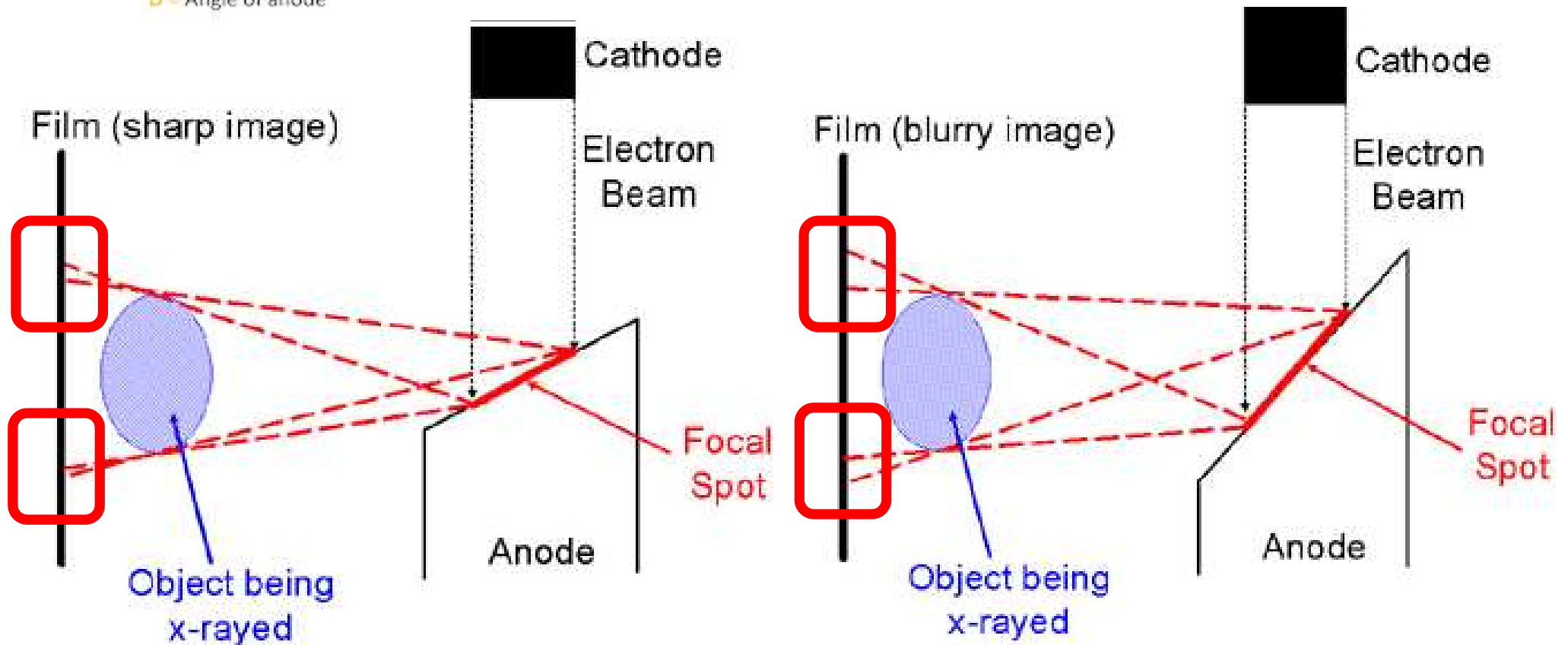
Small angle anode



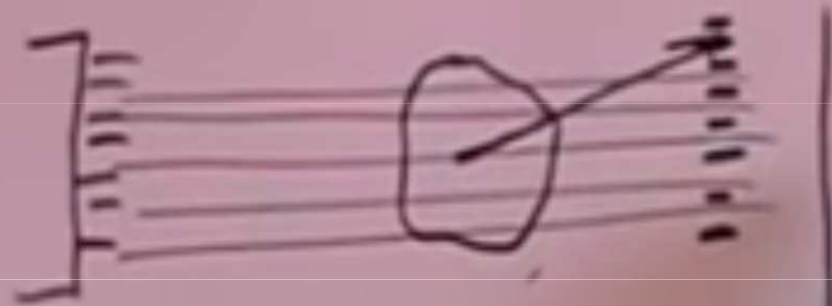
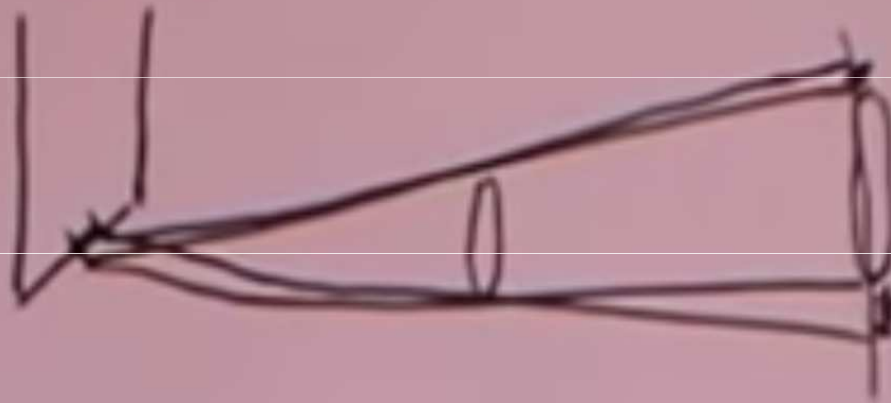
- A = Bombarding electron beam
- B = Actual focal spot
- C = Effective focal spot
- D = Angle of anode

Větší ohnisko

- Větší výkon (produkce RTG)
- Horší ostrost snímků



Filtrace rozptýlených paprsků



Elektrické napájení rentgenky a regulace produkce RTG záření

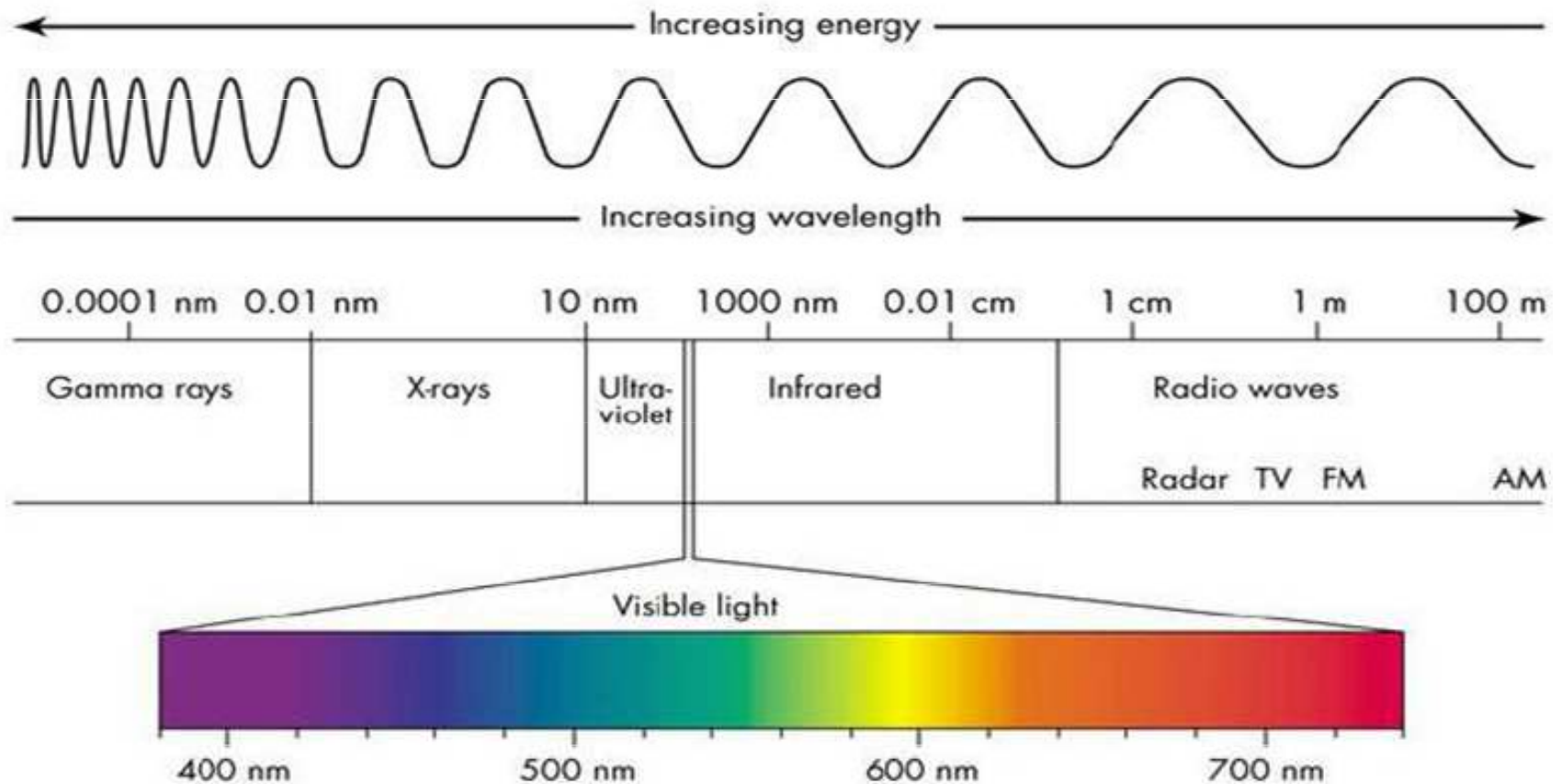
- Z rentgenodiagnostického hlediska: Celkové množství fotonů RTG záření (expozice) určuje kvalitu RTG snímků a též radiační zátěž pacienta.
- Kvalita je dána součinem intenzity záření (fluence fotonů/s) a expozičního času T ,
- je tedy úměrná součinu katodového proudu rentgenky (mA) a expozičního času (s): „**miliampér-sekundy**“ $\text{mA}\cdot\text{s} = Q$
- Pro pořizování běžných skiagrafických snímků
 - měkkých tkání se používá expozice na rentgence asi 2–6 mAs
 - u skeletu cca 20–80 mAs, u CT i 200 mAs
- Trendem u moderních RTG přístrojů schopných pracovat v **pulzním režimu s vysokým okamžitým výkonem** se pro dosažení požadované expozice (mAs) dává přednost vysoké hodnotě proudu (mA) při krátkém expozičním času (s) – snižuje se tím riziko rozmazání snímku pohybem pacienta.

Vlastnosti RTG záření (paprsky X)

- RTG záření je pronikavé elektromagnetické záření o velmi krátkých vlnových délkách 10^{-11} m to 10^{-8} m 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 nabitě ionty.

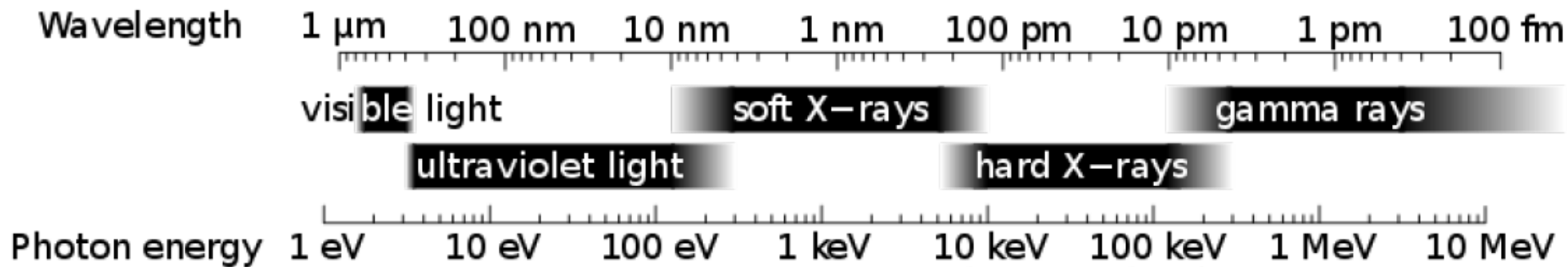
Introduction

- X-rays are a part of electromagnetic spectrum.
- X-rays have a wavelength in ranges of 0.01nm to 10nm.70-200pm for (AP).
- Produced by the deceleration of high-energy electrons.
- Electronic transition of electrons in the inner orbitals of atoms.

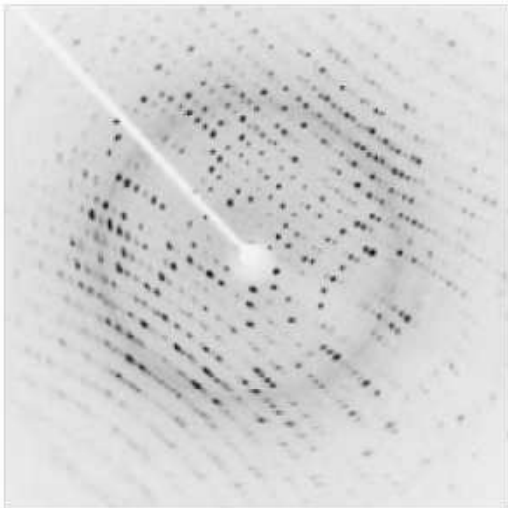


Měkké a tvrdé RTG záření

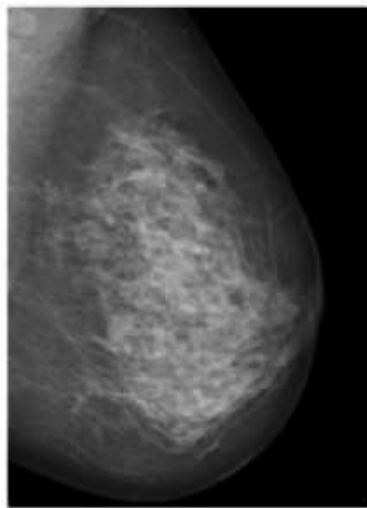
- Roentgenovy trubice mohou být vyčerpány buď více nebo poněkud méně
- v prvním případě vzniká tvrdé RTG záření (<0.1 nm)
- v druhém měkké RTG záření (>0.1 nm)
- Měkké RTG trubice: vydávají paprsky, které jsou hustými tělesy snadno pohlcovány, tak že dávají např. obrázky ruky velmi pěkné, s ostře vyznačenými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



X-ray crystallography



Mammography



Medical CT

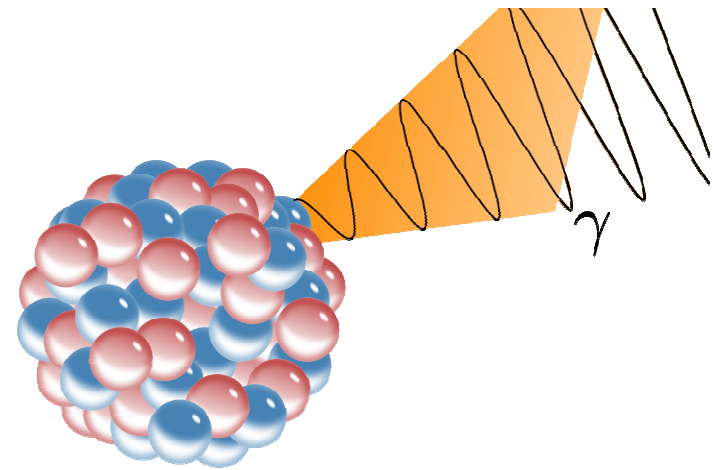
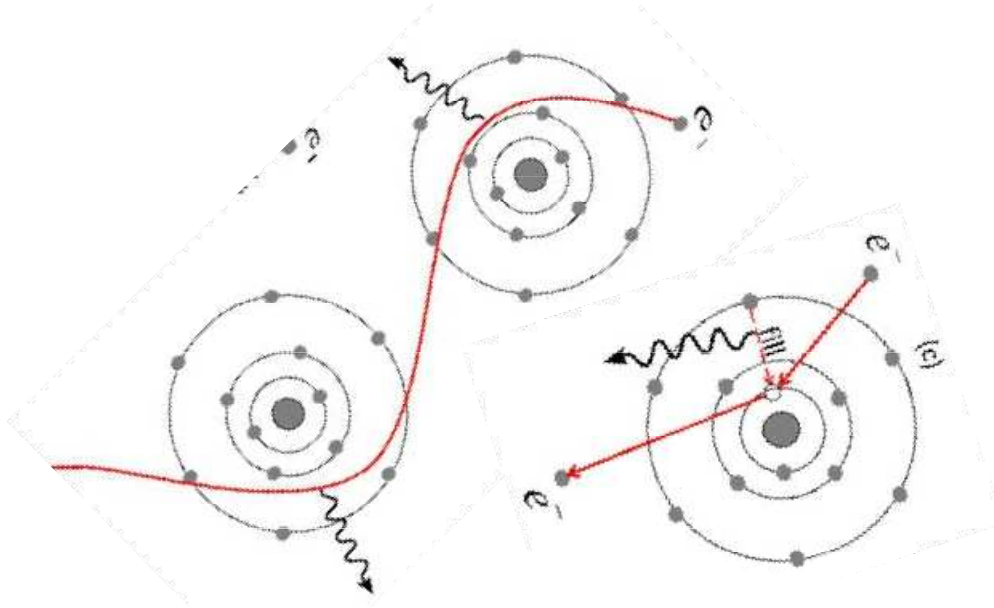


Airport security



Tvrdé záření RTG vs. záření gama

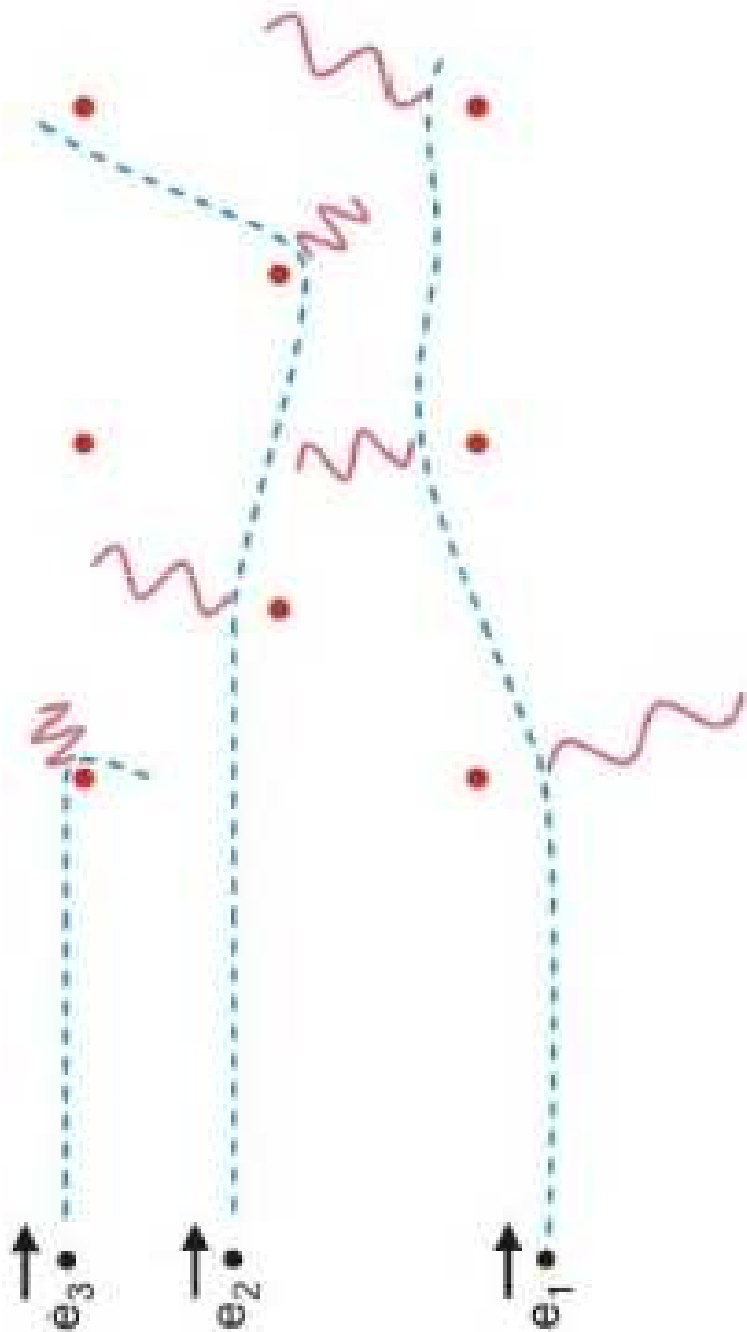
- Vlnové délky nejenergičtější části RTG záření se částečně překrývají s vlnovými délkami [záření gama](#). Rozlišujeme je však podle původu:
- [Foton](#) rentgenového záření vzniká při interakcích vysoce energického [elektronu](#),
- kdežto záření gama při procesech uvnitř jádra [atomu](#).



Typy rentgenového záření

- Z hlediska vzniku existují dva typy rentgenového záření – tzv. brzdné rentgenové záření a charakteristické rentgenové záření.
- **Brzdné rentgenové záření**
- Rychle letící elektrony se po dopadu na terč brzdí a dochází ke změně jejich dráhy. Energie, kterou elektrony při průchodu terčem ztratily, se vyzáří ve formě tzv. brzdného rentgenova záření.
- Toto záření je charakteristické širokým, spojitým energetickým spektrem.
- Čím je větší energie (rychlost) elektronů, tím tvrdší záření vzniká.
- Energie brzdného rentgenova záření nezávisí na materiálu terče (např. anody rentgenovy trubice), ale jen na rychlosti elektronů (tedy na velikosti napětí na anodě rentgenovy trubice)
- Elektrony ale mohou být urychleny i jiným způsobem – v urychlovačích částic např. v tzv. [lineárním urychlovači](#), betatronu, mikrotronu, u nichž se dosahuje výrazně vyšších energií než u rentgenovy trubice. Energie záření se udává zpravidla v [elektronvoltech](#) (eV).
- Brzdné záření se používá v lékařské diagnostice (např. [PET](#), SPECT, [CT](#)), v [radioterapii](#) a v průmyslu v defektoskopii.

BRZDNÉ RTG záření



- Změna směru → akcelerace elektronu → emise el.-mag záření.
- Pokud akcelerace dostatečná → kvantum uvolněného záření energeticky odpovídá RTG záření.
- Pokud elektron prolétne **velmi blízko jádra** (jako např. elektron e3 na obrázku vlevo) může být jeho kinetická energie uvolněna **v jediném kvantu**
- Toto je tedy největší možné kvantum předatelné elektrony za daných podmínek a odpovídá **nejkratší vlnové délce** emitovaného záření RTG

Typy rentgenového záření

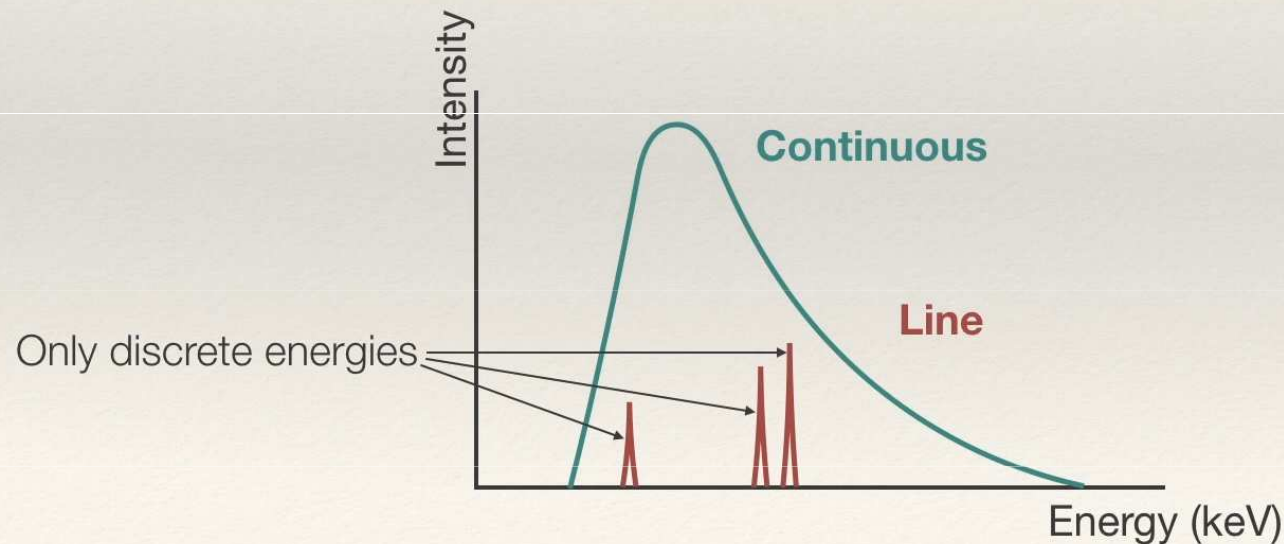
- **Charakteristické rentgenové záření**
- Rychle letící elektron v tomto případě odevzdá svou kinetickou energii elektronu vnitřní slupky atomového obalu materiálu anody, až dojde k jeho excitaci nebo ionizaci. Následný návrat do základního energetického stavu je spojen s vyzářením fotonu charakteristického rentgenového záření.
- jeho energie **nezávisí na anodovém napětí**, ale jen na materiálu anody.
- Takové rentgenové záření je charakteristické pro konkrétní prvek; jeho **energie je tím vyšší, čím vyšší je protonové číslo materiálu anody**.

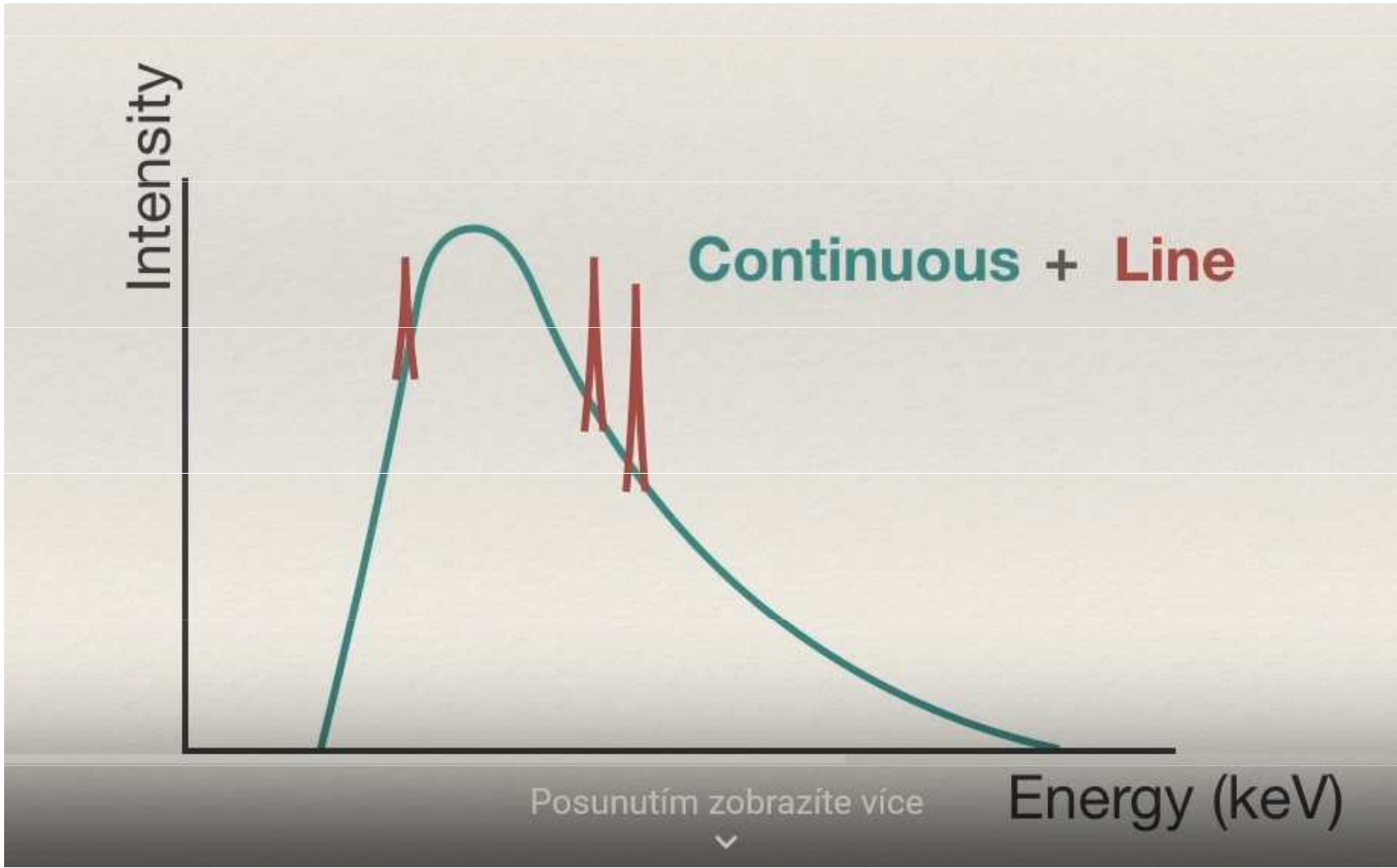
SPEKTRUM RTG záření

- Spektrum – většinou si představíme obrázek viditelného světla rozloženého na jednotlivé barvy, červenou, oranžovou, žlutou, zelenou...
- U RTG záření, které je neviditelné, spektrum představuje graf relativní intenzity záření vynesené proti vlnové délce. (totéž lze samozřejmě udělat i pro viditelné světlo)

Line Spectra v. Continuous Spectra

- ❖ A continuous spectrum contains all photon energies (or frequencies / wavelengths) in a range.
- ❖ A line spectrum is discrete; it contains only certain energies in a range.





Intensity

Continuous + Line

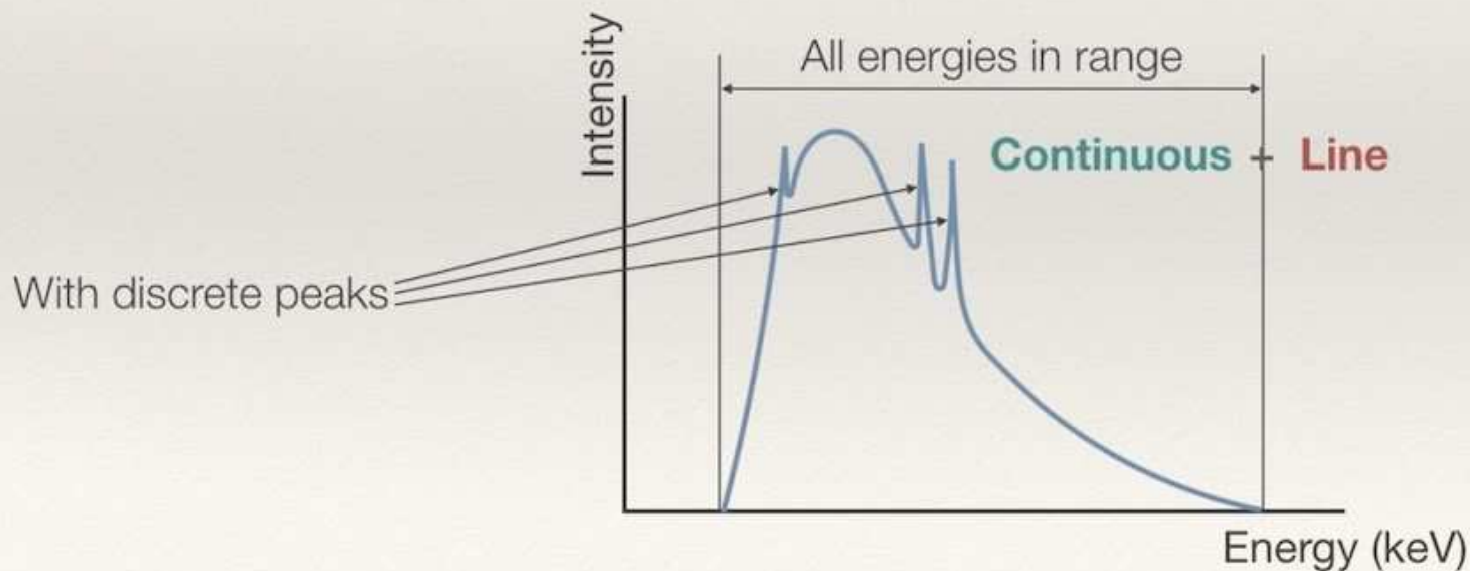
Posunutím zobrazíte více



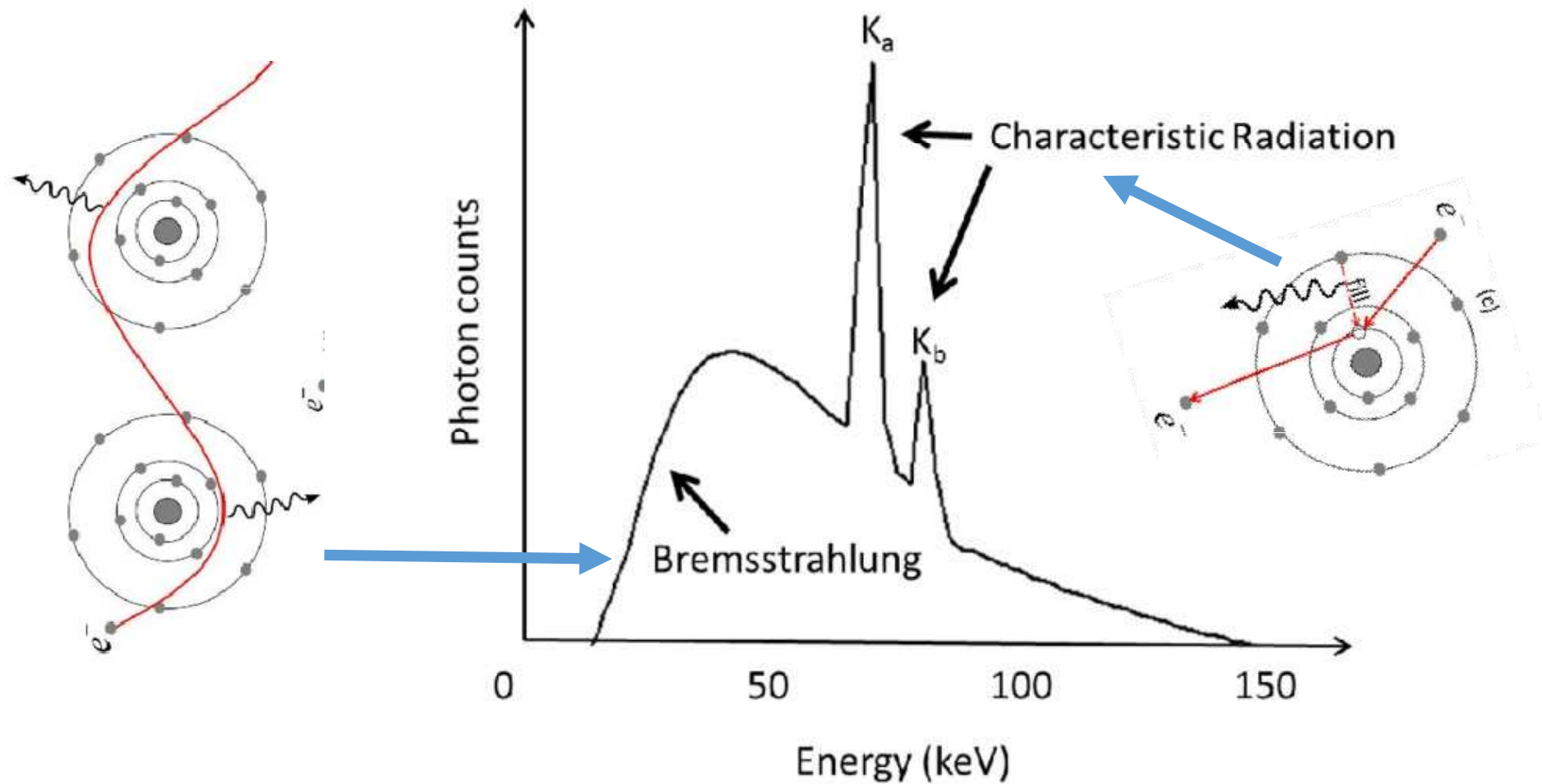
Energy (keV)

SPEKTRUM RTG záření

- ❖ An X-ray spectrum is **continuous** with a line spectrum **superimposed** on it.



SPEKTRUM RTG záření



X-ray spectrum of a tungsten anode (without filtering) at tube acceleration voltages of 150 kVp (peak kilo-voltage).

Brzdné záření - spektrum

- Elektron ztratí veškerou svou energii již při první kolizi, jeho celková energie se přemění na kinetickou energii fotonu $E = hf_{\max}$.
- The λ_{\min} in below figure corresponds to f_{\max} .
- Pro velkou energii elektronů neztratí většina z nich svou energii při první kolizi, ale při různém počtu kolizí \rightarrow různé vlnové délky fotonů \times delší než λ_{\min} a energie menší než E_{\max} .
- Spektrum je proto kontinuální

- **Minimální vlnová délka (maximální energie) RTG spektra** záleží na voltáži urychlovacího napětí:

- Pokud máme **urychlovací napětí V**, potom energie E předaná okolí elektronem na anodě je dána vztahem: **maximal energy at a keV = tube kV**

$$E = eV \quad \text{i.e. napětí 100 kV = 1 keV}$$

max E fotonu X

- Kde **e** je **náboj elektronu**
- Pro výpočet minimální vlnové délky, **λ_{\min}** , pak platí Plankova rovnice pro energii kvanta záření:

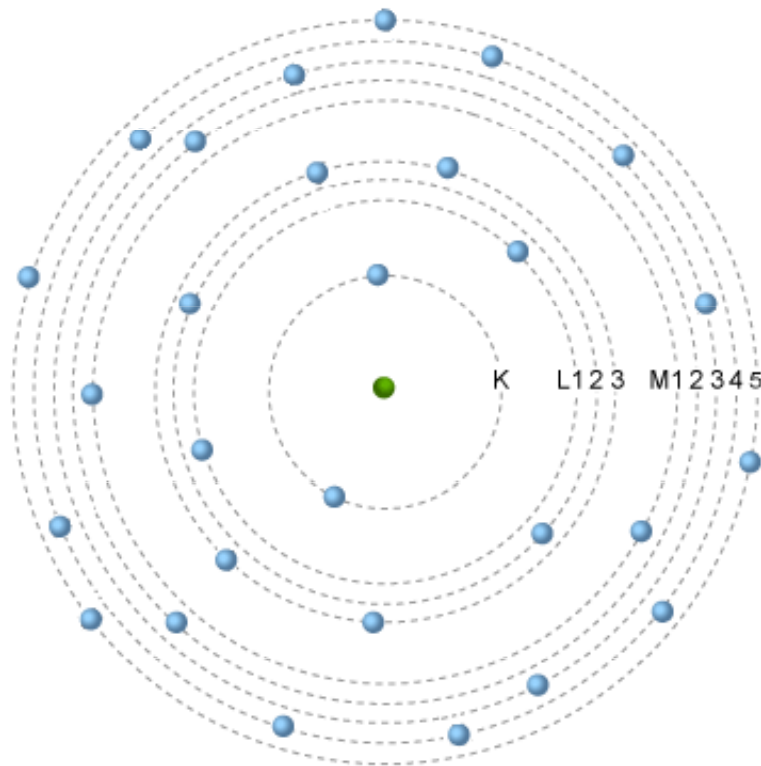
- ...a tedy:
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV}$$

average energy = about 1/3 of the maximum energy.

CHARAKTERISTICKÉ RTG záření

- Elektrony v elektronovém obalu mají určité energie a pohybují se tak na určitých energetických hladinách neboli **elektronových slupkách**.
- Nejbližší k jádru je **slupka (hladina) K**, směrem od jádra pak následovaná **slupkami L, M, N, O, P a Q**.
- Vyjma slupky K mají všechny další slupky své **podslupky** → elektrony v těchto podslupkách se nepatrně liší svými energiemi.



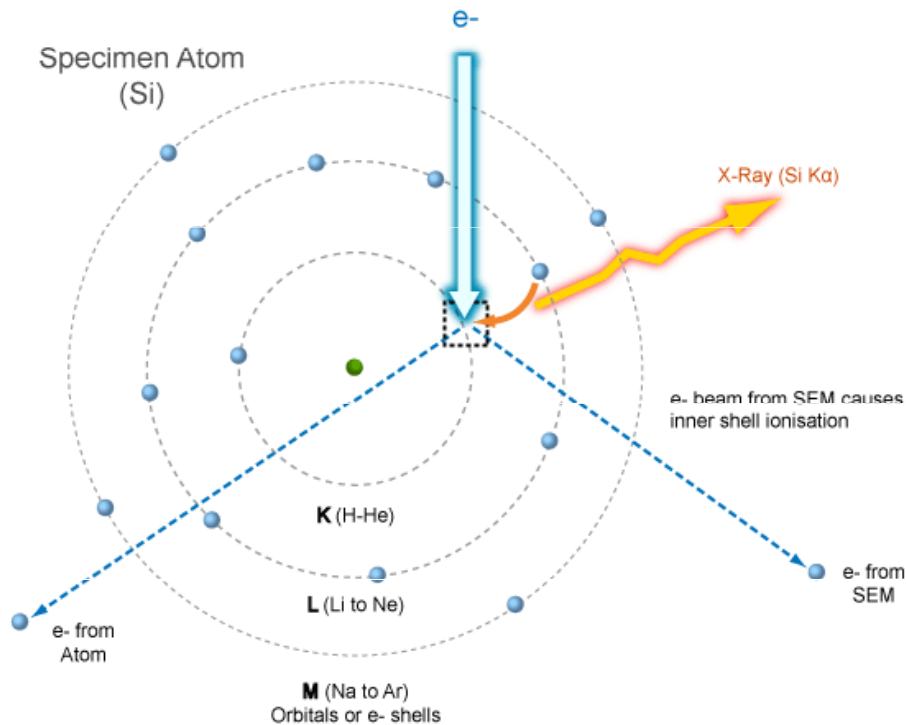
Schematický náčrt atomu znázorňující jádro obklopené elektronovými slupkami K, L a M.

Slupka K může mít maximálně 2 elektrony **Slupka L** má 3 podslupky a maximálně 8 e- **Slupka M** má 5 podslupky a maximálně 18 e- atd.

CHARAKTERISTICKÉ RTG záření

- Slupka **K** má v elektronovém obalu **nejvyšší ionizační energii** (neboli kritickou ionizační energii)
- To znamená, že k odebrání elektronu z této slupky potřebujeme nejvíce energie
- **Čím dále jsou pak další slupky od jádra vzdáleny, tím je ionizační energie nižší.**
- Elektrony na jednotlivých slupkách a podslupkách mají tedy své specifické ionizační energie,
- ... a ty se **liší pro různé prvky,**
- Např. pro křemík (Si) je ionizační energie na slupce K 1.84 keV, zatímco pro platinu (Pt) tato hodnota činí 78.4 keV.

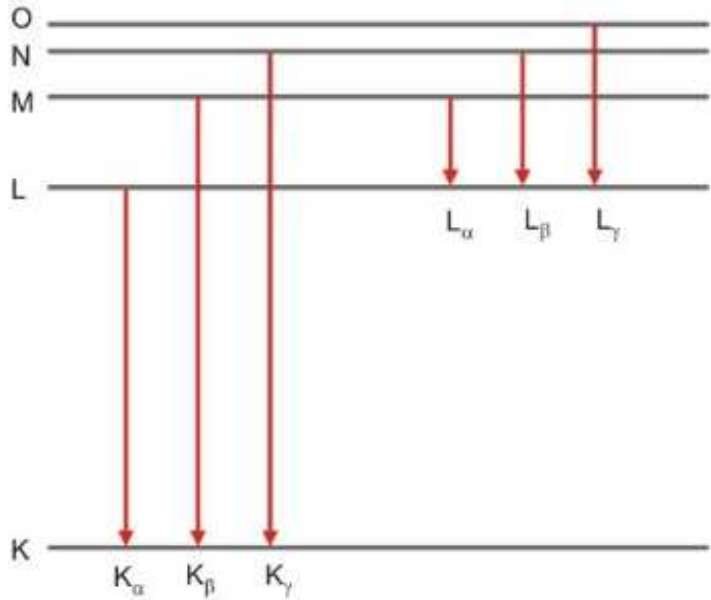
Characteristic X-Ray Production



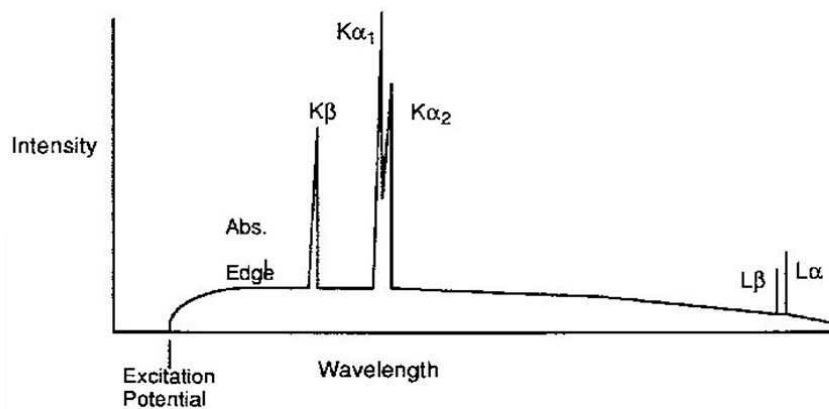
- The production of Characteristic X-rays is a **two-stage process**:
- **ionization** followed by **relaxation**
- Firstly, an **electron is removed** from one of the inner shells of the atom by an electron from the primary beam so that the atom is ionized and in an unstable state.
- Secondly, the atom regains stability when an electron from an outer shell **fills the inner shell vacancy** and an **X-ray photon is emitted**.
- The energy of the emitted X-ray is equal to the difference between the ionization energies of the electrons involved in the transition.

An electron from the primary beam dislodges an electron from the K shell of a Si atom in the sample. An electron from the L shell fills the vacancy and a Si K α X-ray is generated. The energy of the X-ray is equal to the ionization energy of the K shell minus the ionization energy of the L shell.

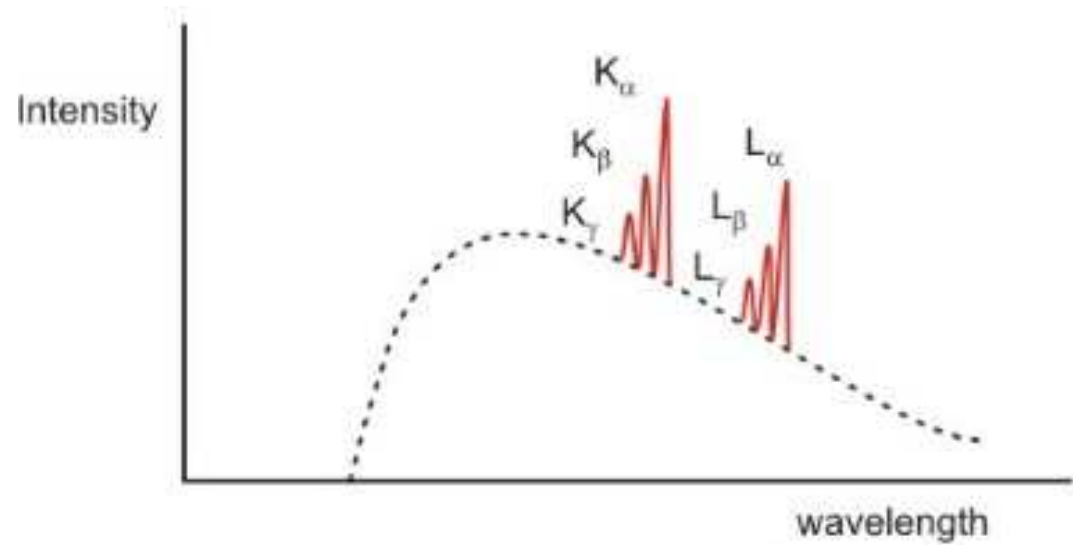
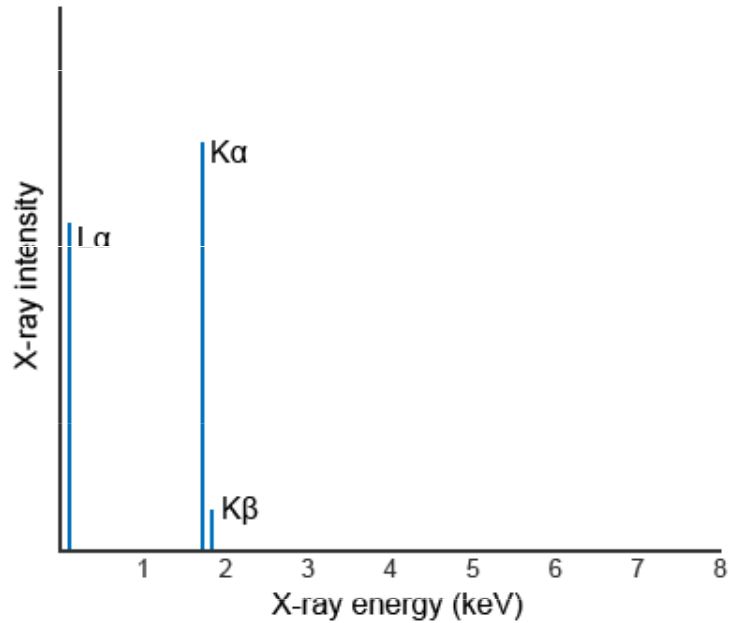
Characteristic RTG, Spectrum

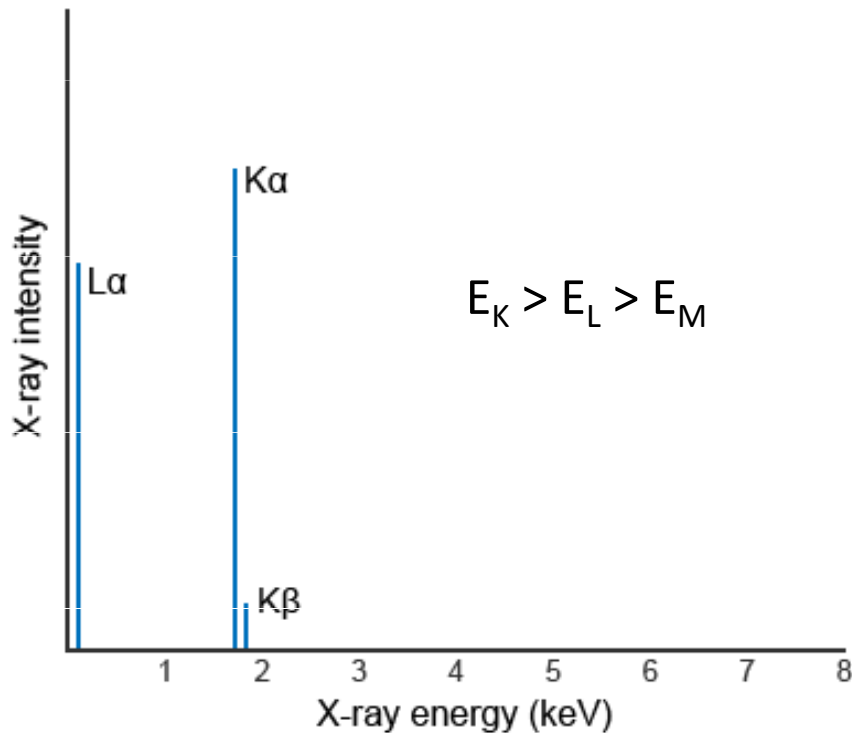


- When an electron falls to the lower energy level a quantum of radiation is emitted.
- The energy possessed by this quantum (and therefore its wavelength) depends on the energy difference between the two levels in the atom.
- This depends on what type of metal it is.
- **Moseley's law:**
- There is a **relationship between the energy of the Characteristic X-ray lines** for each element and its **atomic number**:
- the **energy is proportional to the square of the atomic number, Z.**
- This means that as the atomic number increases, the K_{α} X-ray line, for example, will plot at a higher energy in the spectrum. (This relationship, known as Moseley's Law, was discovered by Henry Moseley in 1913)
- **The lines** in the spectrum (the peaks of intensity) are **named after the energy level to which an electron falls**



Characteristic RTG, Spectrum

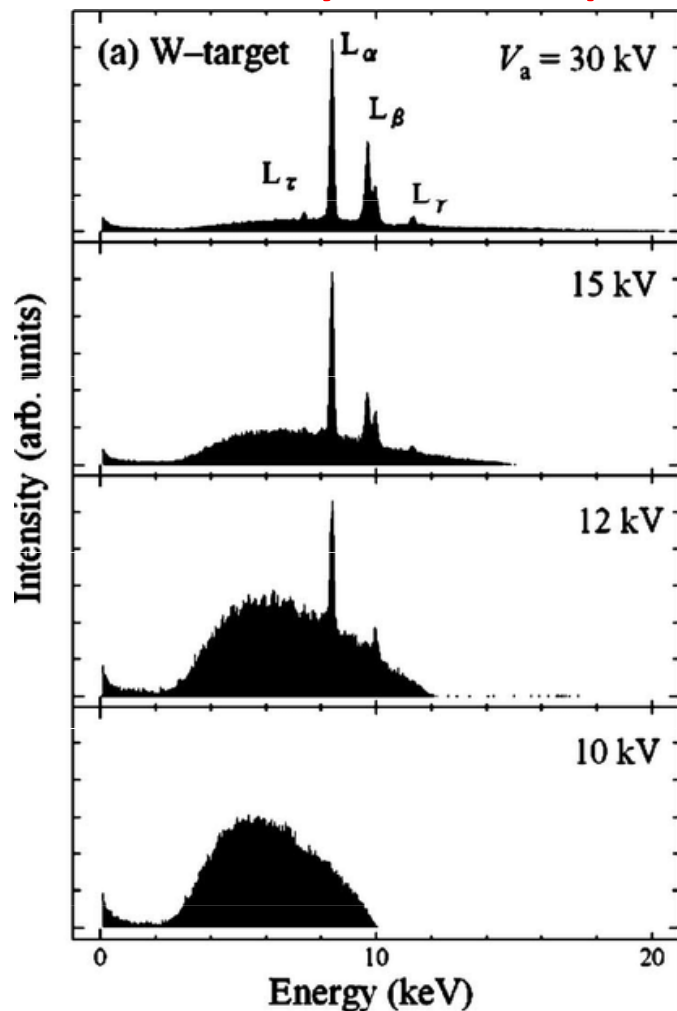




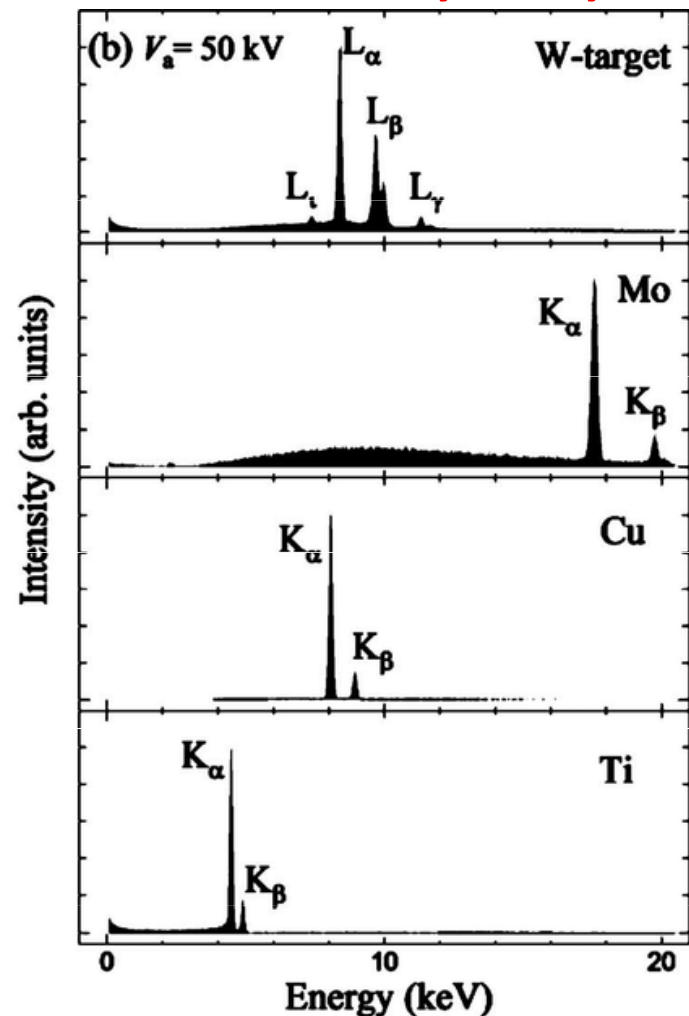
The ideal Characteristic X-ray spectrum for Si. The Characteristic X-ray lines, $K\alpha$, $K\beta$ and $L\alpha$, have discrete energies.

- As each element has specific ionization energies for each subshell, so the **difference between the energies is characteristic of the element** involved in producing the X-ray photon.
- For Si, the ionization energy of the K shell is 1.84 keV, the ionization energy of the L shell is ~ 0.10 keV and the ionization energy of the M shell is ~ 0.01 keV.
- The Characteristic X-ray spectrum for Si shows three spectral lines.
- The line at low energy (~ 0.09 keV) results from ionization of the L shell with an electron from the M shell filling the vacancy: $E = 0.10 - 0.01$ keV. (This line would be at or below the limit of detection for most EDS detectors.)
- The line at ~ 1.74 keV results from ionization of the K shell with an electron from the L shell filling the vacancy ($E = 1.84 - 0.10$ keV),
- whereas the smaller peak at higher energy (~ 1.83 keV) results from ionization of the K shell and an electron from the M shell filling the vacancy ($E = 1.84 - 0.01$ keV).

Různá urychlovací napětí



Různé materiály anody

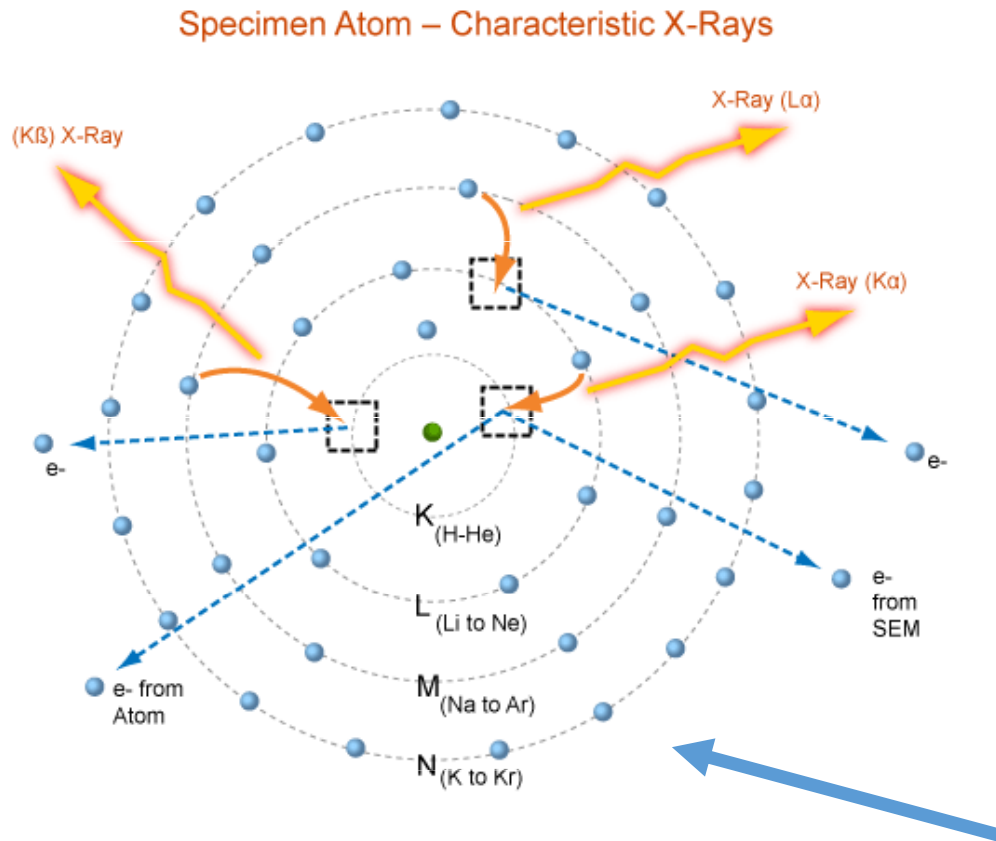


Energy spectra of the x-rays radiated from the metal targets.

a Acceleration voltage V_a dependence of the x-ray spectra measured for W-target.

b Target dependence of the x-ray spectra measured for the Ti, Cu, Mo, and W at $V_a = 50$ kV. (Kita S. et al. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS **103**, 064505 2008)

Naming convention for Characteristic X-ray lines is the Siegbahn notation.



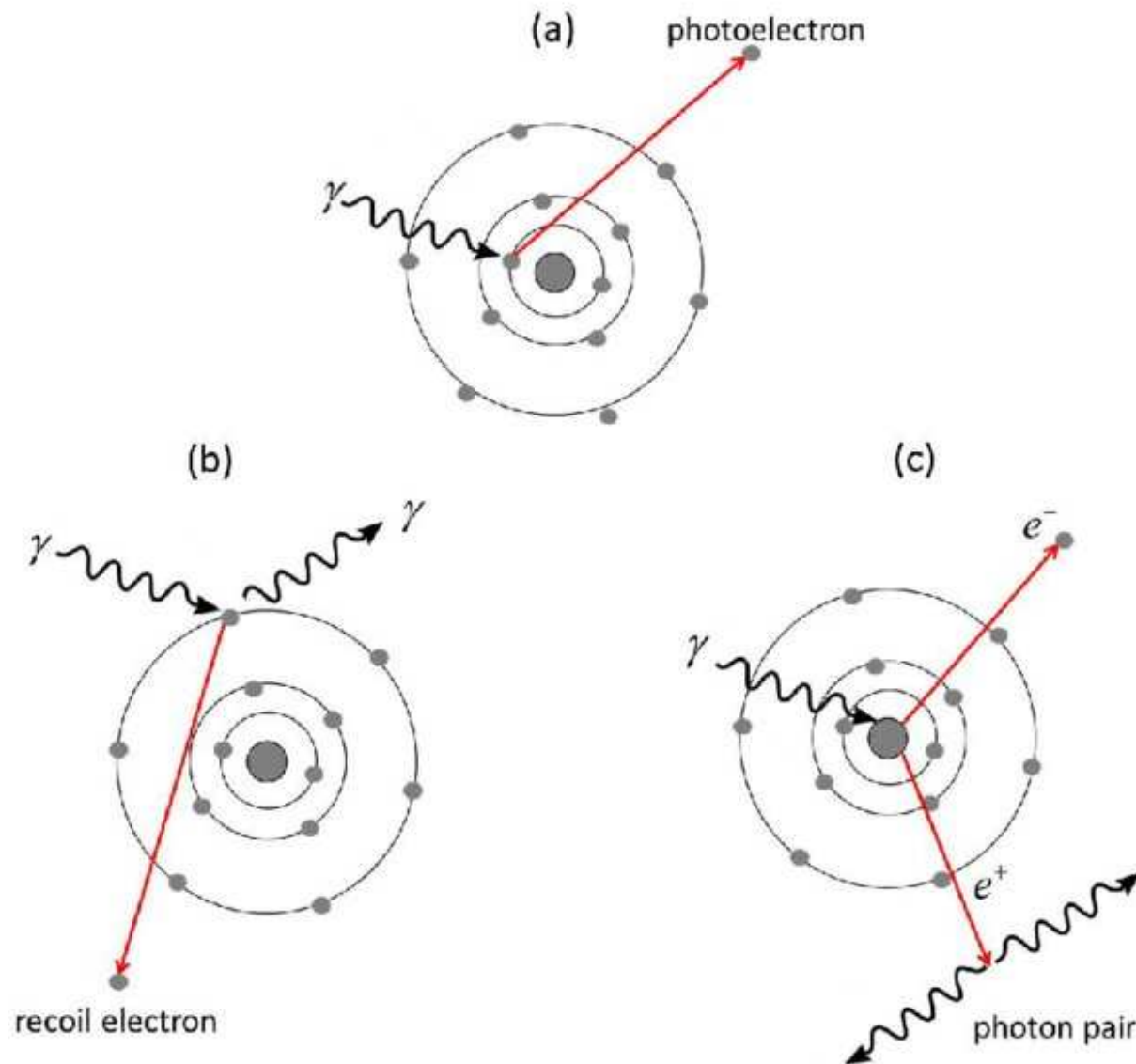
$$E_K > E_L > E_M$$

- The first component of the name is the **element** involved, e.g. Si.
- The second component is the **electron shell that was ionized** to produce the X-ray, e.g. K, L or M.
- The third component reflects the relative intensity of the line within each shell, e.g. α is the most intense line, followed by β and γ .
- The lines within each shell make up a **family, or series, of lines** for that shell, e.g., the K family comprises the K α and K β X-ray lines.
- In the Si spectrum, the lowest energy X-ray line is the **Si L α** line; the line at 1.74 keV is the **Si K α** line and the line at ~1.83 keV is the **Si K β** line.

INTERAKCE RTG záření s hmotou

- RTG záření integruje s atomy tkáně dvěma procesy: **fotoefekt** a **Comptonův rozptyl** (tvorba *elektron-pozitronových párů* zde nenastává vzhledem k nízké energii fotonů).
- Oba tyto procesy se podílejí na rozdílné absorpci záření v jednotlivých tkáních v závislosti na tloušťce, hustotě látky a protonovém čísle atomů.
- Právě na této rozdílné absorpci RTG záření v různých tkáních jakož i jejich fyziologických či patologických stavech je založena RTG diagnostika.

INTERAKCE RTG záření s hmotou



Possible X-ray photon interaction processes with the matter: (a) photoelectric absorption; (b) Compton scattering; (c) pair production.



První použití RTG v medicíně



Publikováno v časopisu Lancet 23. 1. 1896: úlomek nože v páteři opilého námořníka, který byl paralyzován do doby, než byl tento úlomek díky paprskům X lokalizován a vyjmut

První (radio)terapeutické využití



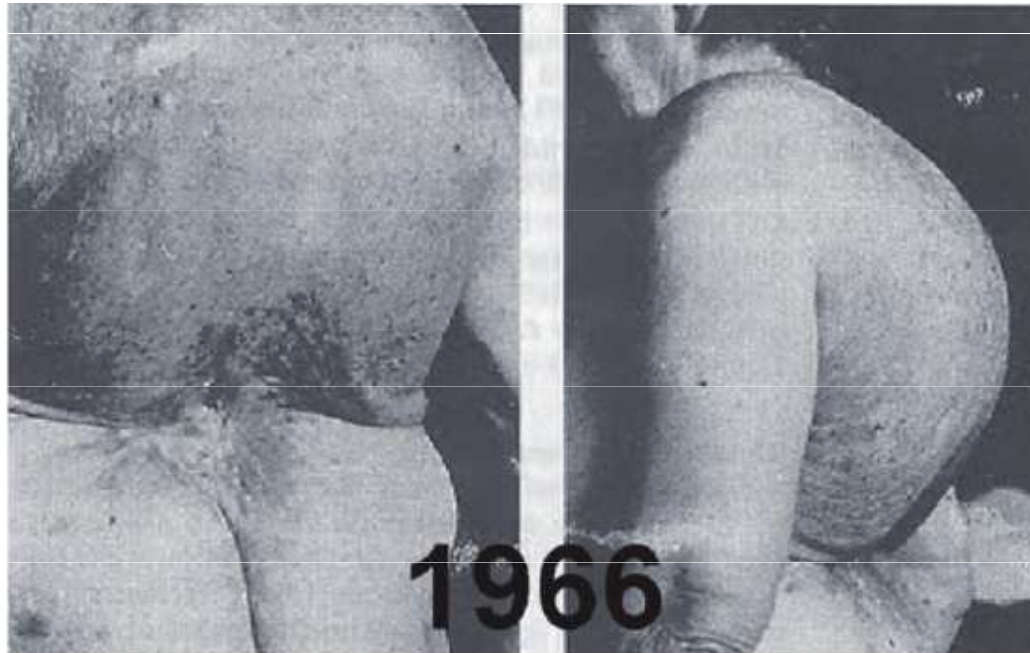
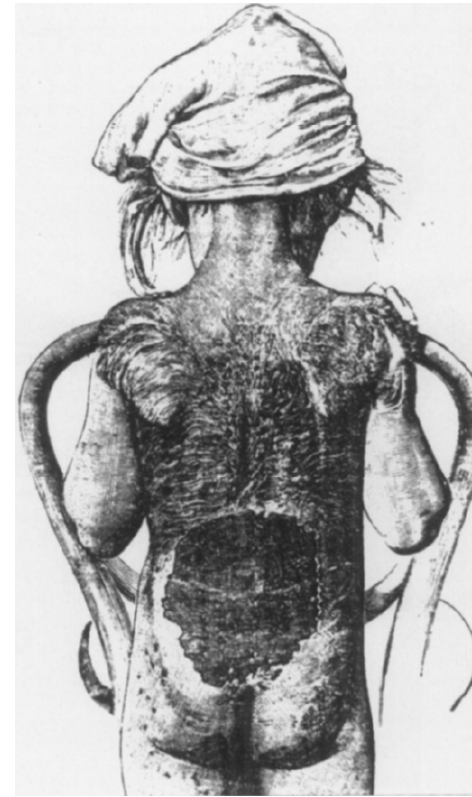
Dr. Leopold Freund

The first practitioner to use x-ray therapy is likely Dr. Leopold Freund of Vienna, where his first patient was a five year old girl with a hairy beauty mark on her back. In December 1896 she underwent an
5 letá dívka,
36x37 cm mateřské znaménko (hairy nevus)
x-ray treatment 2 hours per day for 16 days,
where after 12 days the hair began to fall out, but her back became horribly inflamed. After this incident, Freund limited subsequent exposures to 10 minutes.

Různé školy preferovaly **frakcionované** ozařování nebo naopak maximální možnou snesitelnou jednorázovou expozici

Dr. Leopold Freund

1896

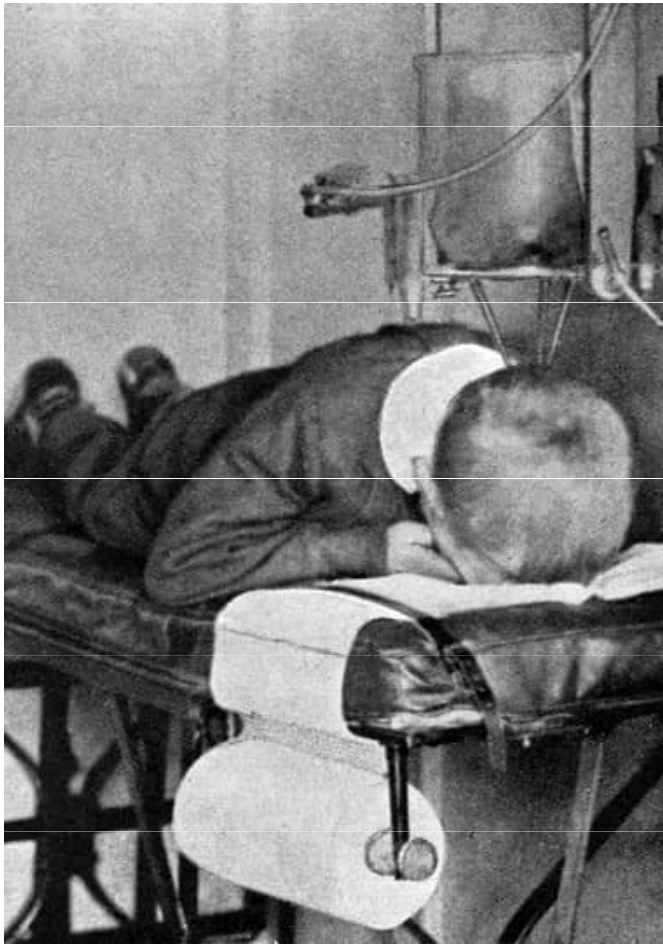


1966

Fig. 6. Printed photograph of the same patient as in Fig. 3, taken about 1 week after completion of irradiation of the lower half of the hairy nevus (third experimental treatment set-up, see text) [7]. There is a huge area of moist desquamation in the center of this lower treatment field.

Fig. 2.6 Freund's patient in 1896 and 1966 [42]. (Courtesy of R. F. Mould, UK)

První terapeutické aplikace paprsků X



Též doporučoval paprsky X pro permanentní depilaci - 1000ce žen trpěly následky

A young child receiving X-ray treatment for ringworm to induce hair loss (Sequeira, 1911). Epilation of the infected hair was once considered an important part of any treatment for many fungal skin infections and X-rays were used to cause the hair to fall out.

- med. tinea, dermatofytóza, [\(kroužkový\) lišej](#)
plísňové kožní onemocnění

Možnosti DETEKCE RTG

- V případě **skiografie** je vzniklý obraz zaznamenáván na filmový materiál.
- O **skiaskopii (fluoroskopii)** mluvíme tehdy, jestliže je obraz pozorován pouze na stínítku bez trvalého uchování obrazu.
- **Skiaskopie umožňuje sledovat pohyby orgánů** nebo použitých kontrastních látek v těchto orgánech, případně jejich funkci.
- V současné době u **moderních digitálních přístrojů se rozdíl mezi skiagrafií a skiaskopií do značné míry stírá**, v počítačovém systému lze volit, zda záznam digitálního obrazu bude statický či dynamický.

Skiaskopie (fluoroskopie)

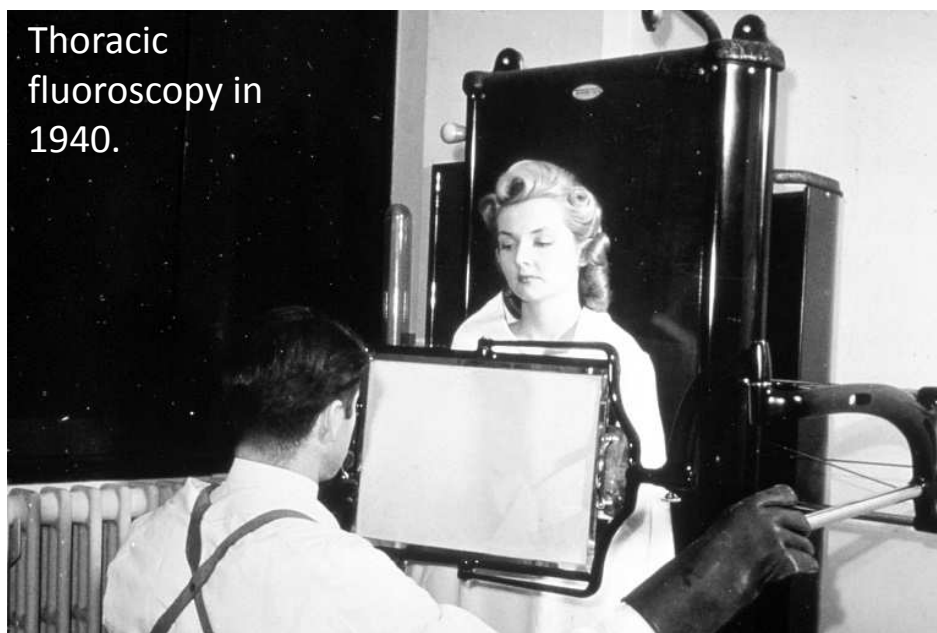
- Jako skiaskopie či fluoroskopie se označuje přímé vizuální pozorování obrazu prošlého RTG záření, původně přímo na fluorescenčním stínítku („štítu“). Přímá skiaskopie patřící dříve k běžnému vyšetření je vzhledem **k vysoké radiační zátěži vyšetřujícího rentgenologa (též pacienta)** využívána v současné době velmi sporadicky.
- Nepřímou skiaskopii umožňuje zesilovač obrazu s elektronickým snímáním obrazu, nověji přímým elektronickým, digitálním snímáním obrazu. Tato nepřímá skiaskopie je výhodná k vyšetřování dynamických dějů (koronární arteriografie, transhepatální cholangiografie...), dále při intervenčních výkonech, kde je nutná vizuální kontrola a navigace při zavádění různých sond a katétrů, implantaci kardiostimulátorů, koronární angioplastice, zavádění stentů...



Surgical operation during [World War I](#) using a fluoroscope to find embedded bullets



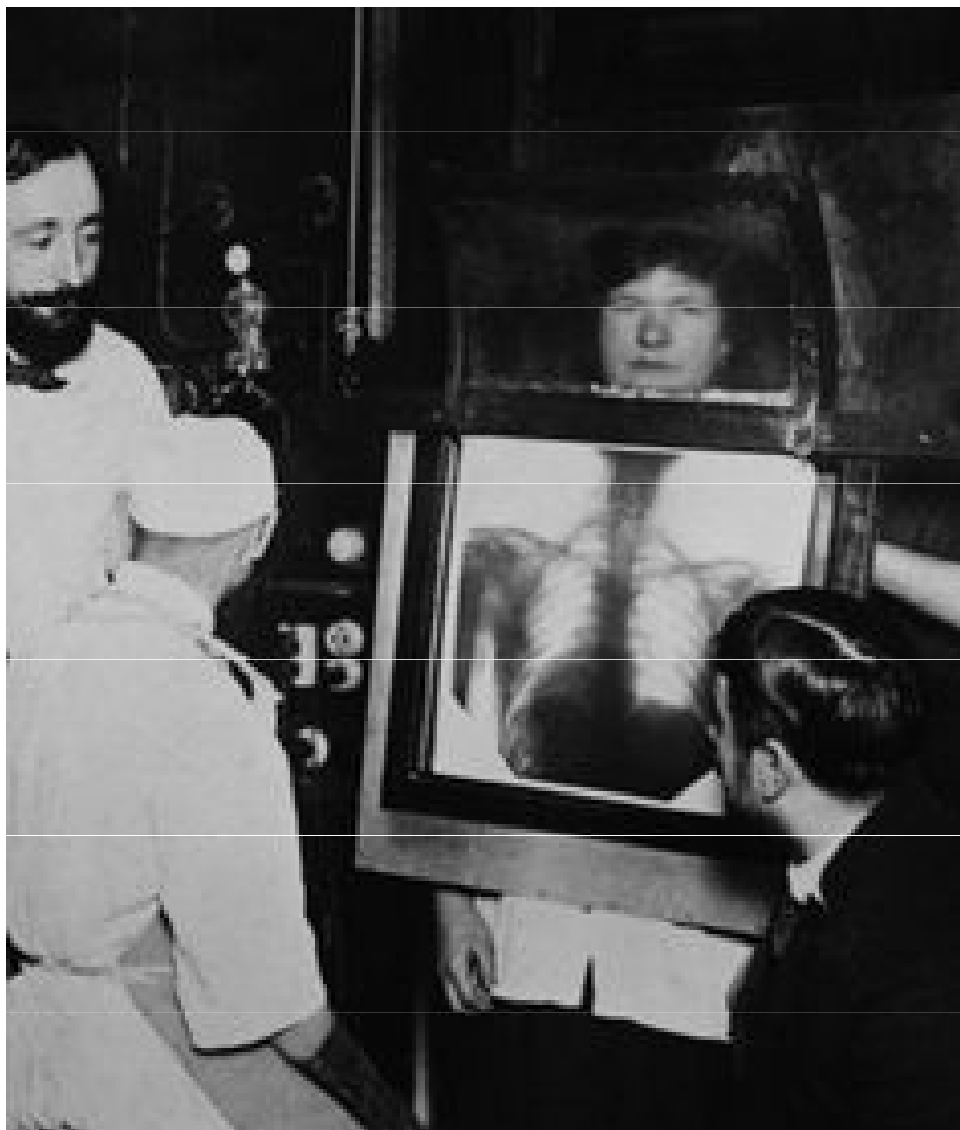
Rentgenování hlavy mladé ženy pomocí nového aparátu v Londýně roku 1934. Příklad se stával dostupnějším, přenosnějším a mohl být tudíž používán prakticky kdekoli



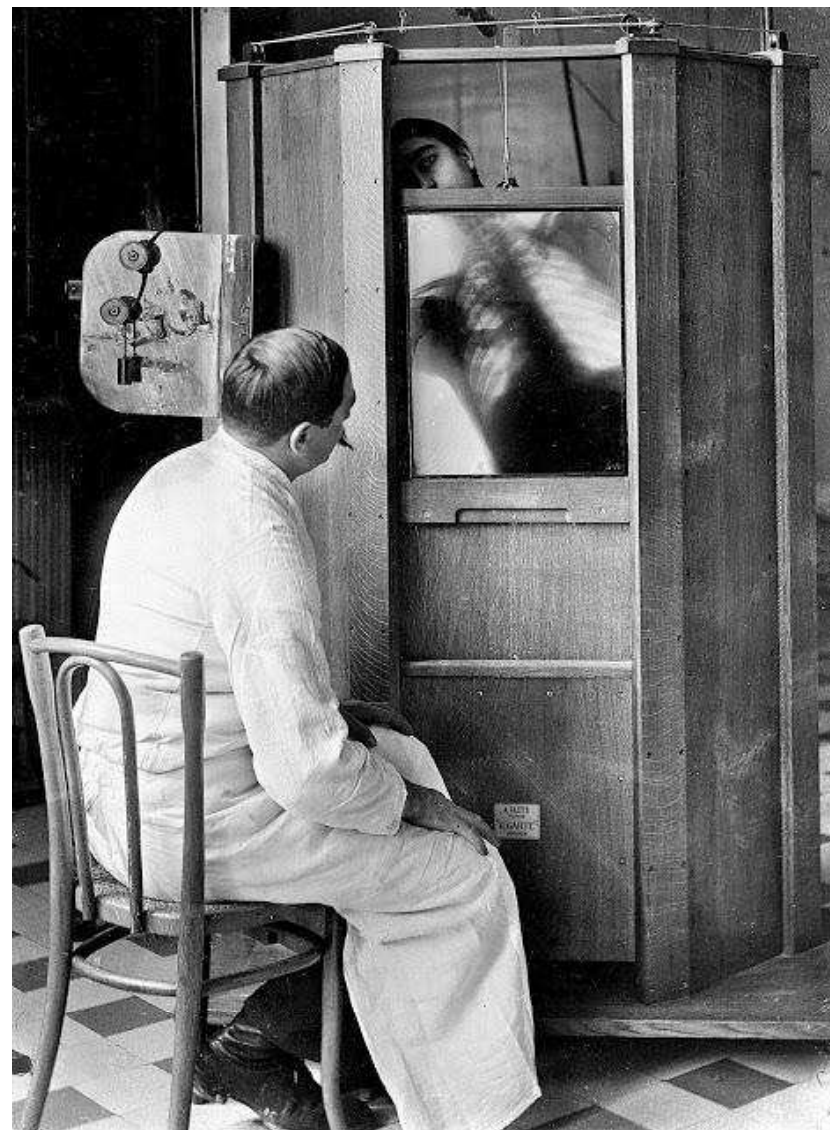
Thoracic fluoroscopy in 1940.



Pacient při rentgenování hrudi u profesora Menarda v nemocnici Cochin v Paříži roku 1914.



1896: The first x ray to be used clinically was by two british scientist. The military also used it to located bullets in wounded soldiers.



Pacient při rentgenování hrudi u profesora Menarda v nemocnici Cochin v Paříži roku 1914.

- In November 27, 1897, **fluoroscopy was used to help deliver a newborn child**. In June 1896, the famed Thomas Edison developed a Calcium Tungstate flouoscope which allowed for bright, real-time observation of a patient's body. Edison clearly instructs that the success of this method depends on the power of the Crookes tube used, that is to say, the voltage used across the tube. Thus, nearly 90% of these x-rays make it to the face of the unfortunate doctor performing the procedure.

Table 2.5 X-ray therapy first reports: 1897–1899 [26, 37–49]

Date	Diagnosis	First reports
1897	Hypertrichosis and hairy nevus	L. Freund (Vienna)
1897	Tinea fungus infection = ringworm = favus	L. Freund (Vienna)
1897	Lupus vulgaris = cutaneous tuberculosis	E. Schiff; L. Freund (Vienna)
1897	Acne vulgaris infection	Gautier (Paris)
1897	Sycosis barbae = infection of hair follicles	Schiff, Freund (Vienna)
1897/1898	Breast cancer	H. Gocht (Germany)
1898	Lupus vulgaris	H. Kummel (Hamburg)
1898	Lupus erythematosus (LE)	E. Schiff (Vienna)
1898	Nevus vascularis	J. Jutassy (Hungary)
1898	Eczema	R. Hahn (Hamburg)
1898	Systemic tuberculosis	Bergonie and Teissier (France)
1899	Epithelioma (skin cancer)	Sjogren and Stenbeck (Sweden)

KAMERA → SEPAROVANÁ KONTROLNÍ MÍSTNOST

The addition of the [camera](#) enabled viewing of the image on a monitor, allowing a radiologist to view the images in a separate room away from the risk of [radiation exposure](#). The commercialization of [video tape recorders](#) beginning in 1956 allowed the TV images to be recorded and played back at will.



1950s fluoroscope



...a detektory dnes



Fluoroscopy room with control space.

Common procedures using fluoroscopy

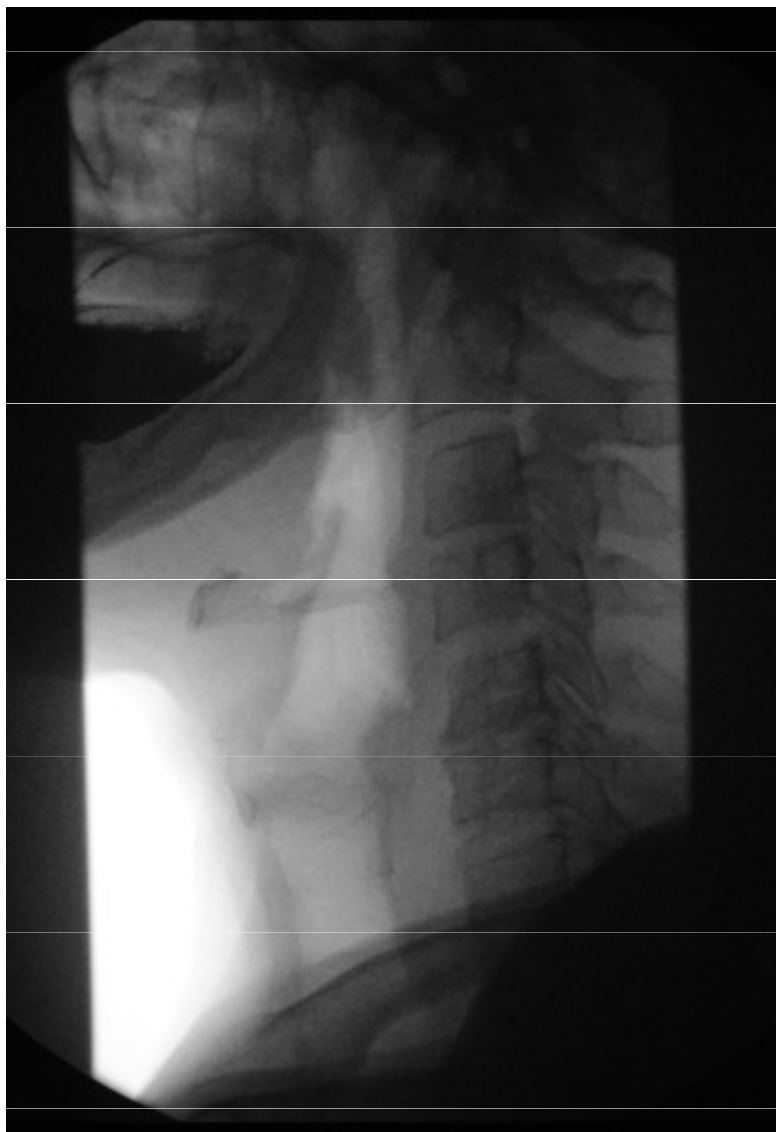
- Investigations of the **gastrointestinal tract**, including [barium enemas](#), [defecating proctograms](#), [barium meals](#) and [barium swallows](#), and [enteroclysis](#).
 - [Liver biopsy](#) is performed under fluoroscopic guidance at many centers.
 - **Orthopaedic surgery** to guide fracture reduction and the placement of metalwork.
 - [Podiatric Surgery](#) to guide fracture reduction and in use in certain procedures that have extensive hardware.
 - **Angiography** of the leg, heart and cerebral vessels.
 - Placement of a PICC ([peripherally inserted central catheter](#))
 - Placement of a weighted feeding tube (e.g. Dobhoff) into the duodenum after previous attempts without fluoroscopy have failed.
 - [Urological surgery](#) – particularly in retrograde [pyelography](#).
 - **Cardiology** for diagnostic angiography, percutaneous coronary interventions, ([pacemakers](#), [implantable cardioverter defibrillators](#) and [cardiac resynchronization devices](#))
 - [Discography](#), an invasive diagnostic procedure for evaluation for [intervertebral disc](#) pathology.
 - Lumbar puncture, the fluoroscopy helps to guide where the needles of the spinal tap can go. Fluoroscopy may reduce the number of attempts required for a successful **lumbar puncture**.
- Another common procedure is the **modified barium swallow study** during which [barium](#)-impregnated liquids and solids are ingested by the patient. A radiologist records and, with a speech pathologist, interprets the resulting images to diagnose oral and pharyngeal swallowing dysfunction. Modified barium swallow studies are also used in studying normal swallow function.

ZOBRAZOVÁNÍ V PRŮBĚHU OPERACE (dnes pulzní rentgeny)

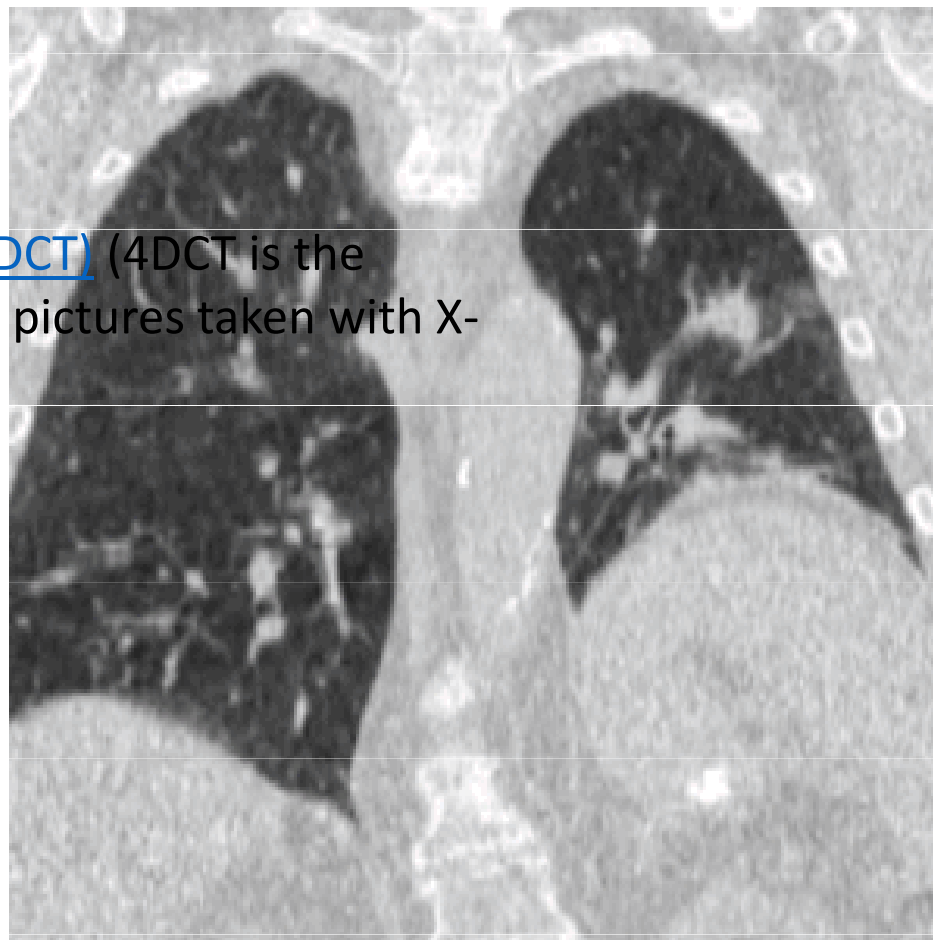
A fluoroscopy X-ray
machine is a great asset
during surgery for implants



Funkční vyšetření

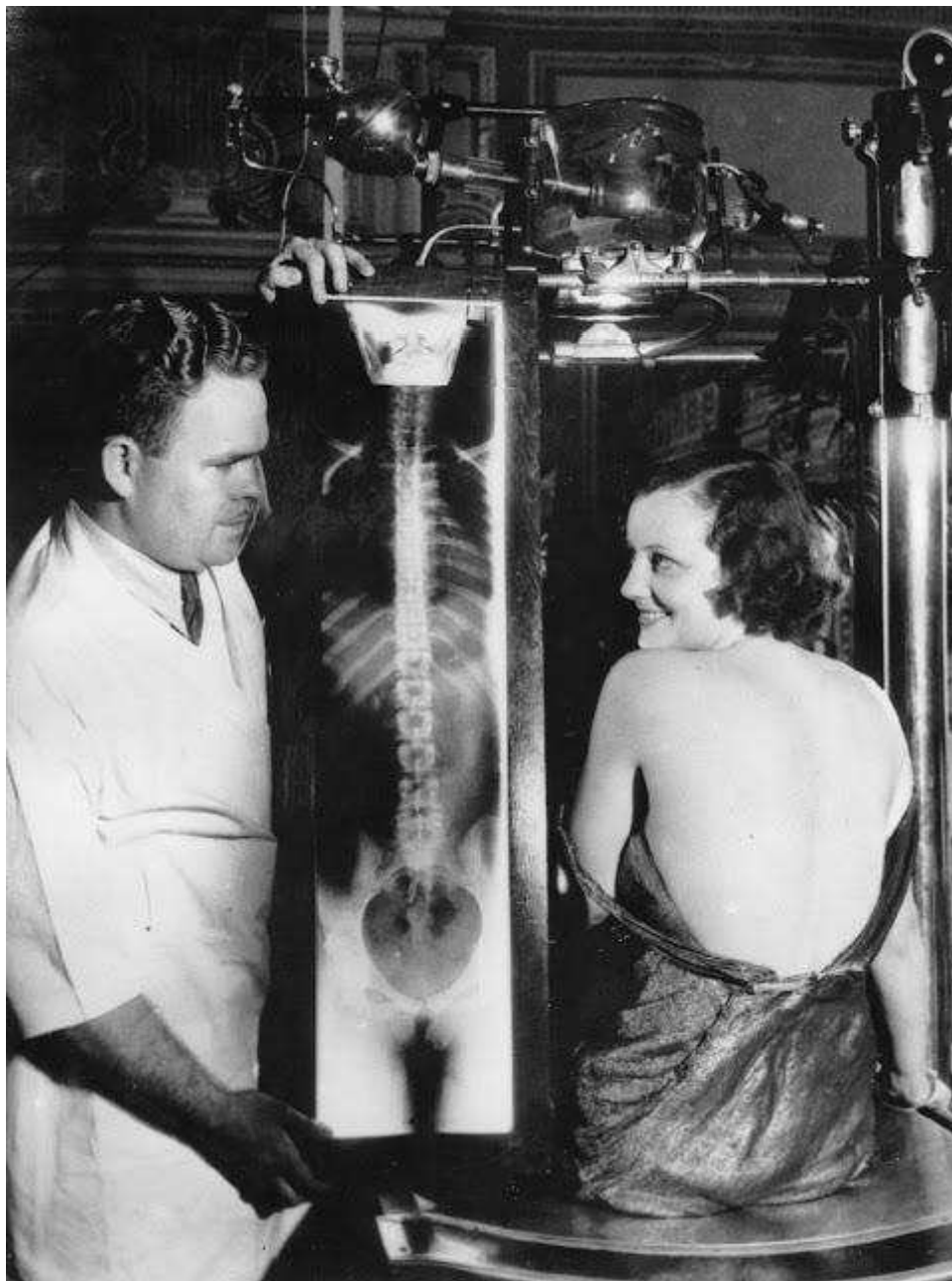


[four-dimensional CT \(4DCT\)](#) (4DCT is the newest form of moving pictures taken with X-rays).^[37]



Skiografie

- Při prostém RTG snímkování, zvaném skiografie, dopadá RTG záření prošlé vyšetřovanou tkání na fotografický film obsahující halogenidy stříbra (**bromid stříbrný**), v němž fotochemickou reakcí dochází k uvolňování stříbra z jeho vazby ve sloučenině
- – vzniká latentní obraz, který je při vyvolání ve vývojce zviditelněn pomocí hustoty zrníček koloidního stříbra, zbylý bromid stříbra se rozpustí v ustalovači.
- Hustota zčernání filmu je úměrná množství prošlého RTG záření. Vzniklý RTG fotografický obraz představuje negativní zobrazení hustoty tkáně: místa s nízkou hustotou (měkké tkáně) mají nižší absorpci, a proto vysoké zčernání, místa s vysokou denzitou (např. kosti) více absorbují RTG záření a jsou proto na filmu zobrazena světlé.



Filmová hvězda Judith Allen s radiovým snímkem svých zad kolem roku 1930.



Muž se ženou demonstrují, jak funguje rentgenové zařízení. To představovalo zázrak moderního lékařství a léčení (1928)

Od 30. let se již rentgenologové začínali chránit od škodlivého záření nošením obleků.



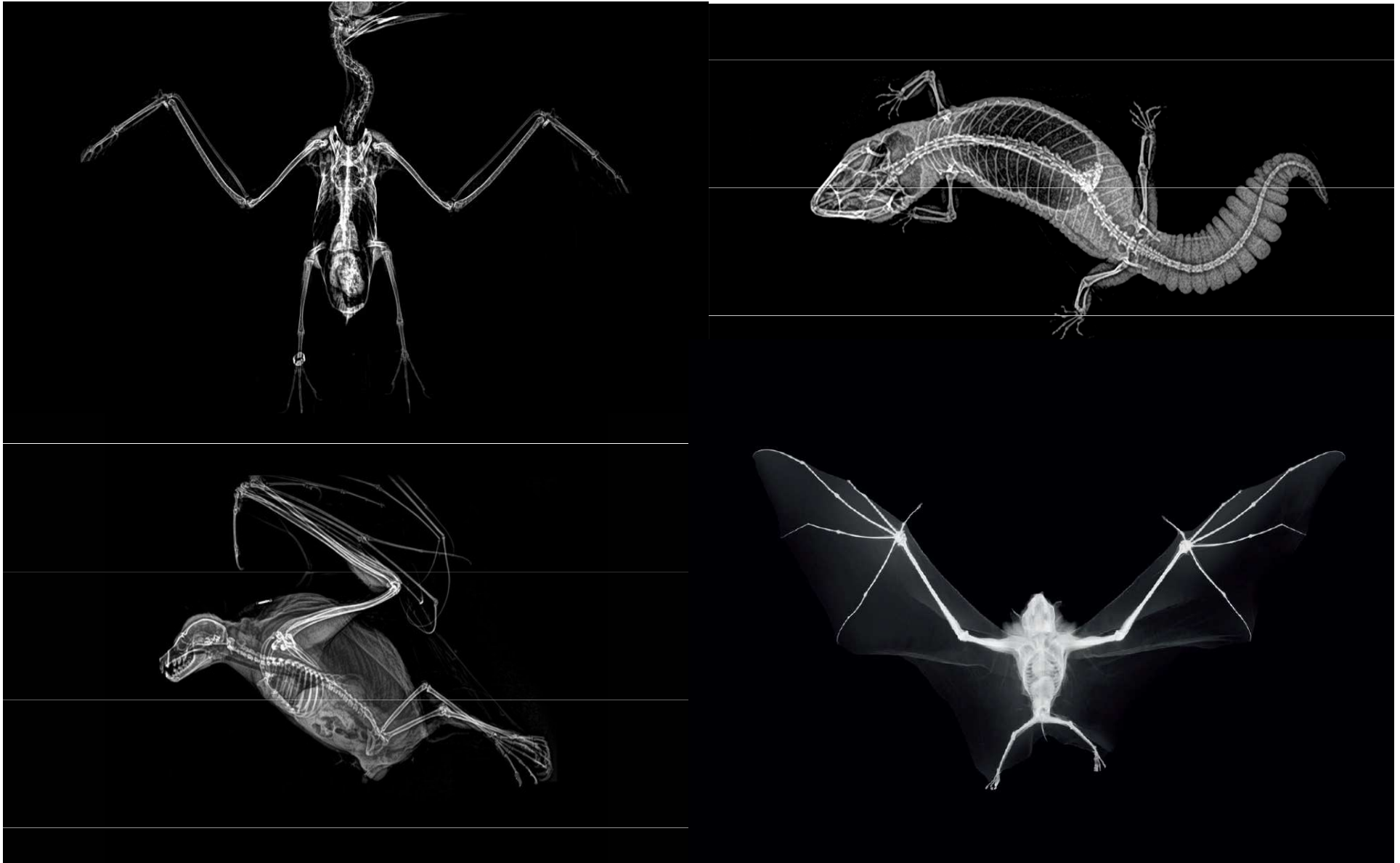
Westminster, 1934, Imagno - Getty Images

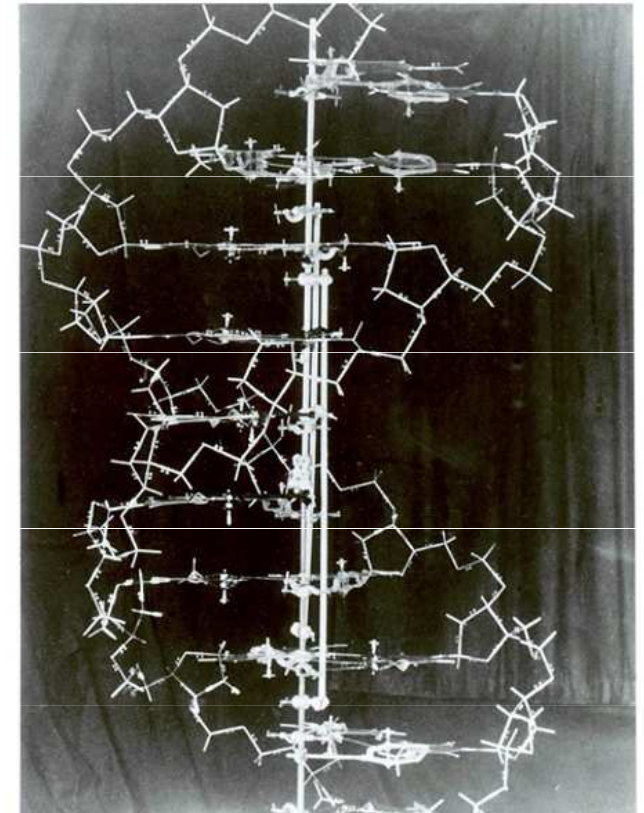
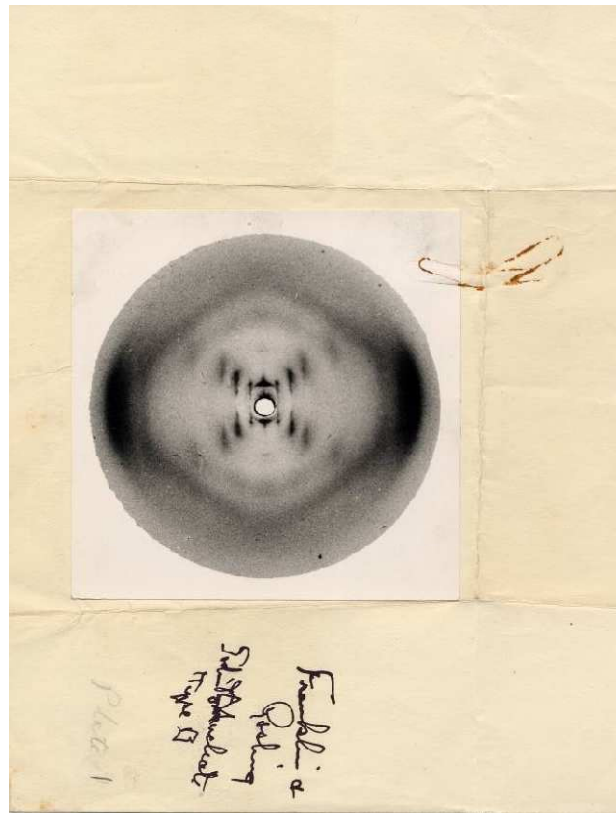


Jeden z výstřelků pocházející z Rentgenového Institutu v německém Frankfurtu z roku 1929. Zvláštní vynález měl umožnit rentgenologovi se dívat skrz přístroj na pacienta a mělo se tak zabránit nadměrnému ozařování lékaře.

MIMOMEDICÍNSKÁ APLIKACE

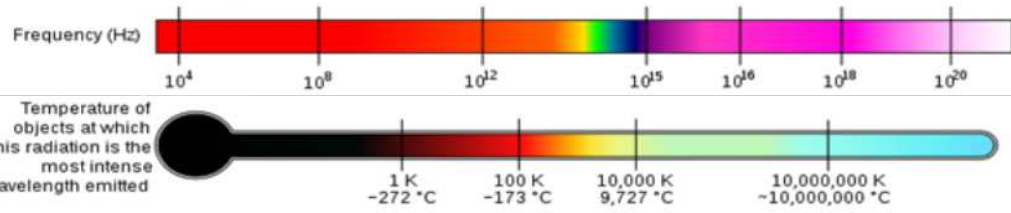
X-rays in biology



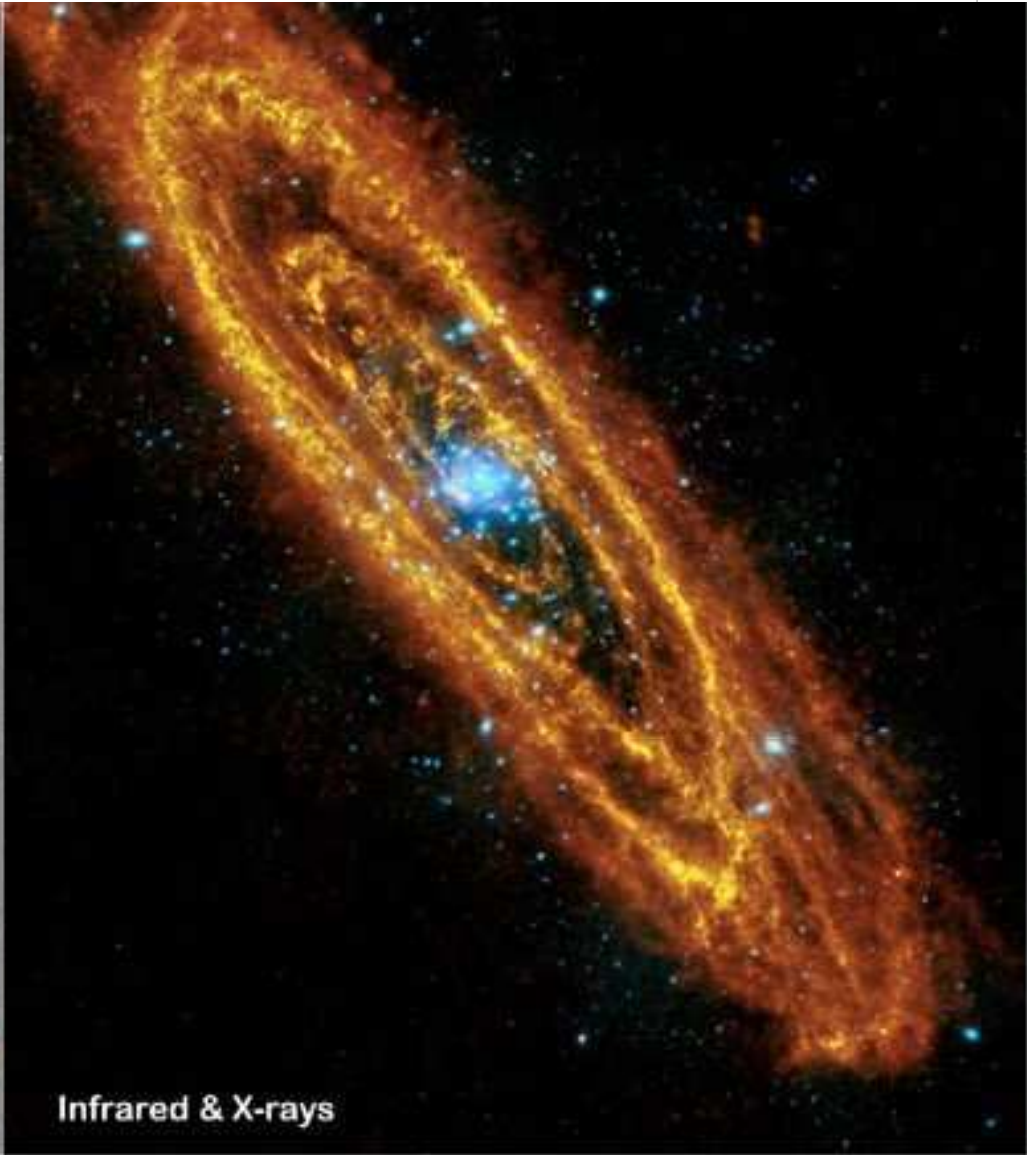


Crystallographic photo of Sodium Thymonucleate, Type B. "Photo 51." May 1952. (Large Version)

Creator: Rosalind Franklin, Raymond G. Gosling



Optical



Infrared & X-rays



Infrared



Composite



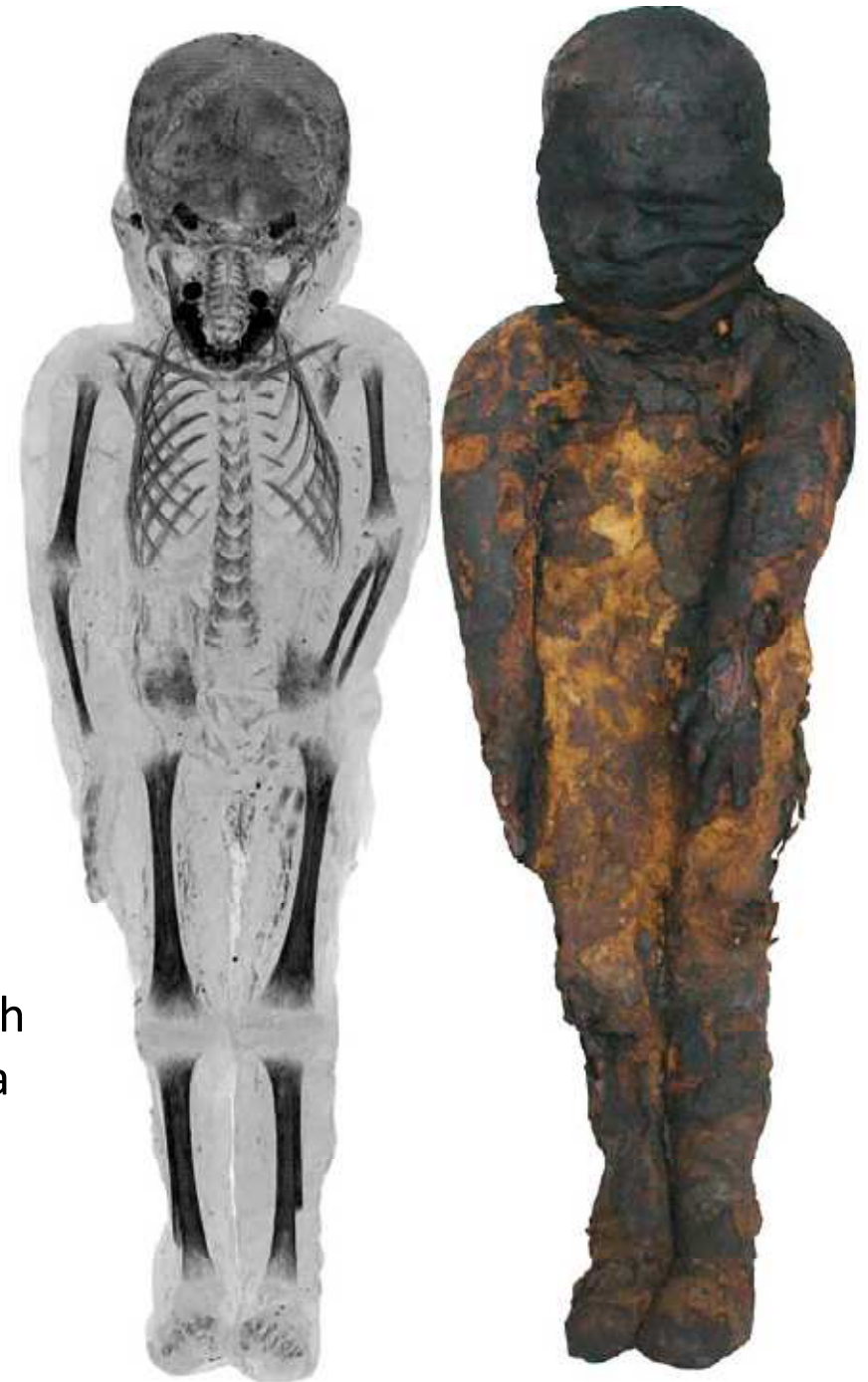
X-rays

X-rays in archeology



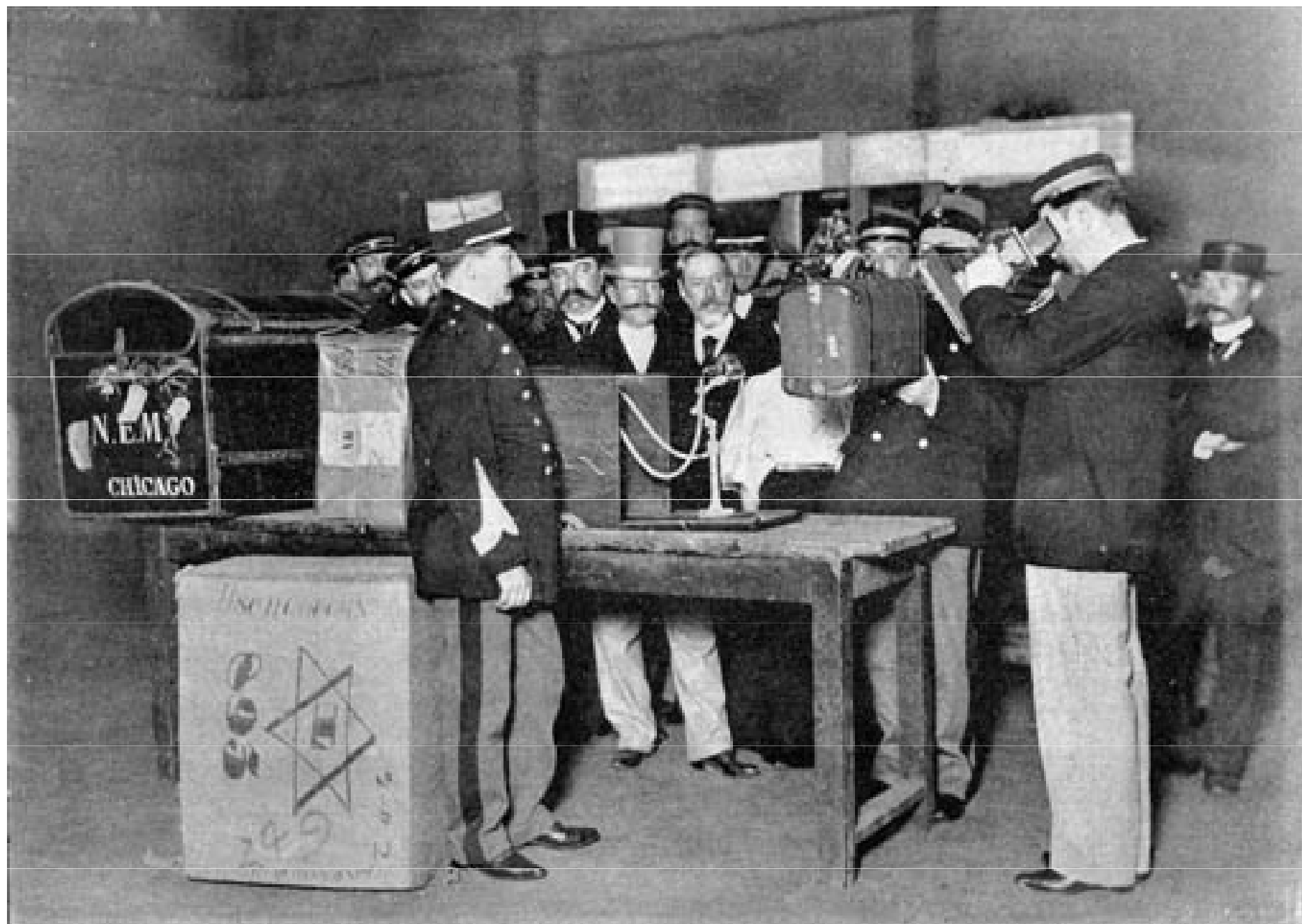
MUMMY MYSTERY Little was known about this mummified Egyptian child (top) when German physicist Walter Koenig used X-rays to look beneath its wrappings in 1896. Modern CT scans provided a more informative peek, revealing, among other findings, a completely preserved skeleton (bottom).

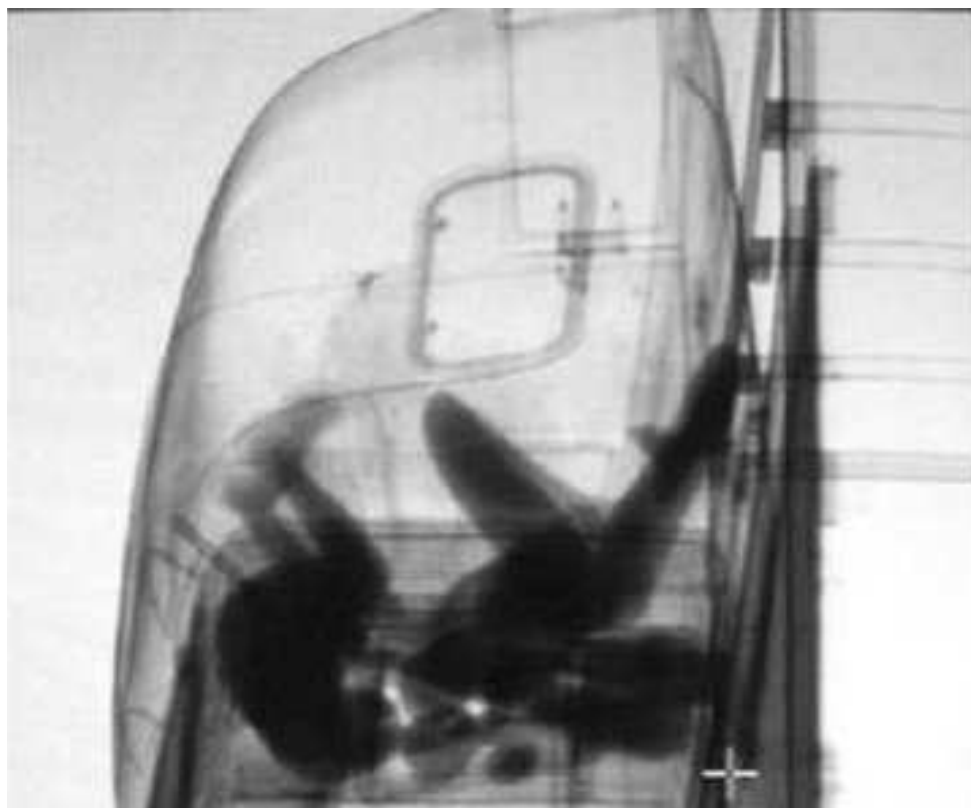
S. Zesch et al/Euro. J. Radiol. Open 2016



ANALYTICKÁ CHEMIE – X ray spectroscopy

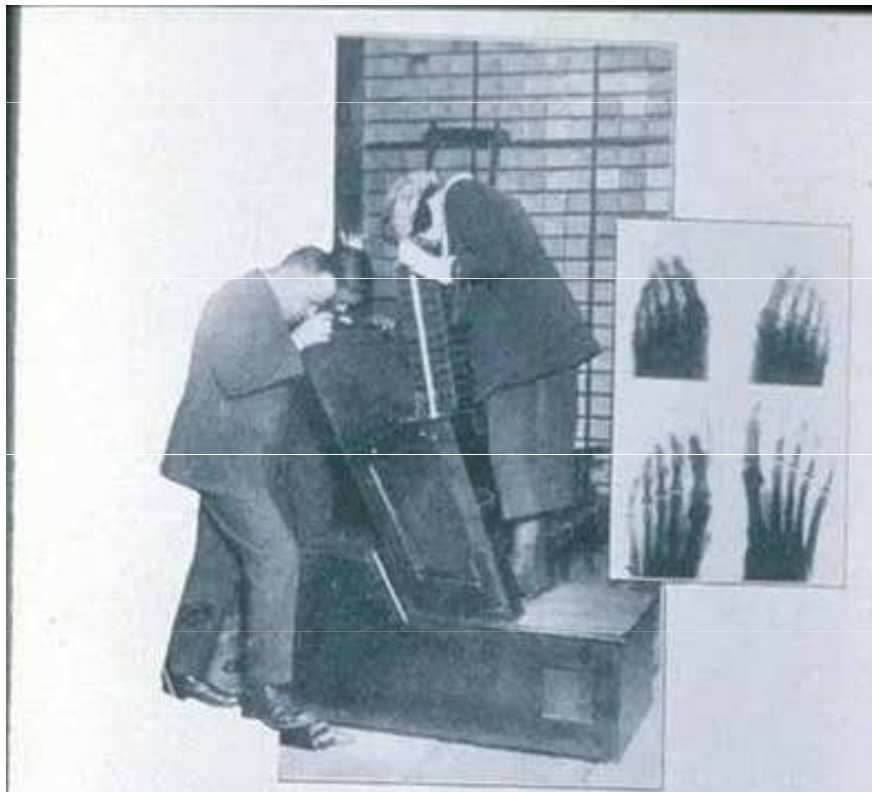
- Rentgenové záření je též využíváno v [analytické chemii](#). Částice látky jsou ionizovány rentgenovým zářením. Vzniklé sekundární rentgenové záření, které je charakteristické pro [prvky](#), je analyzováno detektorem a přiřazeno konkrétním prvkům, ze kterých se analyzovaná látka skládá. Tato analytická metoda se nazývá rentgenfluorescenční spektroskopie.
- Rentgenoskopie atd.





ROZVADOV – Překvapení čekalo v noci na celníky, kteří v blízkosti hraničního přechodu Rozvadov kontrolovali kamiony. Velkokapacitní rentgen, kterým hledají zboží pašované přes hranice v rámci Evropské unie, odhalil v nástavbě kabiny řidiče tři postavy.

Zkoušení obuvi (i dětské) pomocí RTG



NEW X-RAY INVENTION FOR FITTING SHOES

A new invention called the Foot-O-Scope has just made its appearance in Chicago, and is fitting a long list of shoe buyers. The buyer of shoes has only been able to guess how they fitted, now you can see from the top of your new shoes by the use of this new machine and when you are standing in it you can see the bones in your feet as they are placed with relation to the shoes you are having fitted. By looking through the machine one can see whether every toe is in its proper place.

Photo shows a lady looking through the machine to see how her shoes fit and two clerks examining the fit as possible for three people to see at the same time.

Photo shows (above) the position of the toes in a badly fitted pair of shoes and (below) how they should appear in a properly fitting pair.

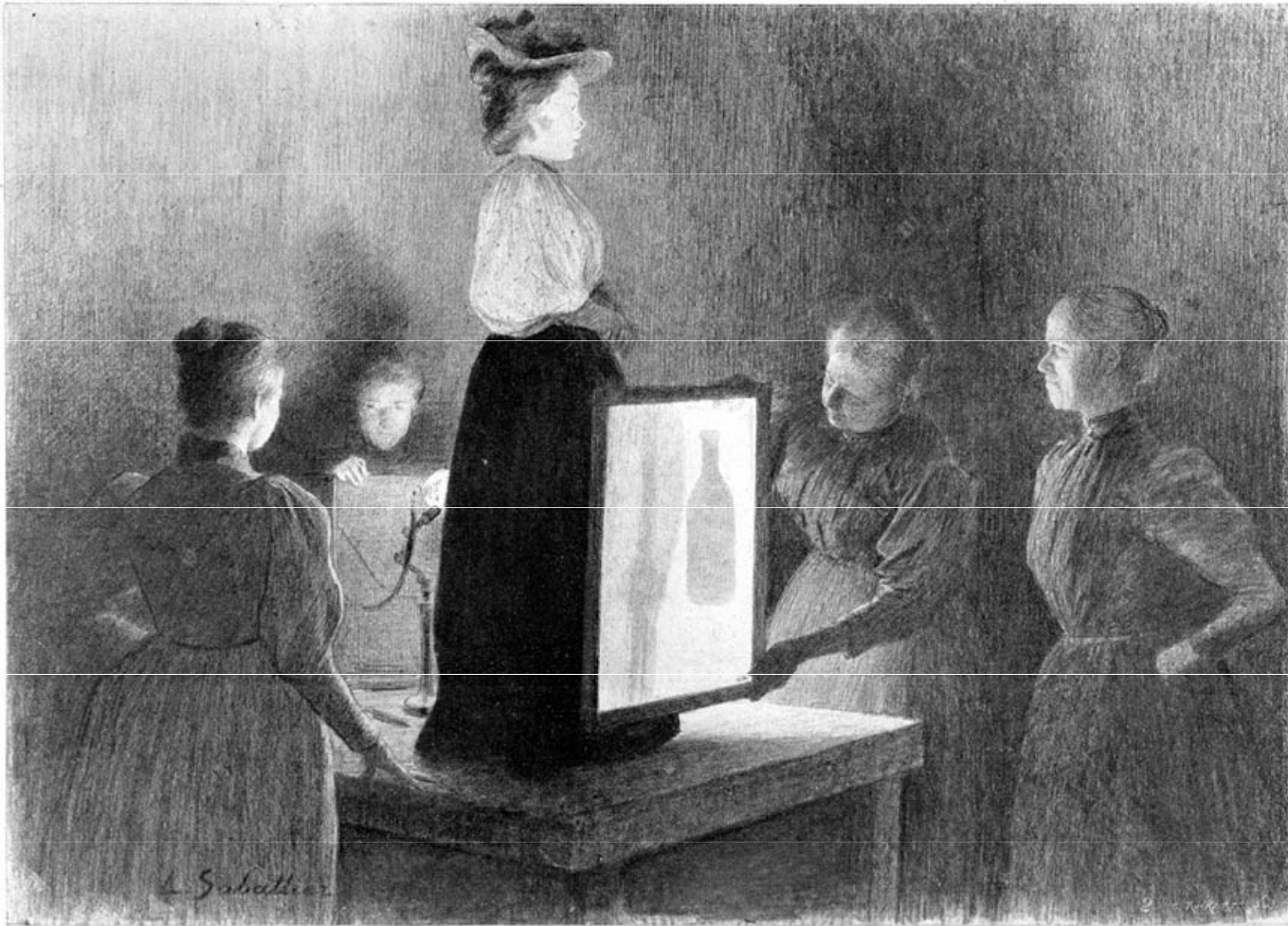


We Fit Them by X-RAY!

You don't need to take our word, or anybody's word that Simplex Flexies fit. You walk over and see for yourself just how the shoes fit your youngster's foot. Seeing is believing . . . and the X-Ray method of fitting means certain satisfaction.



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.



Fraudeuse dénoncée par les rayons X.

‘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.

Much like radio communication, radiography even became a fun hobby for those who could afford the necessary equipment. [Not to say that it this is untrue today!]



Mise en scène de l'apparition.



L'apparition.

LE NEO-OCULTISME

Ces rayons X se mêlent de tout. Vont qu'après être tombés les collabonnements indispensables des catoptrismes et même des télescopes, ils viennent faire concurrence dans le domaine du merveilleux, aux médiums les plus réputés.

M. Radigue le constructeur d'appareils de physique bien connus, ne litrait de rien les temps. Dans ces laboratoires, encombrés de lampes électriques, de tulipes et d'appareils en verre de toutes sortes, à des expériences avec les rayons X. Un bon jour, il s'aperçut que ces objets en verre laissent dans l'obscurité ou l'absence de ses rayons. Encore une découverte amusante et pénétrante, faite sur son banc. C'est, car les radiographies que l'on obtient jusqu'à présent, à l'aide d'écrans artificiels, ne sont réellement bonnes que lorsque les corps sensibles sont en petits espaces. A l'état pulvérisés, ils sont à peu près insensibles aux rayons X, et il est presque impossible d'obtenir sur la plaque photographique la graine de tétra. Il est facile au contraire de travailler optiquement le verre de façon à éviter toute irrégularité dans la radiographie.

Ces expériences se firent certainement d'ici peu. Mais, pour l'instant, c'est le côté fantastique de la découverte que je tiens à présenter à nos lecteurs.

Outre le verre, la porcelaine, les émaux, les diamants et autres objets sensibles dopélines-cyanures, employés par Röntgen, de tungstate de chaux, de fluorure d'ammonium, de sulfate de zinc, etc., ont été même proposés de devenir lumineux dans l'obscurité sous l'action des rayons X. On a donc eu l'embarras du choix pour préparer une séance de spiritisme - pour dire avec toute certitude du succès, tandis que les véritables séances de spiritisme échouent le plus souvent, comme on sait, parce que les esprits sont mal disposés et mécontents.

Voici par exemple une petite scène soigneusement tracée pour mettre en scène nos médiums les plus légitimes, et quelquefois de leurs amis s'était avisée de leur en donner le merveilleux spectacle, avant que l'illustration se leur en dévouât les traits.

Reportez-vous, je vous prie, aux dessins ci-dessus. Le premier vous présente une femme médium, qui est là pour vous montrer l'ensemble de l'opération. Mais comme ses vibrations seraient pour premier objet d'éveiller l'attention - et par conséquent les compassions - les hôtes qu'il s'agit de transporter dans le domaine du merveilleux, ont été soigneusement placés dans quelque pièce à part. Des fils appuient à l'appareil de Crookes l'électrique productrice des rayons X. Cet

appareil, d'ailleurs pas volumineux, peut être placé derrière une porte, ou dissimulé sous des voiles noirs. Le plus près possible de l'appareil, on place les objets destinés à devenir lumineux; en la circonstance, un convive, un gobelet sans coude, une tige en or, un couteau et une fourchette, il attaque son scallopp; mais il est à coup sûr, plus gros mangeur que bureau intermédiaire, puisqu'il se contente de boire de l'eau, et son déshonneur se compose dans une seule bougie. De l'autre côté de la table, un rideau noir dissimule à l'assistance un squelette encausté de sulfate de zinc.

Plaçons maintenant les lumières et mettons le bébé Röntgen en action. O surprise! une assiette, un verre, une carafe, un flambeau brillent, un plateau scintille comme des étoiles, comme des yeux lumineux, dans l'obscurité; par quel prodige d'équilibre? Mystère! Et, comme à droite, un squelette à remplacer le monsieur moyen doit, seul, le longin a tenu bon devant cette machine apparition. Enfin, pour compléter l'illusion, voici que des malins, et encore des malins, s'agitent au-dessus de la tête des spectateurs, se multiplient et disparaissent, pour apparaître encore.

Remarquez que pour rendre l'expérience plus concluante, il est inutile aux participants les plus incrédules de la société d'attacher solidement le monsieur moyen à son siège et, au besoin, de lui maintenir les pieds et les mains, pendant toute la durée du phénomène.

Il est à peine besoin d'en expliquer la marche, s'il n'est pas. Les rayons X ont traversé le voile noir et le porte qui dissimule l'appareil de Crookes; ils ont traversé également le corps du monsieur moyen, pour venir rendre lumineux les objets en verre ou recouverts de sulfate de zinc. Quant aux malins mystérieux, ce sont tout simplement des gants noirs de cette substance, jadis, à l'extrémité de longs bâtons et que des complices font mouvoir dans toute la scène.

Ces scènes peuvent naturellement être variées à l'infini, et l'esprit d'invention de nos médiums est assez fertile pour qu'on puisse avoir la certitude qu'elles en sauront composer de plus intéressantes. Ainsi, il s'agit de savoir s'il s'agit par les malins de médiums d'annoncer une plate dans le programme de leurs soirées, ou simplement de se séder. Le théâtre lui-même, pour, en certaines occasions, utiliser les rayons X. M. Sardou s'en serait senti capable, il nous en sommes certains. Spiritisme et l'opéra en est tout indiqué par Radigue.

De tous côtés, des recherches sont faites pour connaître des bobines Röntgenoff donnant à notre d'intermédiaire, mieux que les plus puissantes que l'on possède

actuellement ne possèdent guère plus de 25 centimètres. Ces recherches sont très avancées et aboutissent certainement. Les médiums de tantobilité que j'ai cités seraient alors encore bien plus nets et sensibles pour toute une salle. Le propre des rayons X étant d'être indolores, faudrait-il s'occuper de leur pouvoir pénétrant?

JEAN ROSEY.

NOTES ET IMPRESSIONS

Le Français oublie vite et ne perdrait pas l'avenir; il vit dans l'heure présente.

MACHETRE.

L'homme ferait son nez dans toutes les choses immortelles.

GERNE.

Si l'on court aux vieillards de s'effacer et de se réjouir, il est bon pour les jeunes de respecter et d'aimer.

JULES SÉVER.

Cette de de siècle appartient aux - hommes - et la femme réclame à la fois son droit au vote et à la science. In matériel fait son.

JULES CLARETTE.

Le docteur fait son œuvre avec ses ongles.

ART-BON.

Mieux ne se fait, dit-on, sans argent; mais, en réalité, l'argent a bien plus de défaut de chose qu'il n'en a fait.

G. THOUVENIN.

C'est bon d'avoir le cœur sur la main, pourvu qu'on tiensse sa main ouverte.

PAUL MARGHERITE.

Pour donner les femmes des pratiques complètes ou des modes malins, il faudrait les convaincre qu'elles les exaltent.

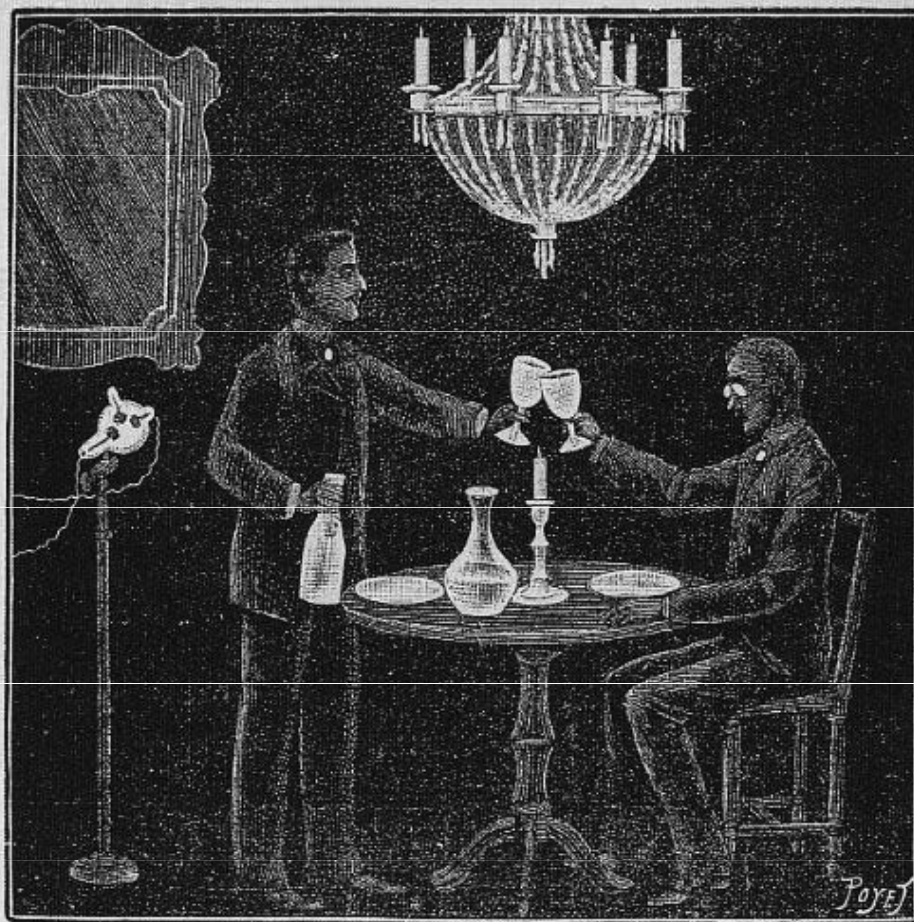
PAUL MARGHERITE.

Chez les civilisés, l'imagination est plus exposée que les sens.

G.-M. VALTOUR.



SMART PEOPLE NOW STARTLE ONE ANOTHER BY GIVING GHOST PARTIES.



(Fig. 91)

LUMINOSITÉ DES SUBSTANCES VITRIFIÉES

Voir - Communication à l'Académie des sciences du 25 janvier 1897, à la Société de physique, séances de Pâques 1897.

ACCESSOIRES POUR SÉANCES de NÉO-OCCULTISME

Voir le journal LA NATURE du 6 mars 1898, 10 avril 1897, L'ILLUSTRATION du 10 avril 1897, et tous les journaux scientifiques et quotidiens de France et de l'Étranger de cette époque.



Affiche de spectacle au Théâtre Robert-Houdin
(source : revue Contrastes de Guerbet, 1995)

Tricho Machine (Collins, 2007, p. 68).



Hair Removed Permanently



Patient receiving treatment on the cheek. No pain or sensation of any kind. The **INFALLIBLE** method successfully used for 16 years by Dr. Albert C. Geyer, late Professor of Electrical Therapeutics at Cornell University and endorsed by many leading physicians.

No Needle, No Wax, No Chemical
Painless and Harmless—Guaranteed to be Permanent

Tricho System

Central 5013 1010 State-Lake Bldg. 190 N. State St. Free Booklet

Advertisement 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)



**SUPERFLUOUS
HAIR
REMOVED**
PERMANENTLY
PAINLESSLY
HARMLESSLY

Positively will not injure the most delicate skin. Devoid of all sensation.

**THE MODERN METHOD
NO CHEMICALS
NEEDLES
OR WAX**

Grand Prix and Gold Medal
PARIS 1925 LIEGE 1926

*Consultations Gratis
Booklet sent on request*

**TRICHO
SYSTEM**

87 REGENT ST.
LONDON
W. 1

Telephone:
GERRARD
7997

1927 Tricho System. British advertisement using the actress Ann Pennington [1893-1971] as the model. The inference is that your face, underarms and legs should all be treated.



**Our
European Permanent
Waving Machine**
makes possible rewaving over any Permanent Wave, without damage to hair.

No hair too short. No tying, no finger-waving, non-kinky.

As Important as the Opening of the Magnificent Saenger Theater:
THE INTRODUCTION OF THE
TRICHO SYSTEM
of Removing Superfluous Hair
Permanently
Watch for Our Future Announcement

LEE'S TRICHO INSTITUTE
and
MARCEL SHOP
724 Canal St. MAin 2797
Over Adler's

JAMES BOND X-RAY GLASSES



Scientific optical principle really works. Imagine — you put on the "X-Ray" Specs and hold your hand in front of you. You seem to be able to look right through the flesh and see the bones underneath. Look at your friend. Is that really his body you "see" under his clothes? Loads of laughs and fun at parties. Send only \$1 plus 25¢ shipping charges

Money Back Guarantee
HONOR HOUSE PRODUCTS CORP.
Lynbrook, N. Y. Dept. 77X70

An advertisement for 'X-RAY FOR GIRLS'. The background is a dense halftone dot pattern. In the center, a woman with large, round glasses and a surprised expression looks towards a man. The man is standing with his arms outstretched. On his chest, the words 'FUTURE OF TORMENT AND PAIN' are written in bold, capital letters. Above the woman, the text 'I CAN SEE HIS TRUE INTENTIONS!' is written in a curved path. To the right of the man, the words 'X-RAY FOR GIRLS' are written in large, bold, sans-serif letters. Below the woman's head, the price 'ONLY \$1.00' is displayed in large, bold, sans-serif letters. In the bottom right corner, the text 'PREVENT A LIFE OF MISERY' is written in bold, sans-serif letters. The entire advertisement is enclosed in a thick black border.

STAVEBNICE „MLADÝ ROENTGEN“

