

# Slättröntgen

## Nobelpriset

Året 1901 tilldelades den tyske fysikern Wilhelm Röntgen det första Nobelpriset i fysik för "upptäckten av de egendomliga strålar", som sedermera uppkallades efter honom.

Detta lade grunden till de medicinska avbildningstekniker som vi nu använder.



## Allmänt om röntgenstrålning

Röntgenstrålning är elektromagnetisk strålning med våglängd mellan 0.001-50 nm, som uppstår när högenergiska elektroner eller andra laddade partiklar bromsas upp i ett material. Det stora våglängdsspannet medför att det delvis sammanfaller med både gammastrålning (från kärnreaktioner) och ultraviolett strålning. Röntgenstrålning är tillräckligt energirik för att tränga igenom mjuka material som t ex kroppsvävnad.

Gamma strålar	Röntgenstrålar	Ultraviolett ljus	Infrarött ljus	Radar	F M	TV	Konvögs radio	AM
$10^{14}$	$10^{10}$	$10^8$	$10^4$	$10^2$	1	$10^6$	$10^6$	$10^4$

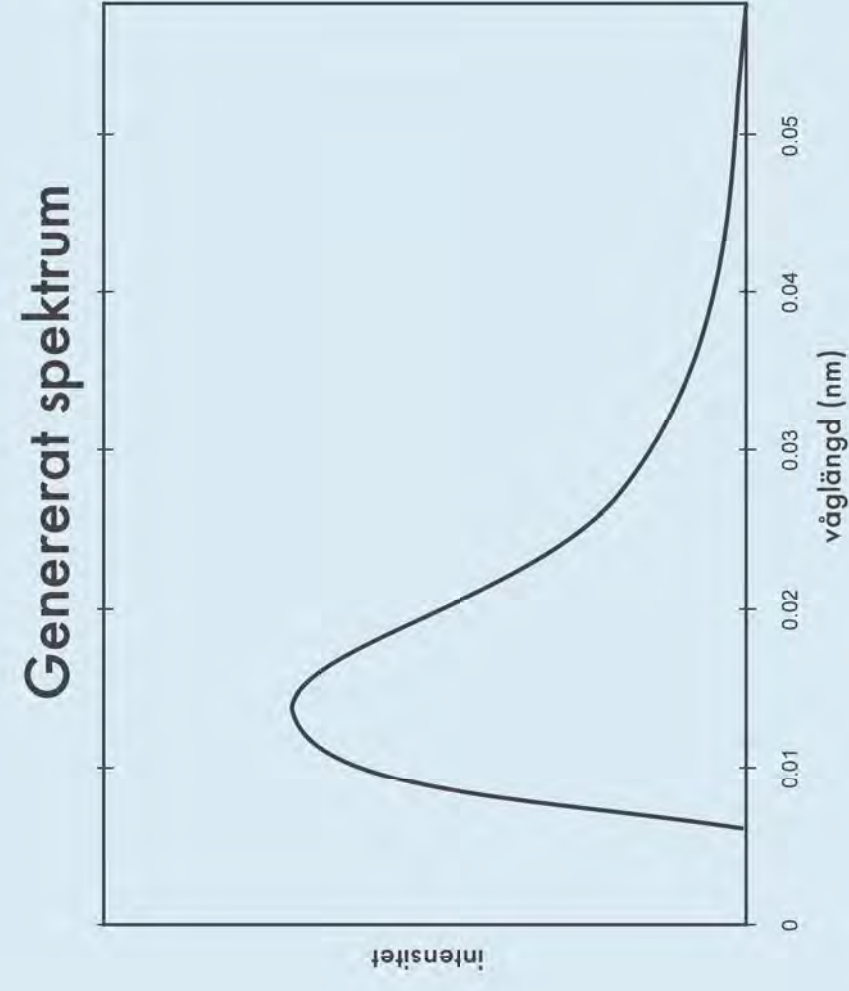
Våglängd (m)

Synligt ljus

Läran om att ta medicinska bilder med hjälp av strålning kallas radiologi. Röntgenstrålning används idag inom en mängd olika avbildningsmetoder. Vi kommer att inrikta oss på slättröntgen vilket är den vanligaste och enklaste röntgentekniken, där man låter röntgenstrålning genomlysna en kroppsdelen och därefter återskapa en 2D-bild av det aktuella området. Den egenskap hos strålarna som utnyttjas i slättröntgen är att de absorberas olika mycket i olika vävnadstyper.

## Generering av röntgenstrålar

Röntgenstrålar för medicinskt syfte genereras i ett röntgenrör, ett vakuumrör, som innehåller en anod och en glödkatod. En elektrisk spänning uppemot 100 kV läggs på mellan elektroderna och glödkatoden värms upp, så att den avger elektroner termiskt. Det elektriska fältet kommer accelerera elektronerna till en rörelseenergi som maximalt blir 100 keV. När en elektron träffar anoden kommer den deaccelereras kraftigt, och då avger sin rörelseenergi som en foton, maximalt 100 keV som motsvarar 0.012 nm. Eftersom en större del av rörelseenergin förloras som värme i anoden kommer det bildas ett kontinuerligt spektrum av våglängder större än denna.



För att få bra fokus måste röntgenstrålningen emmitteras från så liten yta som möjligt på anoden. Elektronerna fokuseras därför av det elektriska fältet så de träffar mitten av anoden. Detta innebär dock samtidigt att denna yta blir kraftigt uppvärmd, värme som måste ledas bort. Anoden är dessutom vinklad så att del mesta av röntgenstrålningen riktas mot patienten och bilden. Röntgenröret bildar ett brett spektrum av röntgenstrålning. Strålning med lågt energinnehåll och lång våglängd kommer att absorberas fullständigt i kroppen, det vill säga inte bidra till röntgenbilden men samtidigt öka patientens stråldos. Därför används ett metallfilter som absorberar lågenergi-strålning.

# Projekt i våglära (FAFA25)

## medicinska bilder

Emil Ljungberg, Björn Linse, Gustav Lindéus

November 2010 Lunds Tekniska Högskola

I samarbete med:

Jörgen Larsson

Professor på avdelningen för atomfysik

vid Fysikaliska institutionen

## Hur röntgenstrålar interagerar med vävnad

Medan röntgenstrålning rör sig genom vävnaden kommer den att interagera med vävnadens atomer på olika sätt och olika mycket, beroende på vilka grundämnen vävnaden består av.

Det finns huvudsakligen två sätt som röntgenstrålningen kan absorberas eller spridas på, som är intressanta för radiologi:

### 1. Fotoelektriska effekten

Den fotoelektriska effekten innebär ett energiutbyte mellan strålningen och elektronerna i atomens elektronskal. När en foton träffar en bunden elektron kommer elektronen att frigöras, förutsatt att fotonen har samma eller större energi än elektronens bindningsenergi. Antalet interaktioner är som störst när fotonenergin är precis över bindningsenergin. Vanligtvis frigörs en elektron i K-skalet, och därefter kommer en elektron från något av de yttre skalen att hoppa in i K-skalets lediga plats, samtidigt som energiskillnaden avges som s k karaktäristisk strålning. Denna strålning har oftast för låg energi för att ge något utslag på röntgenbilden.

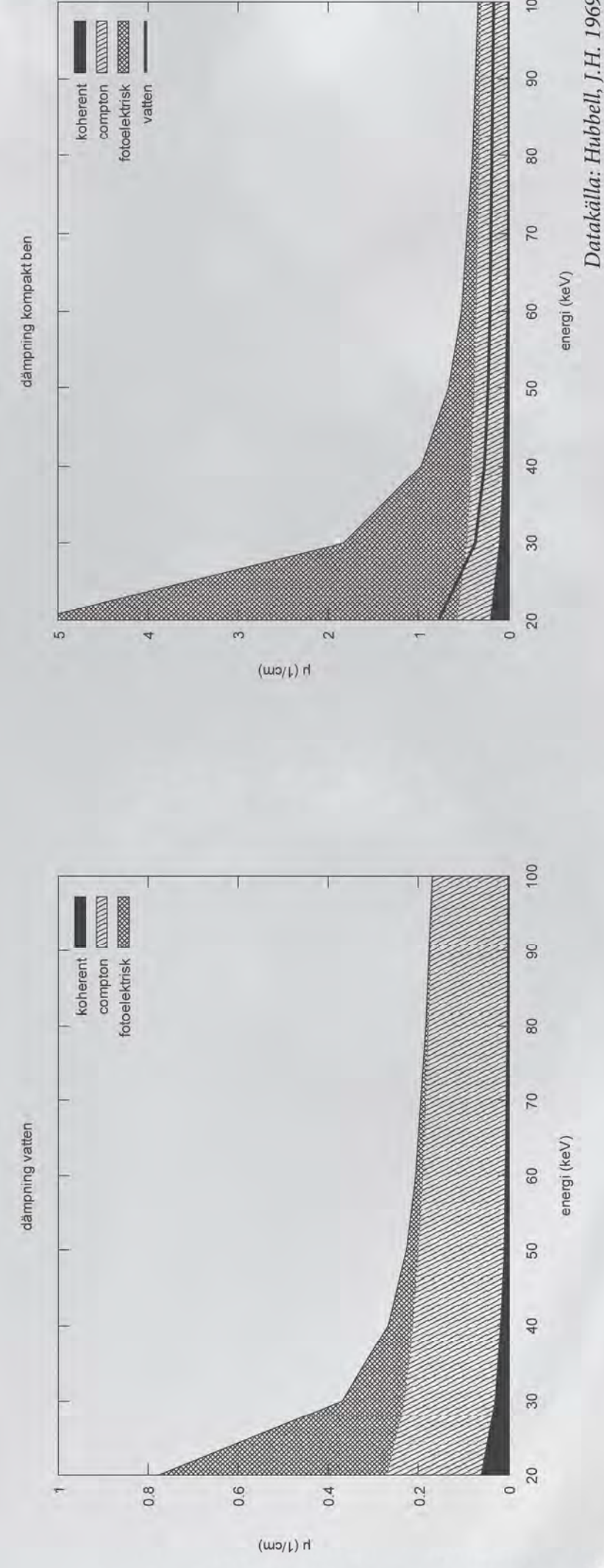
Det som gör den fotoelektriska effekten användbar är att mängden interaktioner varierar kraftigt med atomnumret. Ju större bindningsenergi i K-skalet, som ökar med atomnumret, desto större fotoelektrisk effekt. Antalet interaktioner är ungefär proportionerligt mot atomnumret i kubik, vilket innebär att benvävnad av kalcium ( $Z=20$ ) kommer absorbera mycket mer strålning än mjuk vävnad bestående mestadels av grundämnenä syre, kol och väte. Eftersom nästan all energi från de interagerande fotonerna absorberas ger fotoelektriska effekten hög effektiv stråldos.

### 2. Comptonspredning

Comptonspredning sker när en röntgenfoton träffar en elektron i ytterskalet och endast lämnar ifrån sig en liten del av sin energi till elektronen. Fotonen sprids i slumpmässig riktning och behåller en stor del av sin energi (ju mer desto mindre vinklet den sprids i). Den största delen av strålningen som sprids fortsätter i en riktning som inte träffar filmen. Viss del av strålningen kommer dock att fortsätta nästan rakt fram och träffa bilden på fel ställe och då minska skärpan. Endast en liten del av den inkommande strålningen sprids genom Comptonspredning, varav en bråkdel sprids rakt fram, så oskärpan blir inte så stor. För Comptonspredning är antalet interaktioner proportionerligt mot densitetet, vilket ger lägre kontrast än för den fotoelektriska effekten. Då den mesta energin sprids istället för att absorberas av vävnaden utsätts dock patienten för lägre effektiv stråldos.

### Total dämpning

Det finns även andra sätt vävnadens atomer kan interagera med röntgenstrålning. Exempelvis koherent spridning där en foton exciterar en elektron eller en hel atom, som sedan avger energin fullständigt som en foton med samma våglängd. Dessa interaktioner sker dock i så liten utsträckning att de inte har någon relevans för vanlig radiologi.



Hur mycket strålning som en vävnadstyp absorberar (eller sprider utanför bilden) totalt anges med en linjär dämpningskonstant  $\mu$  som mäts i enheten  $1/cm$ .  $\mu$  beror även på våglängd - se diagram ovan. Intensiteten avtar exponentiellt med sträckan som strålningen rör sig genom vävnaden. Transmittansen kan räknas ut med formeln

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\mu x}$$

(x = sträckan genom vävnaden i cm)

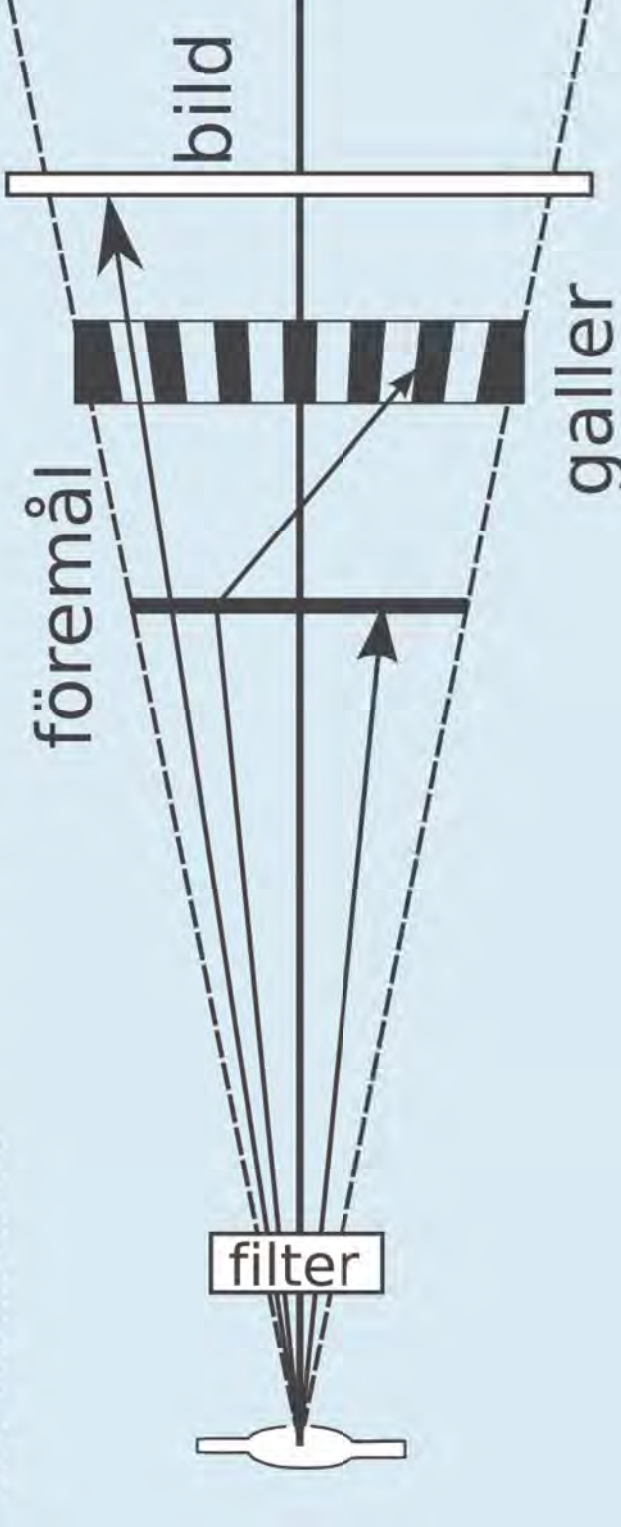
### Exempel

1 cm kompakt ben kommer transmittera 60% av den inkommande bilden, medan mjuk vävnad (som mest består av vatten) transmitterar 80% vid 60keV. Strålningskontrasten kommer bli förhållande i transmittans för två olika vägar genom kroppen. All strålning som går igenom samma kroppsdelen kommer att passera ungefär lika lång sträcka vävnad totalt; kontrasten blir skillnaden i transmittans för de sträckor där vävnadstypen skiljer sig. I en röntgenbild av 1 cm tjockt ben kommer strålningskontrasten mot omgivande vävnad att bli 1:3.5 för 60keV. Kontrasten blir bättre vid lägre energier, dock blir då den totala dämpningen mycket större, så att större stråldos krävs.

## Röntgenbilden

På en fotografisk film bakom patienten skapas en bild som visar hur mycket strålning som olika delar av kroppen har absorberat. Filmen är vit och mörkas när den träffas av röntgenstrålning. Alternativt kan man använda en digital bildsensor för att detektera röntgenstrålningen.

För att det ska bli en skarp bild måste röntgenstrålarna vara fokuserade från röntgenrörets anod. Varje punkt på bilden kommer då idealt sett ta emot strålning som passerat raka vägen genom kroppen. För att minska mängden spridd strålning som hamnar på bilden och bidrar till oskärpa kan ett ett metallgaller sättas framför filmen eller detektorn. Gallret kommer absorbera all strålning vars vinkel avviker mycket från primärstrålningen (den direkt från fokuspunkten). Som bilden visar är gallret vinklat så att det släpper igenom så mycket strålning i riktning från fokuspunkten som möjligt. I verkligheten är gallret ett tvådimensionellt rutnät som blockerar strålning spridd både i horisontal- och vertikall.



Exempel på en röntgenbild av en hand.

## Biologiska biverkningar

Det som är biologiskt skadligt vid en röntgenundersökning är att de atomer som träffas av strålning blir joner och förändrar därmed molekylens den är bunden i. Strålning som träffar cellens DNA kan orsaka mutationer och i värsta fall leda till cancer. Detta sker givetvis inte vid enstaka strålningsstillfällen utan vid konstant strålning under en längre tidsperiod.

Det finns en del faktorer som påverkar strålningsoverkan på kroppen:

- Strålningens intensitet
- Avståndet
- Kroppsvikt
- Riskgrupper

Stråldos anges vanligtvis i enheten mSv. Sievert är Slenheten för dosekvivalent som är joule per kilo kroppsvikt multiplicerat med en viktningfaktor. Fotoner har viktningfaktor 1 och därför motsvarar 1 Sv en stråldos på 1 Joule per kilo kroppsvikt. De här storheterna används när man vill uppskatta om ioniserande strålning eller röntgenstrålning har medfört skadlig risk på levande organismer.

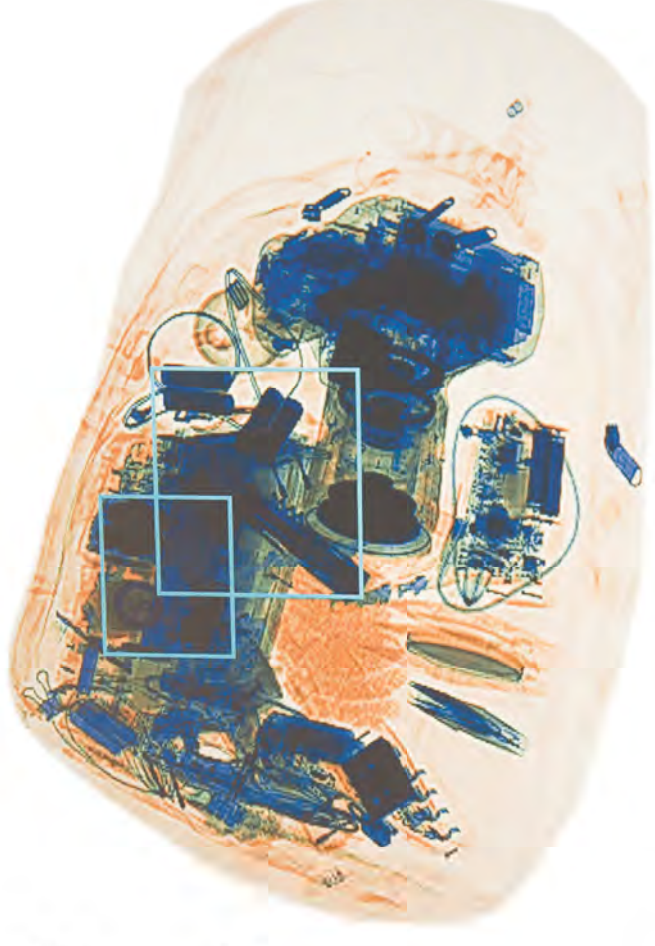
Undersökning	Effektiv dos i mSv
Tandrontgen	0,01
Skallröntgen	0,1
Lungorna	0,1
Mammografi	0,2
Ländryggen	2,3
Datortomografi av buken	12
Radiologiska ingrepp	60 (3-450)

Utdrag från: [www.kth.se/~f1001/medfys/medfys0101.htm](http://www.kth.se/~f1001/medfys/medfys0101.htm)

## Bagagescanner

Det brittiska företaget Westminster International LTD är ett företag som tillhandahåller produkter, tjänster och lösningar inom säkerhet, brand och risk. Deras produkt "WGIS6545 X-Ray handbaggage scanner" används till exempel vid gränsövergångar, ambassader, säkerhetskontroller på flygplatser och militära anläggningar. Till skillnad från de medicinska monokromatiska röntgenbilderna och enklare bagagescanners genererar denna färgbilder. Dessa är färgglada med hjälp av en dator med olika färgkoder som talar om vad för slags ämnen olika föremål i bagaget består av.

För olika grundämnen kommer dämpningens våglängdsberoende se olika ut. Scannern tar två olika bilder, med röntgenstrålning av olika våglängdsintervall. Detta genomförs genom att bagaget bestrålas med ett brett spektrum av röntgenstrålar och sedan används två lager av bildelement. Mellan de bägge lagren finns ett filter som absorberar strålning med låg energi. För att få en bild av lågenergi-strålningen subtraheras bilden tagen efter filtret från den första. En dator kommer analysera bägge bilderna, och för varje föremål jämföra hur stor dämpningen är för de bägge våglängdsintervallen. Generellt sätt blir skillnaden i dämpning större för högre atomnummer. Datorn kan ungefär räkna ut atomnumren för de grundämnen som föremålet består av. Bilderna sätts ihop till en enda bild där olika färgkoder indikerar olika ämnesgrupper.



Exempel på röntgenbild av väska i bagagescanner. Ej från den angivna produkt.