TOESTELLEN

Coördinerend stralingsdeskundige

2020

A.A.Froma (Age)

Inhoud

- Verschillen toestellen – r.a. bronnen
- Hoe werken de verschillende toestellen?
- Stralingshygiënische aspecten
- Medische rechtvaardiging
- Korte uitleg apparatuur niet medische toepassingen

- Een beetje rekenen…!

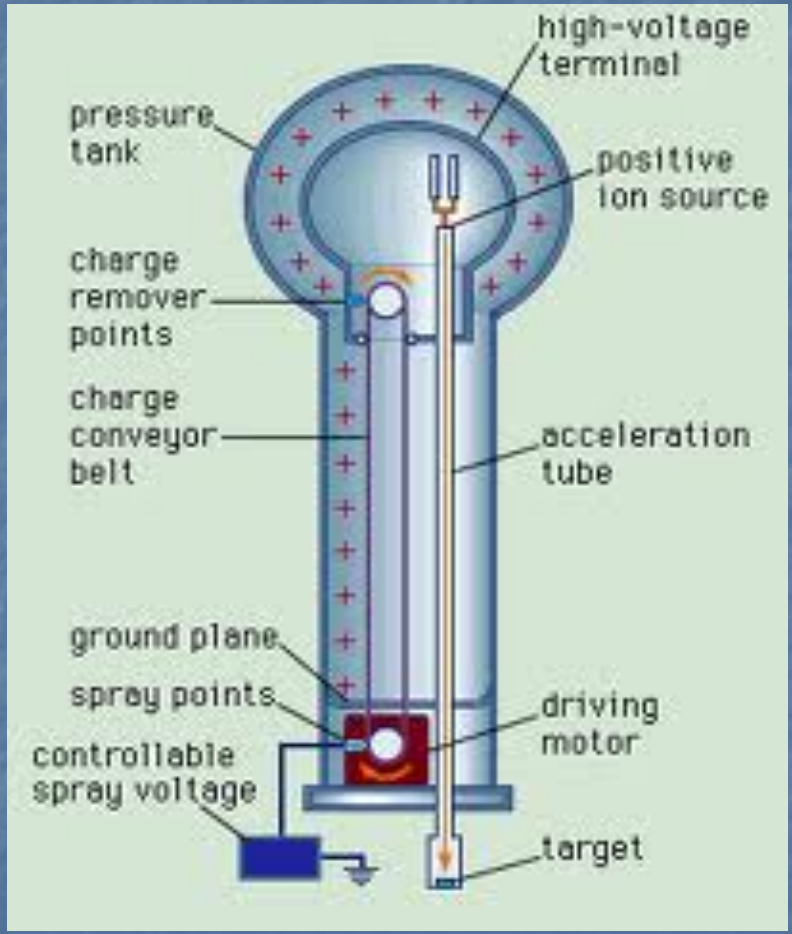
Toestellen versus *r.a. bronnen

- Toestel uit → straling 'uit' (afwezig)
  * Radioactieve bronnen hebben een HVT c.q. vervalconstante
- Besmettingskans → 'nul'
  * Altijd aanwezig bij het gebruik van radioactief materiaal
- Vaak bundels met hoge intensiteit (rö, e^- en p)
  * Deeltjesstraling (α- en β-straling; ook e.m. straling → γ)
- Afscherming meestal relatief eenvoudig te realiseren bij de toestellen
  * Weliswaar niet 'moeilijk', maar denk aan het gevaar van verspreiding

Welke toestellen?

- Versnellers o.a.
  - Van de Graaff generator
  - Cascade generator
  - Cyclotron (→ protonenversneller...)
  - β-tron en Co60 toestel
  - Lineaire versneller
  - Synchrotron
- Röntgentoestellen
  - Medische toepassingen
    - Röntgenapparatuur ('bucky', doorlichting, CT)
    - Röntgendiffractie
    - Röntgenfluorescentie

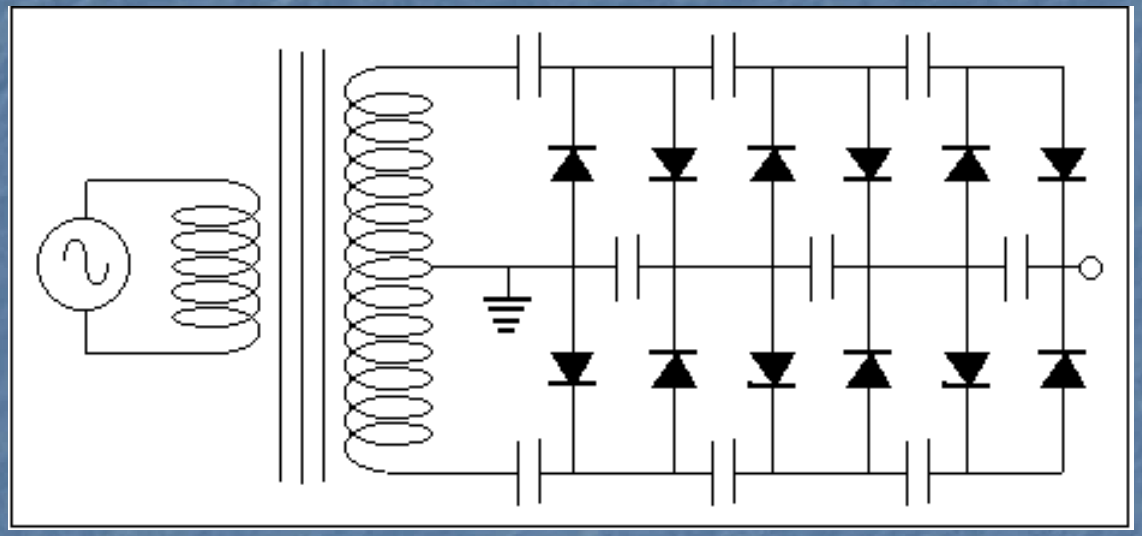
Van de Graaff generator (begin 20e eeuw)



Versneller van ionen en e^- (statisch electrisch veld) 2-12 MV; ook snelle n productie via kernreactie

Cascade generator

Cockcroft-Walton ionen-versneller



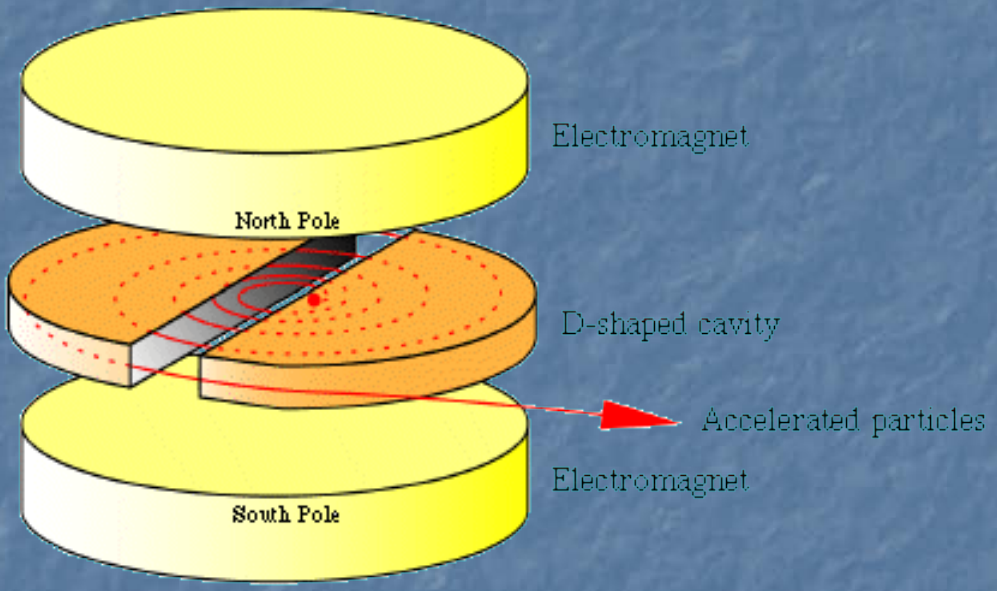
1932: versneller waarbij eerste nucleaire reacties aangetoond werden → maximaal 700 kV
400 keV protonen: $^{7}Li + {}_{P} \rightarrow 2$ He nucliden of $^{7}Be + {}_{n}$

In 1951 deelden beide heren de Nobelprijs voor de fysica!

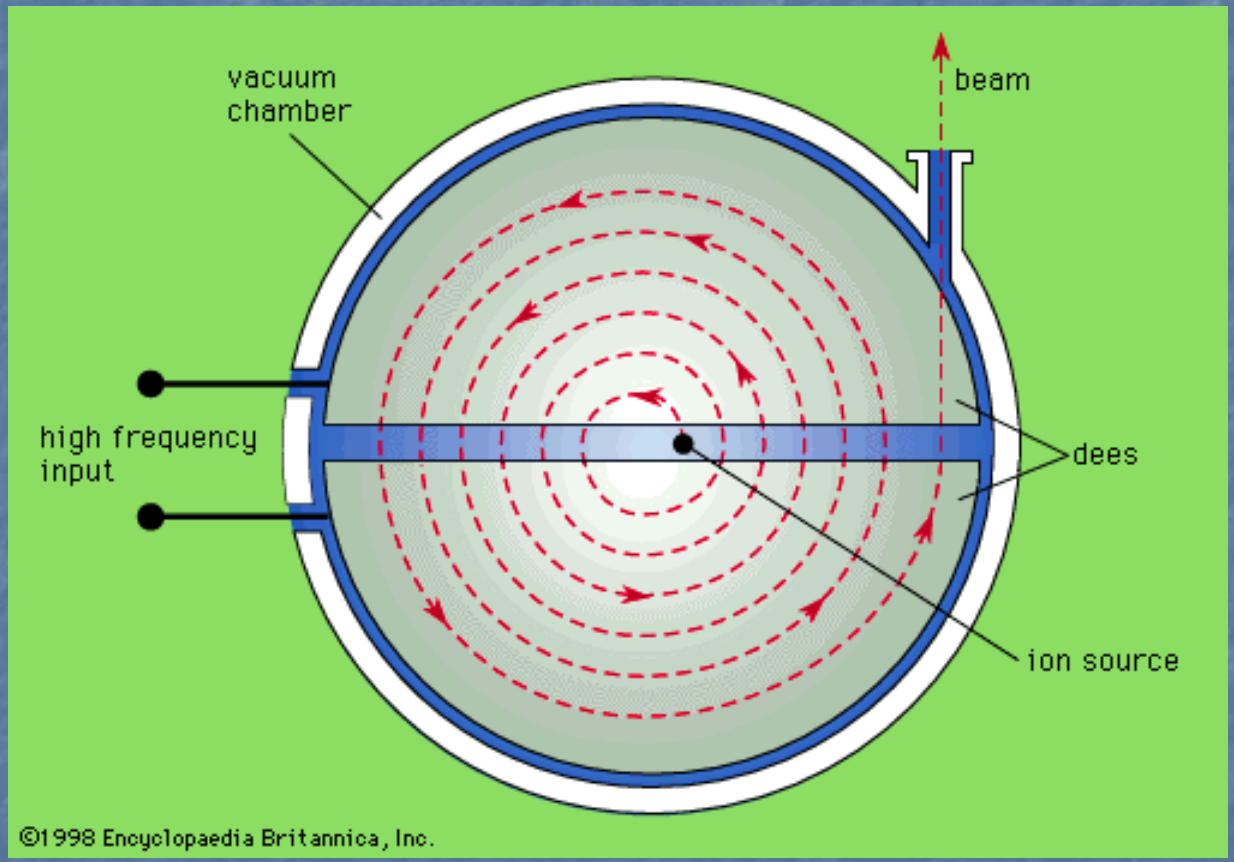
Stralingshygiëne van de Graaff- / cascadegenerator

- Vergelijkbaar met die bij het cyclotron
  - De opstelling bevindt zich in een bunker
  - Toegangsverbod voor personen
  - Activering van aanwezig materiaal is mogelijk (niet bij cascade)

Cyclotron ('versneller')



Cyclotron


vacuum chamber
beam
high frequency input
dees
ion source
©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.

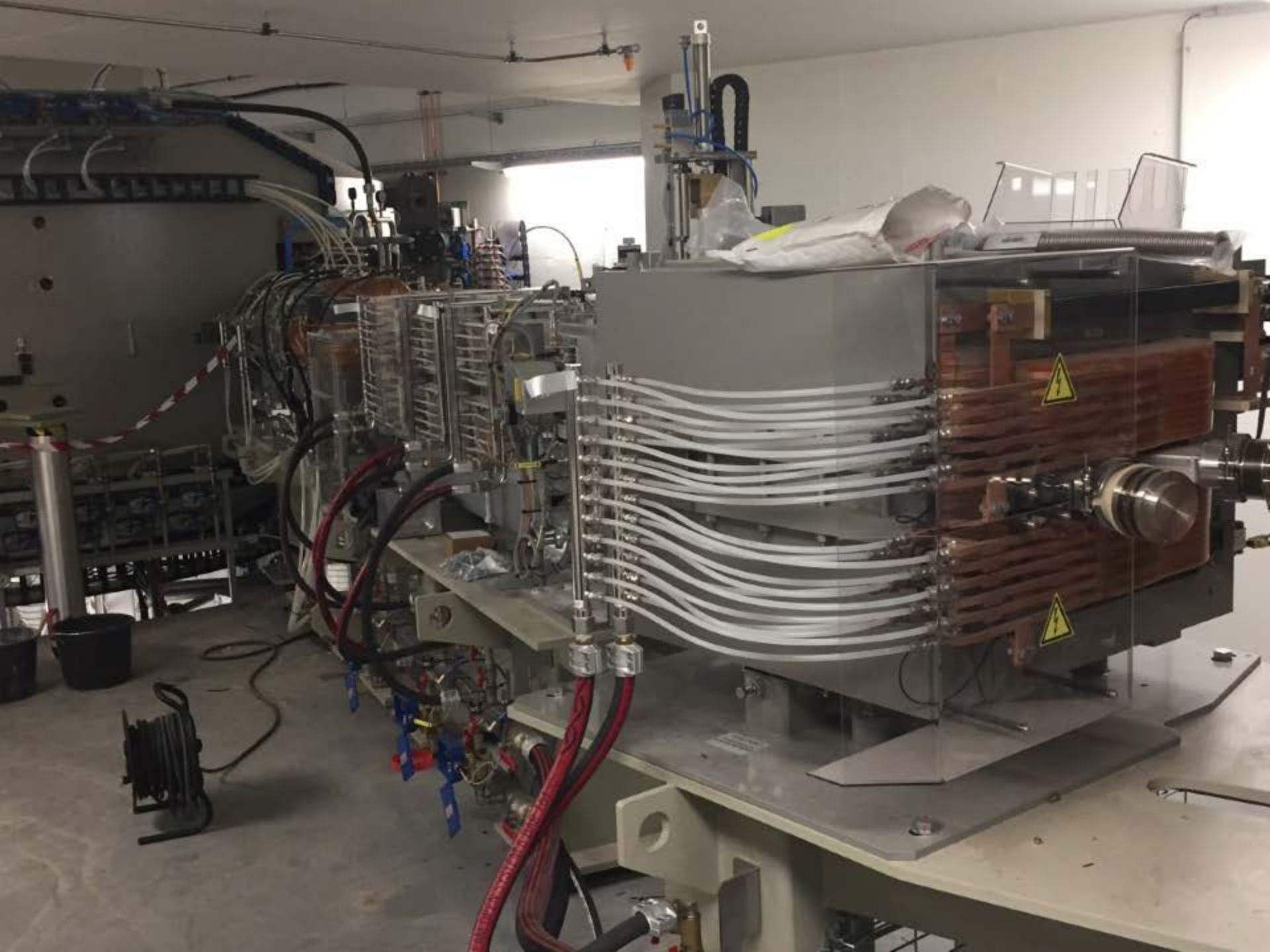
1e cyclotron Californië (Lawrence/Livingston)



- 1929: principe van het cyclotron ontwikkeld door Lawrence
- 1931: eerst werkende cyclotron samen met Livingstone gerealiseerd;
  magneetpooldiameter 4,5 inch → p-energie → 80 keV; ½ jaar later → 1 MeV
- 1939: 60 inch cyclotron → magneet van 200 ton → bundel van 16 MeV deuteronen.

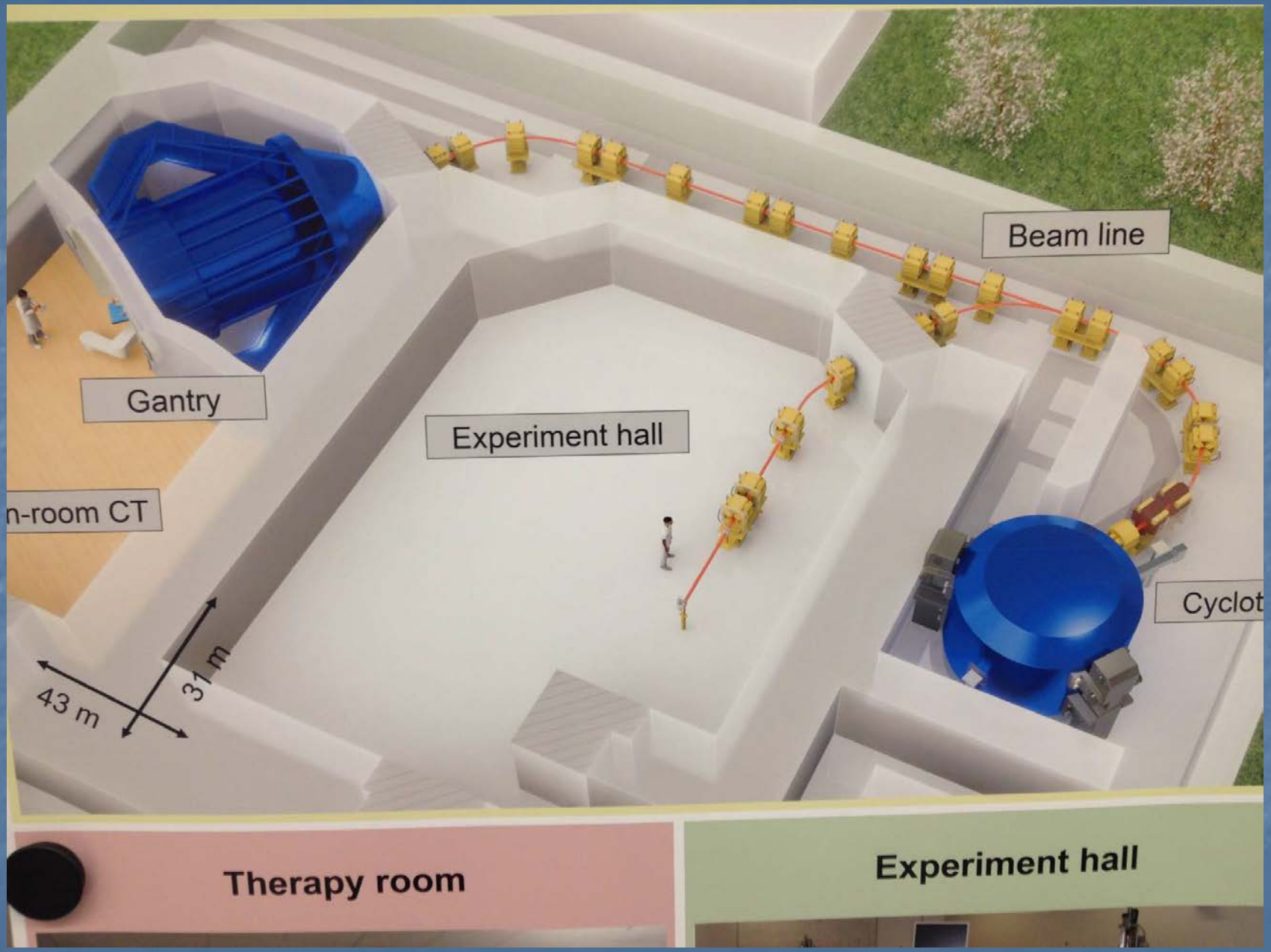


iba = 'ion beam applications'




iba
!! Let op / Warning !!
High Voltage
!!! 15000 Volt !!!
Cabinet is live !!





Overzicht Dresden (D)

Stralingshygiëne cyclotron

- Cyclotron in bunker
- Geen toegang indien cyclotron in bedrijf
- Rekening houden met ontstane radioactiviteit (nu en later)

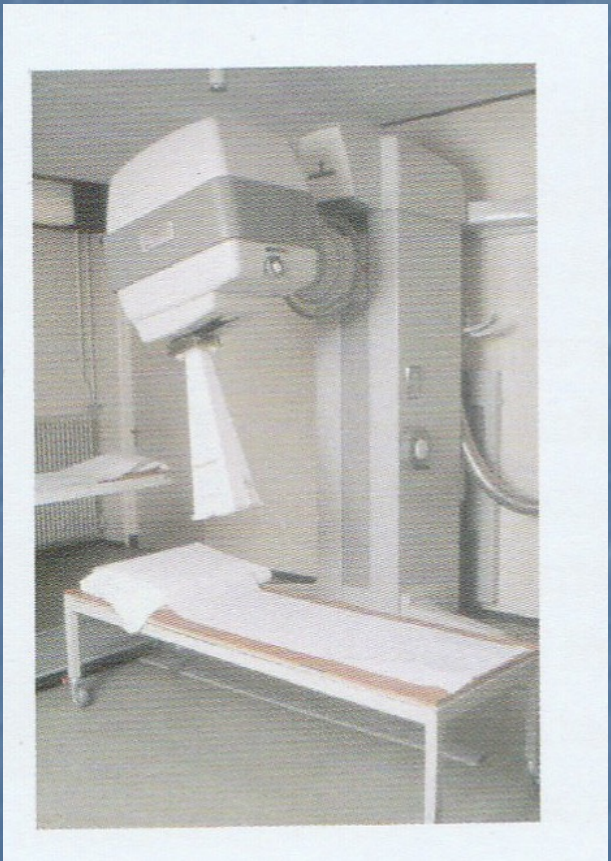


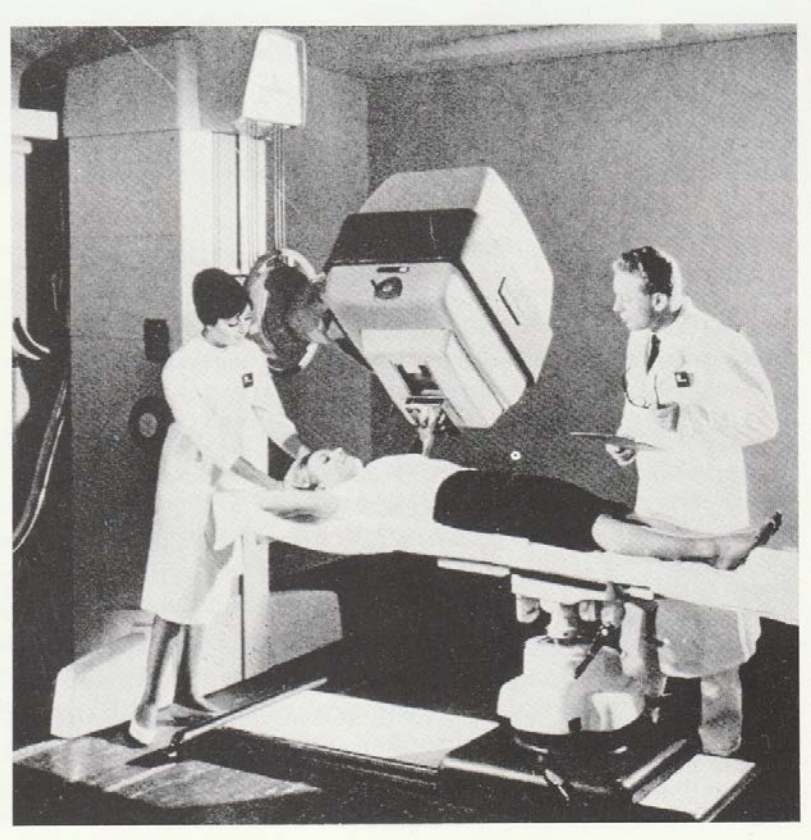
Protonenversneller in Dresden (D); CT-scanner voor positieverificatie patiënt

CT scanner in bestralingsruimte
(bij protonenversneller)



β-tron

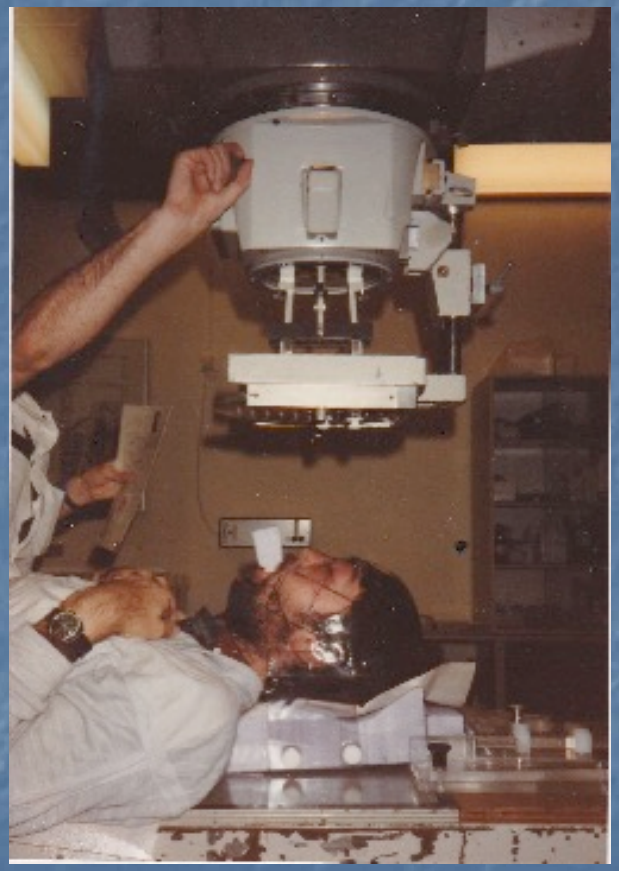




^{60}Co toestel



Bestralingsapparaat

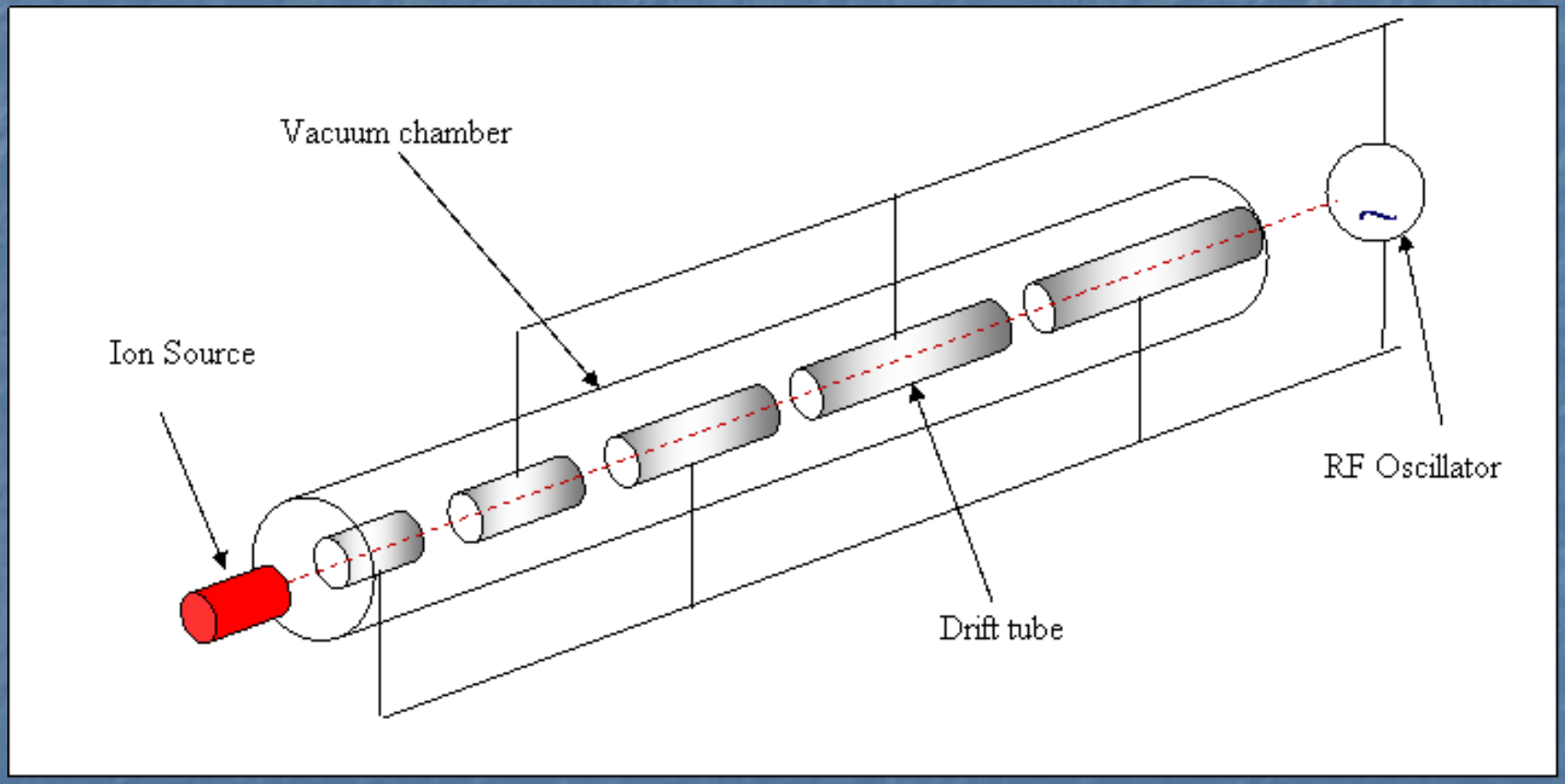


Bestraling van een patiënt

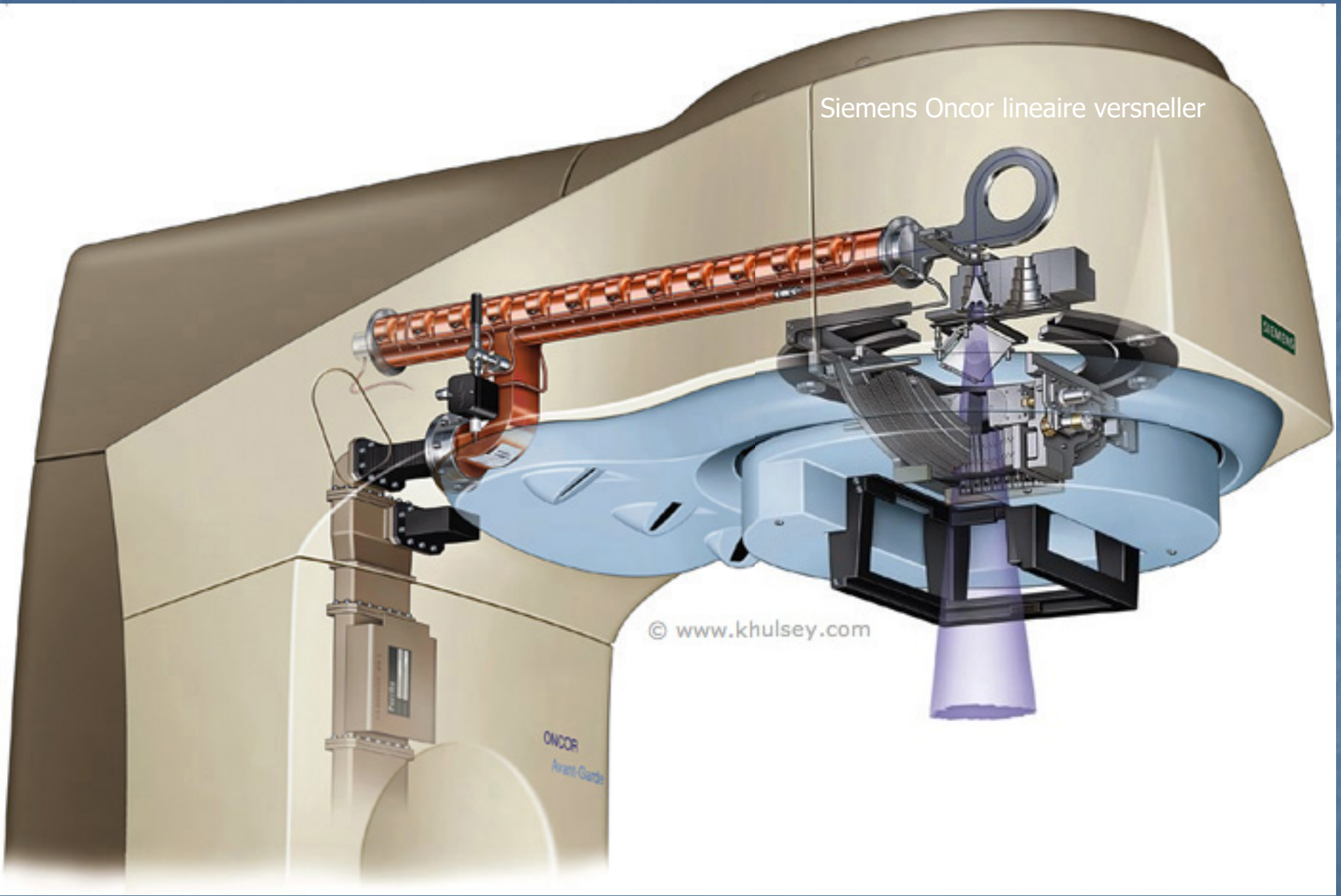
Lineaire versneller (Radiotherapie)



Lineaire versneller



'Ions' (elektronen) worden in een versnellerbuis 'geschoten' (potentiaalverschil 25 - 40 kV)

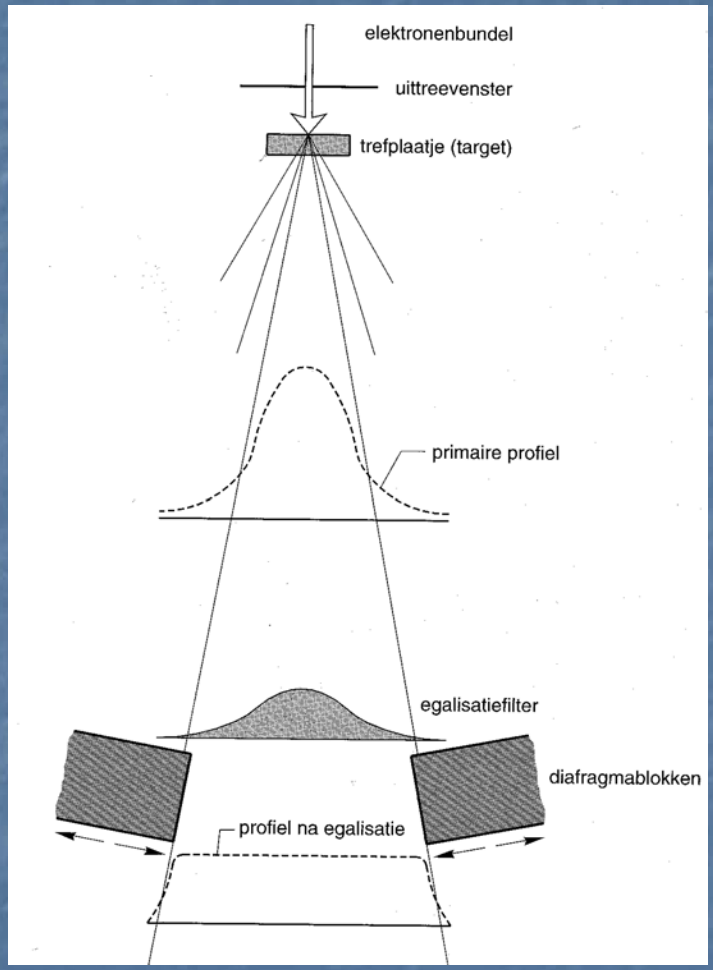


Belangrijk onderdeel van de versneller is het ‘Magnetron’: zorgt voor de af te geven pulsen en deze pulsen zorgen voor de juiste frequentie in de versnellerbuis.

Vorming van een MV- fotonenbundel

- Target / focus
- Egalisatiefilter
- Homogeen profiel

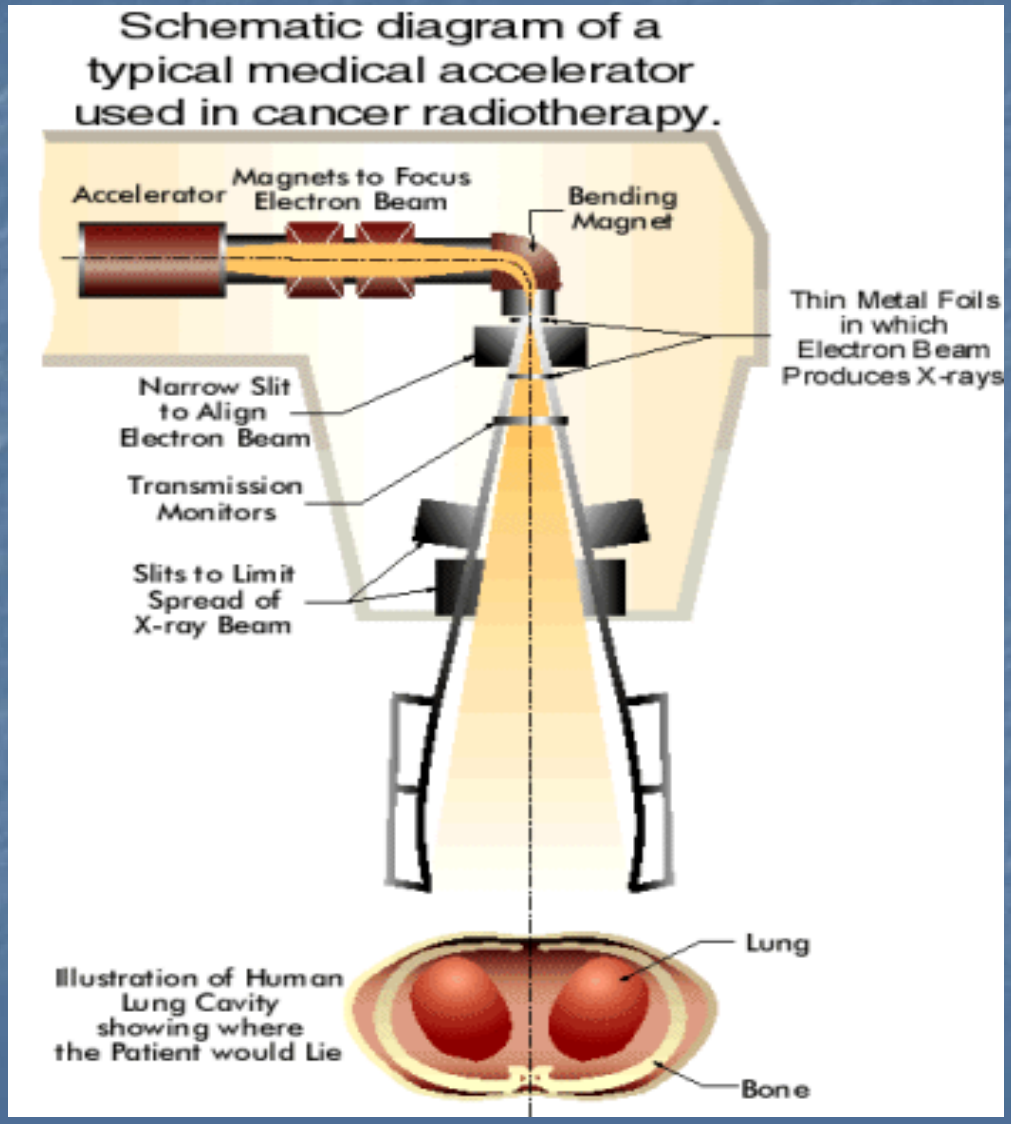
- Maximaal veld is:
  40 x 40 cm²



N.B. Tegenwoordig zijn er ook FFF toestellen met een 'Flatness-Free-Filter'

Lineaire versneller

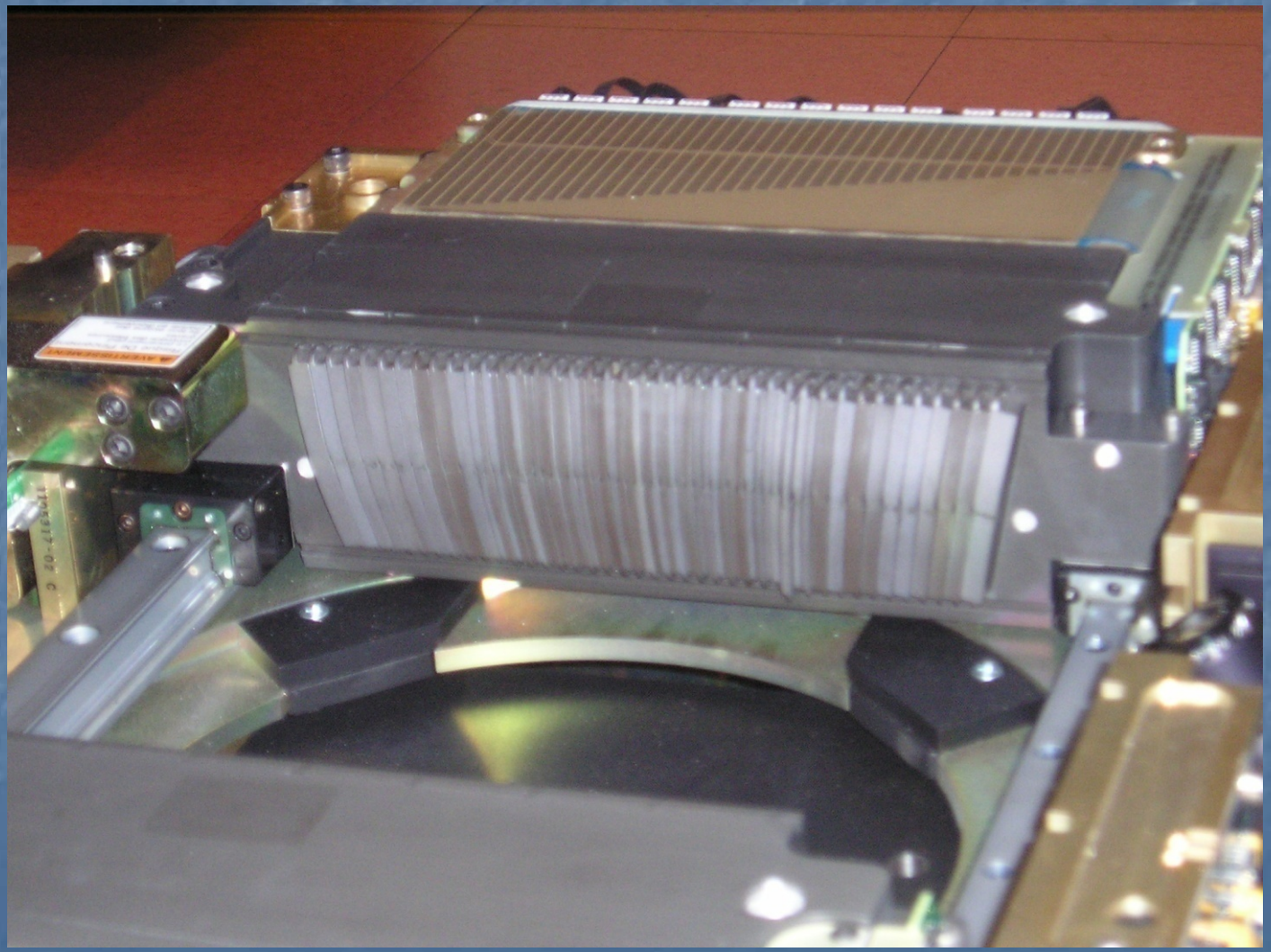
Linac



Lineac

N.B. In de huidige lineaire versnellers bevinden zich MLC's (in plaats van een 'blokdiafragma')

MLC: Multi Leaf Collimator





Coördinerend stralingsdeskundige

Verschillende doeleinden Linac

- Medisch gebruik: tussen 2 en 40 M(e)V

  Hogere energie (>15 MV) niet zinvol voor de praktijk van de radiotherapie

- Onderzoek/industrie:

  - Stanford University → 20 GeV
  - 600 MV versnellers voor versnellen van zware deeltjes (p) en opwekken van pi-mesonen

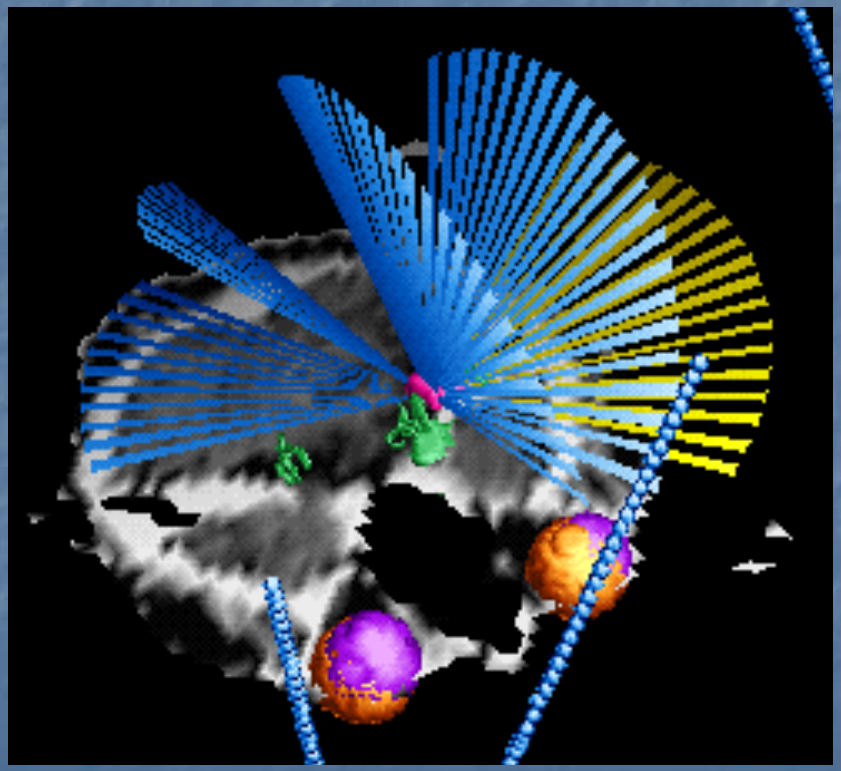
Stralingshygiëne Lin(e)ac

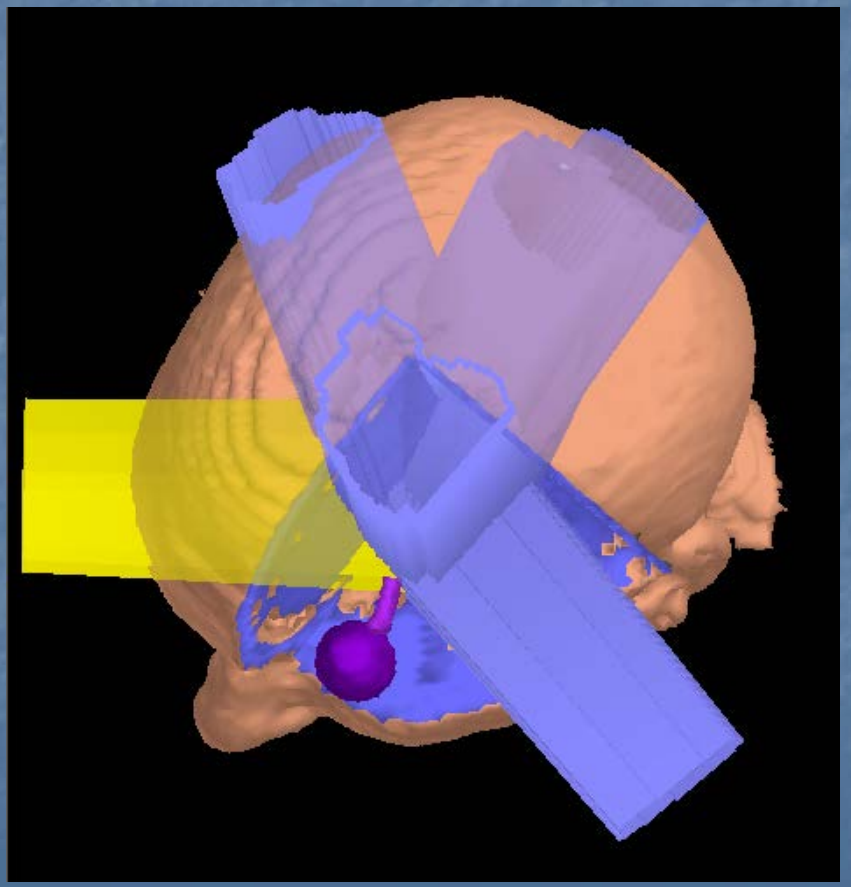
- Zeer hoge doses ‘harde’ röntgenstraling en elektronenstraling; extra afscherming nodig
- Bedacht zijn op activering van lucht, vorming van ^{15}O en ^{13}N mogelijk (kortlevende nucliden)
- Activering bestralingstafel mogelijk

Dosisbeperking (patiënt → gezond weefsel)

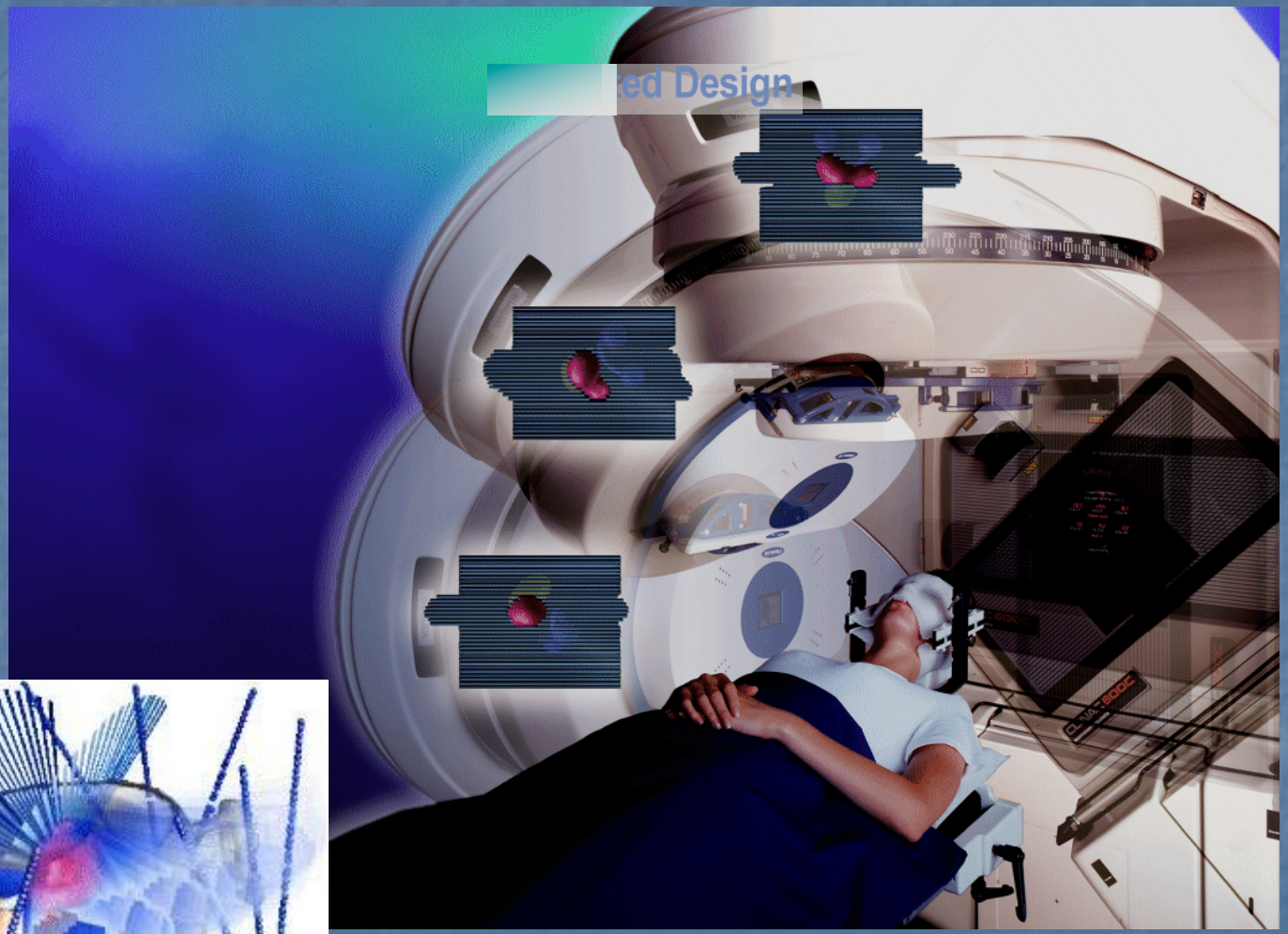
- Goede diafragmering/afbakening door MLC's/'leafs' van enkele mm!
- 'Slimme' geometrie, door bestraling uit meerdere richtingen
- Rotatiebestraling met bewegende MLC's
  'VMAT' en 'RapidArc'

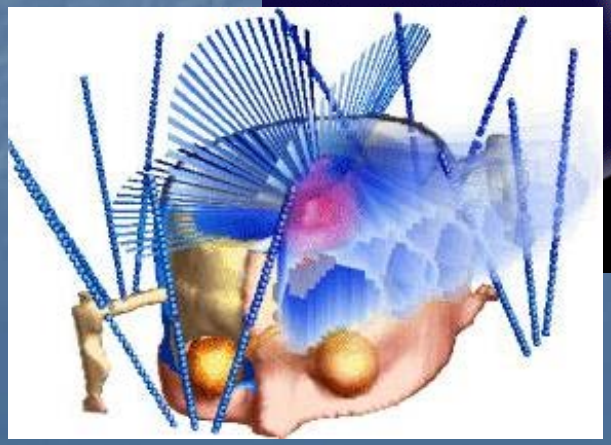
Multiple conformal intersecting beams





IMRT / Stereotaxie





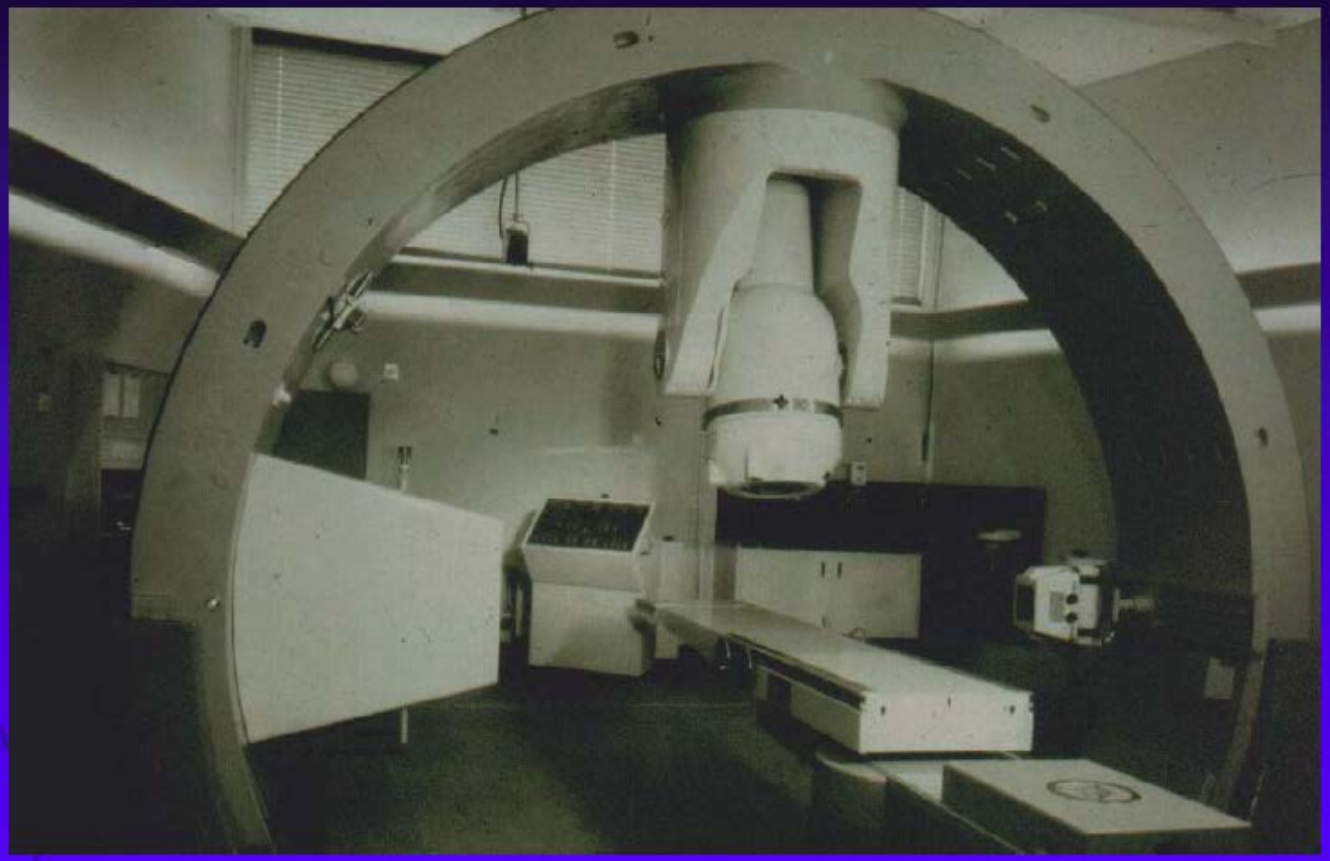
Inclusief positieverificatie

IGRT- systeem van Electa ('cone-beam')



Is altijd alles 'nieuw'?

kV image guidance: not a new idea !



First isocentric Co-60 machine in Netherlands at NKI (1960)

Wel nieuw: MRI linac

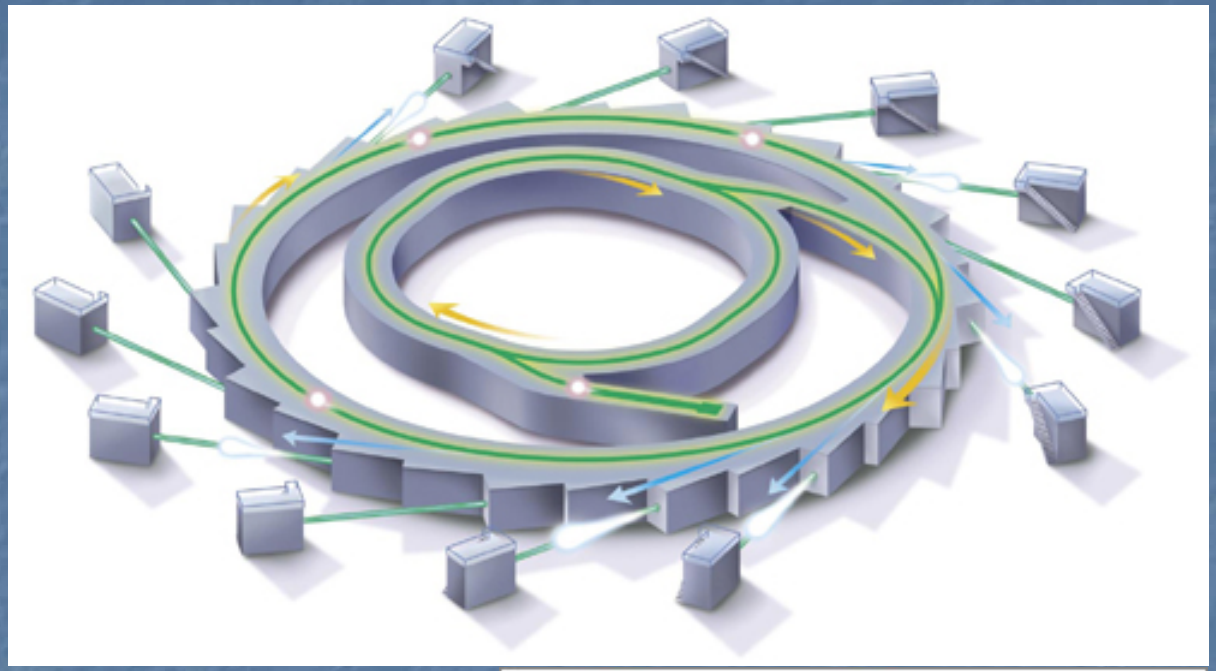


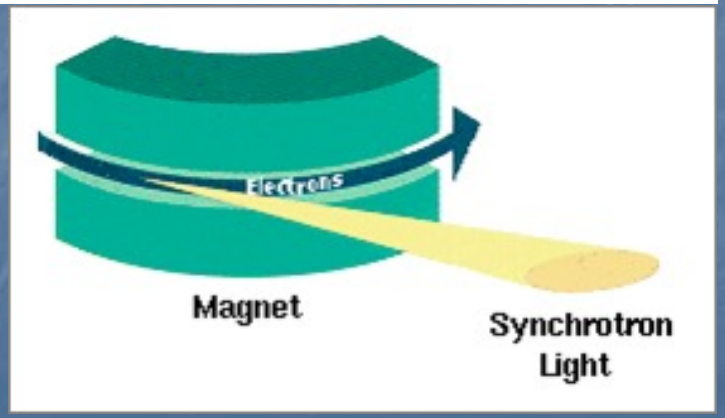
MRLinac (Elekta)



MRIdian – Co60

Synchrotron





Protonen(be)straling → synchrotron

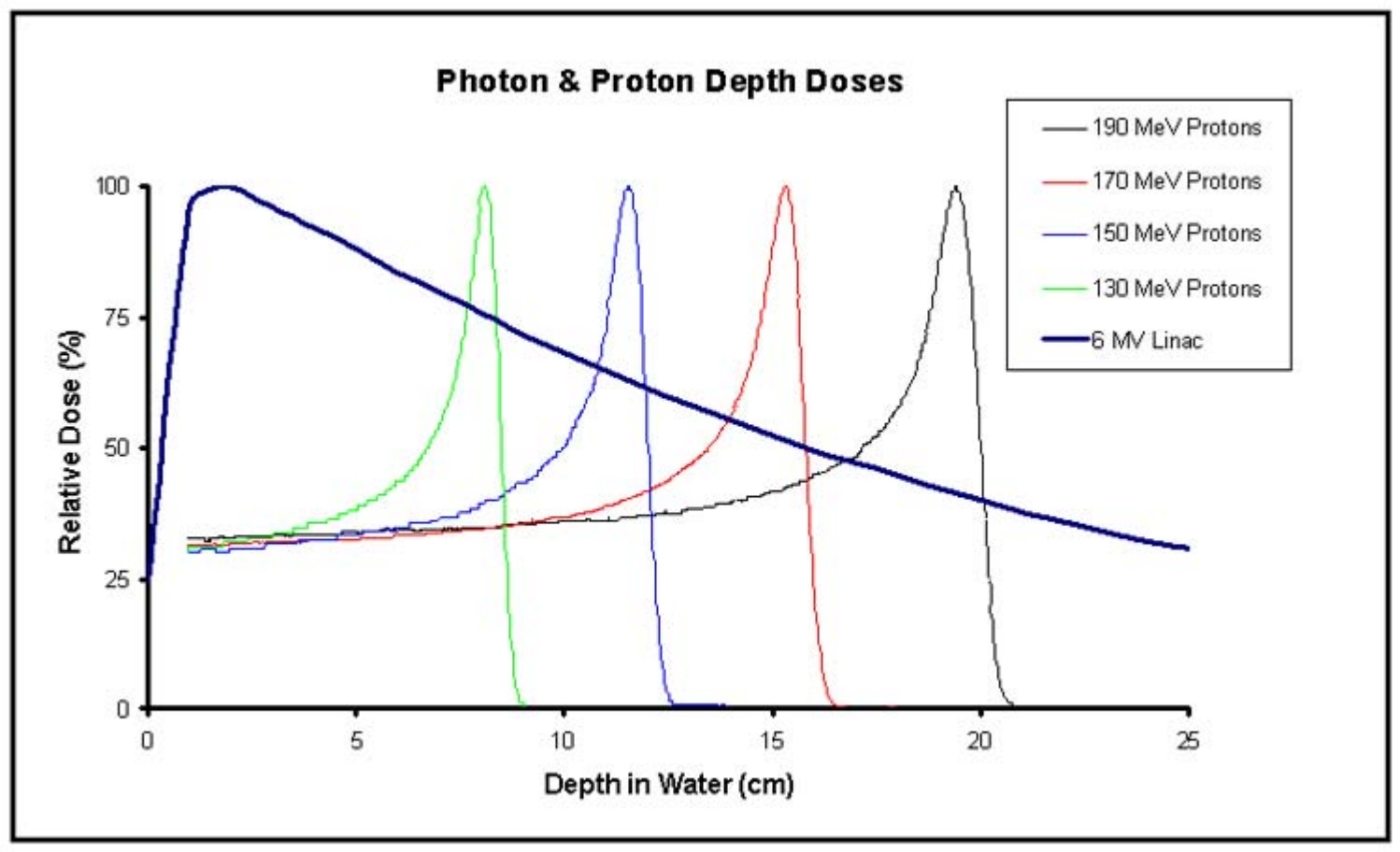
- Verbeterde vorm van het cyclotron
- 'Deeltjesversneller' met een (zeer) hoge E
- e^- energie tot 6 GeV
- (Röntgen- en materiaalonderzoek)

ESRF Grenoble



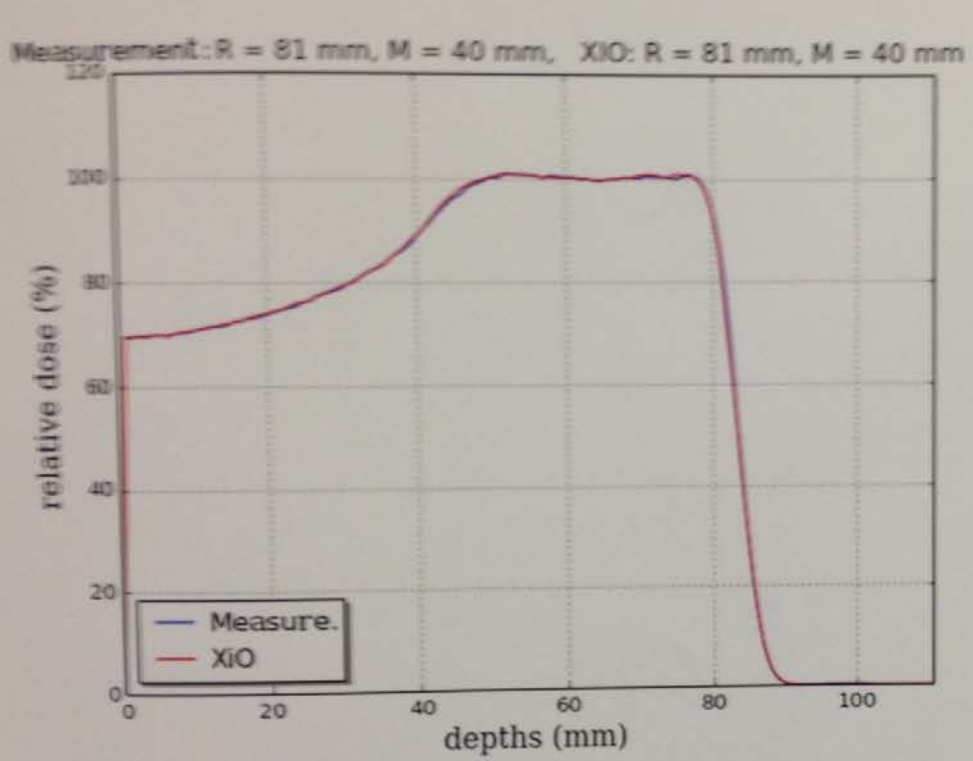
European Synchrotron Radiation Facility
- Onderzoeksfaciliteit → 22 partners ‘Unlocking the secrets of matter’ → budget miljoenen euro/jaar.
- Bij Parijs nog zo’n apparaat van 2,75 GeV en nog eentje in Genève (CERN)

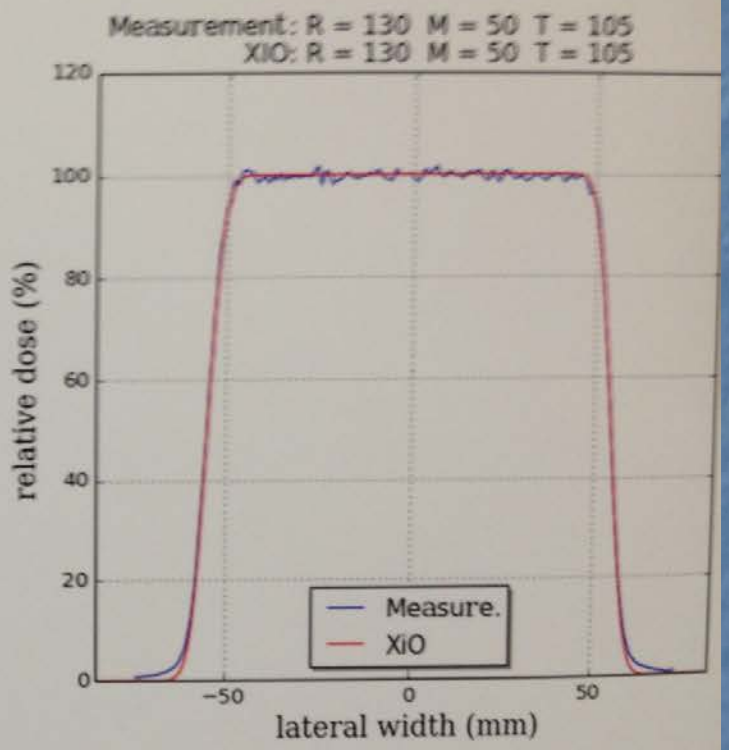
Protonentherapie versus röntgentherapie



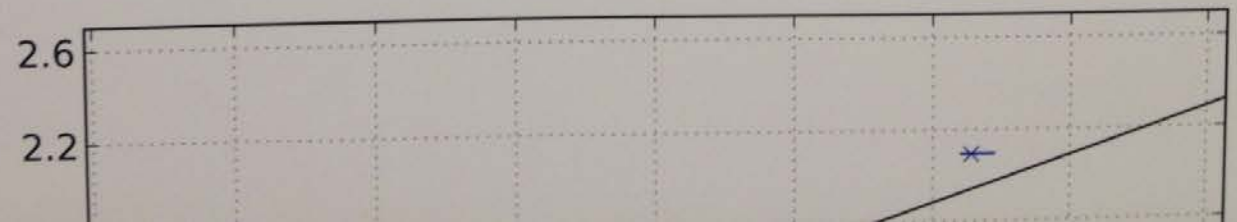
depth dose curves and lateral profiles



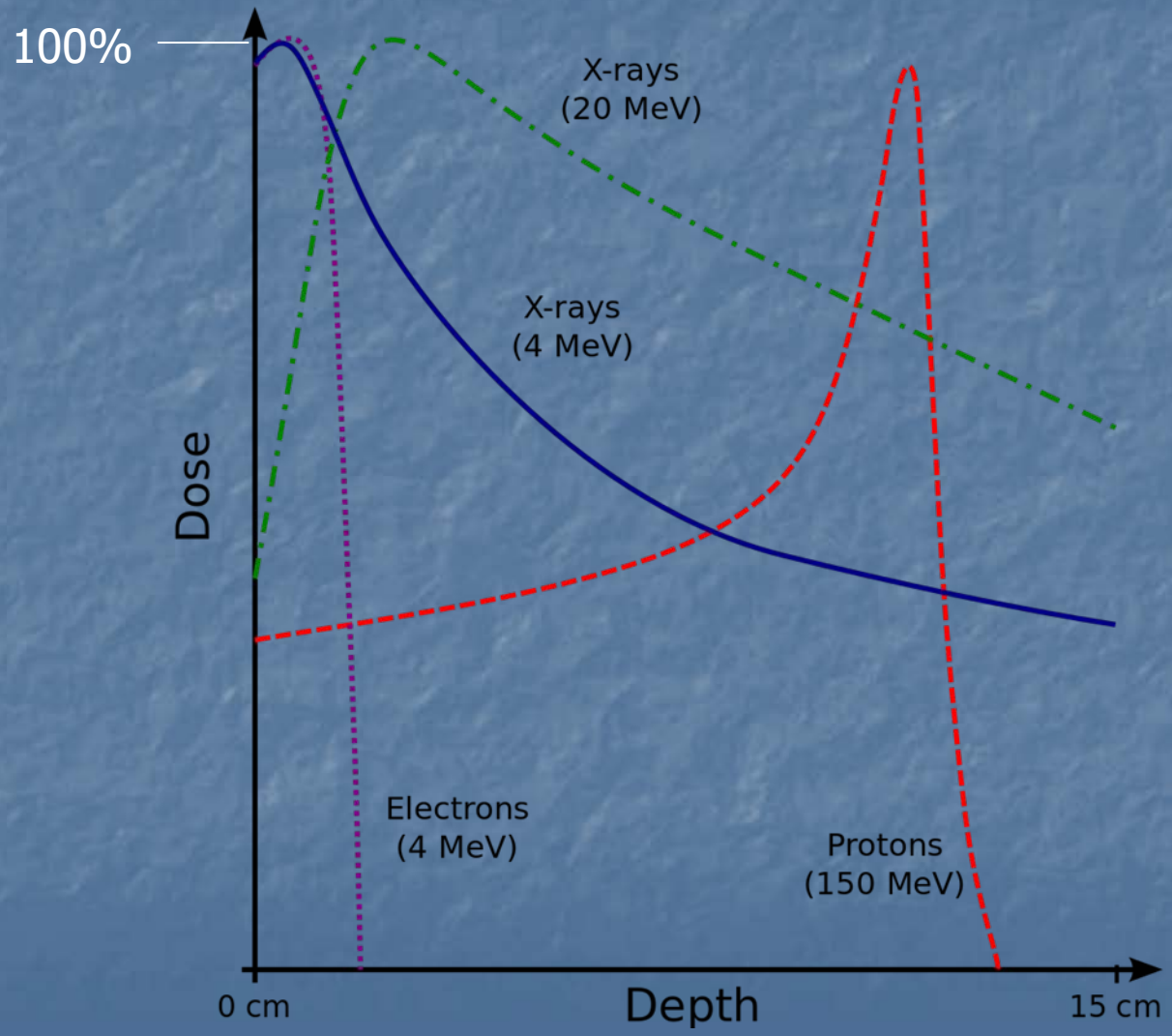




HU-WEPL calibration curve (master thesis)



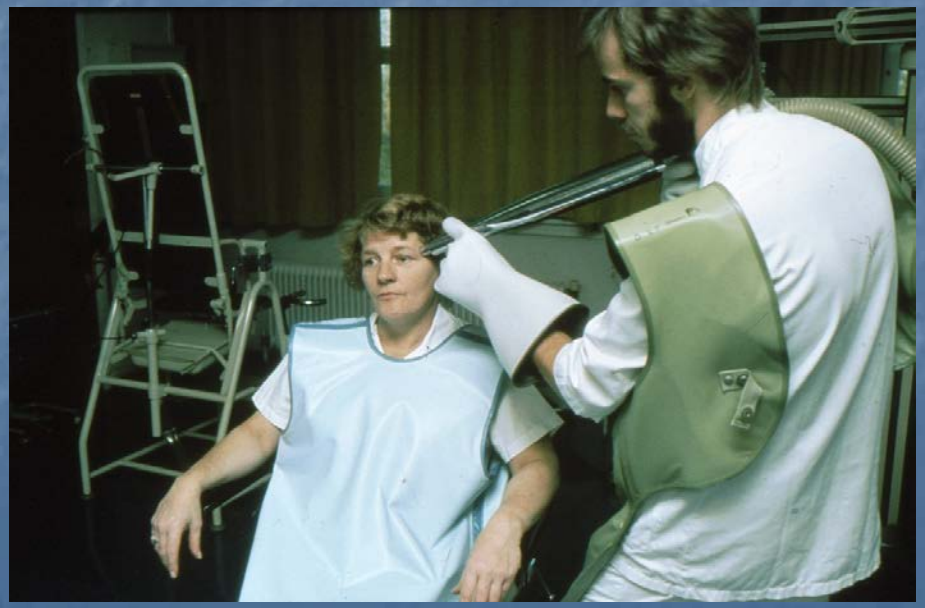
(P)DD curven 3 soorten straling



‘Contactapparaat’ (50-60 kV)



Behandeling



‘Esteya’: 69,5 kV



Orthovolt apparatuur







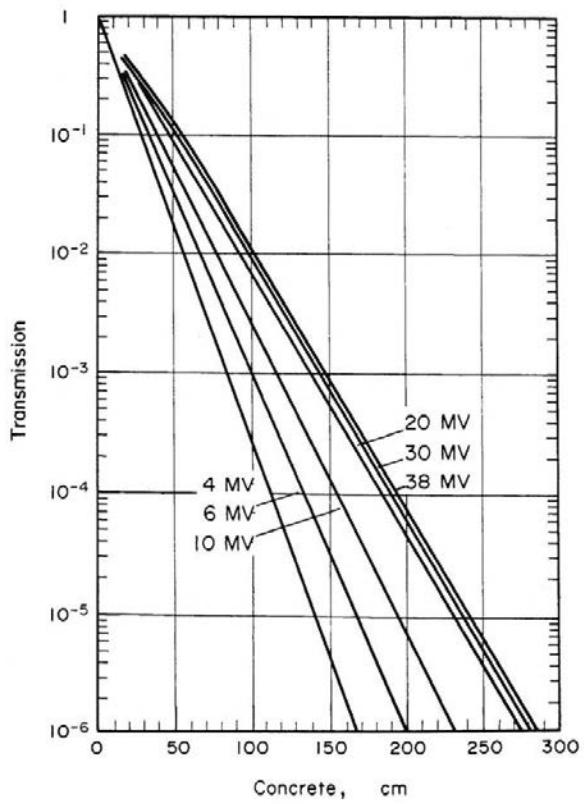
Vragen?

- Vraagstukken hoofdstuk 15
- N.B. Vraag 3 van hoofdstuk 15 staat op de volgende dia

Een beetje rekenen……! (vraag 3)

Een röntgengenerator staat in een ruimte die grenst aan de openbare weg. Zonder afschermende betonnen muur bedraagt de geabsorbeerde dosis op straat 1 Gy per week. De dichtheid van beton bedraagt ρ = 2,35 g/cm^3 en de massaverzwakkingscoëfficient μ/ρ = 0,041 cm^{2}g^{-1}
De buildup-factor $B_{up} = 10$.
Vraag: Wat moet de minimaal benodigde muurdikte aan de kant van de straat zijn?

Transmissie-grafiek van MV-fotonenbundels in beton



Figuur 40. Transmissie van brede bundels röntgenstraling door beton.

Tweede deel (dia 48-90)

‘Synchrotron’



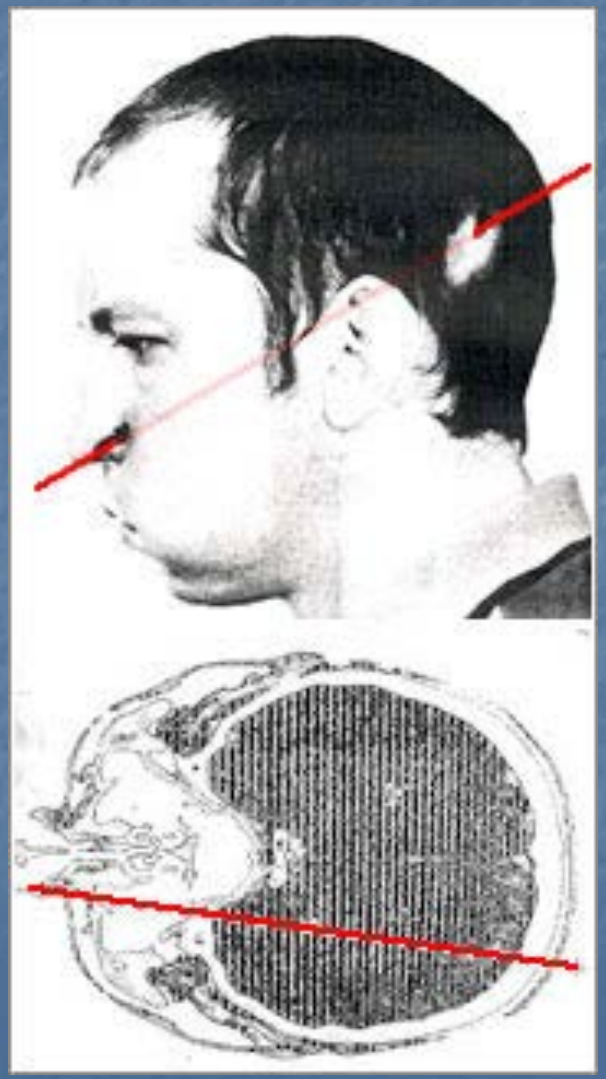
ONGELUKJE met een synchrotron

- Wat gebeurt er als je korte tijd (<5 sec) met een lichaamsdeel in de baan van een ‘deeltjesversneller’ komt?
- De, in dit geval, versnelde protonen hebben een energie van ongeveer 100 MeV

‘WEINIG GOEDS’

- Wat precies zou gebeuren is onzeker, maar een ‘gat’ in je lijf/hoofd is zeer waarschijnlijk;
- Bugorski → protonenstraal van synchrotron versneller, waarvan de energie slechts 1% van CERN-versneller (1978);
- ‘flits die helderder was dan 1000 zonnen’;
- Geen pijn, maar de linker kant van het gezicht zwol gigantisch op;
- Ondanks het ‘gat’ in zijn hoofd werd het intellectuele vermogen niet aangetast.

…… en toen



- nadelen vervelend, maar niet levensbedreigend;
- gehoor kwijt aan het linker oor;
- in de 2 jaar na het ongeluk raakte de linker helft van het gezicht verlamd;
- epileptische aanvallen;
- afname concentratievermogen, maar nog wel gepromoveerd en verder werken als onderzoeker;
- bizar: linkerhelft gezicht veroudert niet, de rechterkant doet dat wel.

Tip:

- BLIJF UIT DE BUURT VAN HET PAD VAN EEN DEELTJESVERSNELLER!

Wilhelm Röntgen (1845-1923)

ontdekking X-stralen 1895 Nobelprijs 1901





eerste medische toepassing:
beschreven in The Lancet van 23 jan 1896

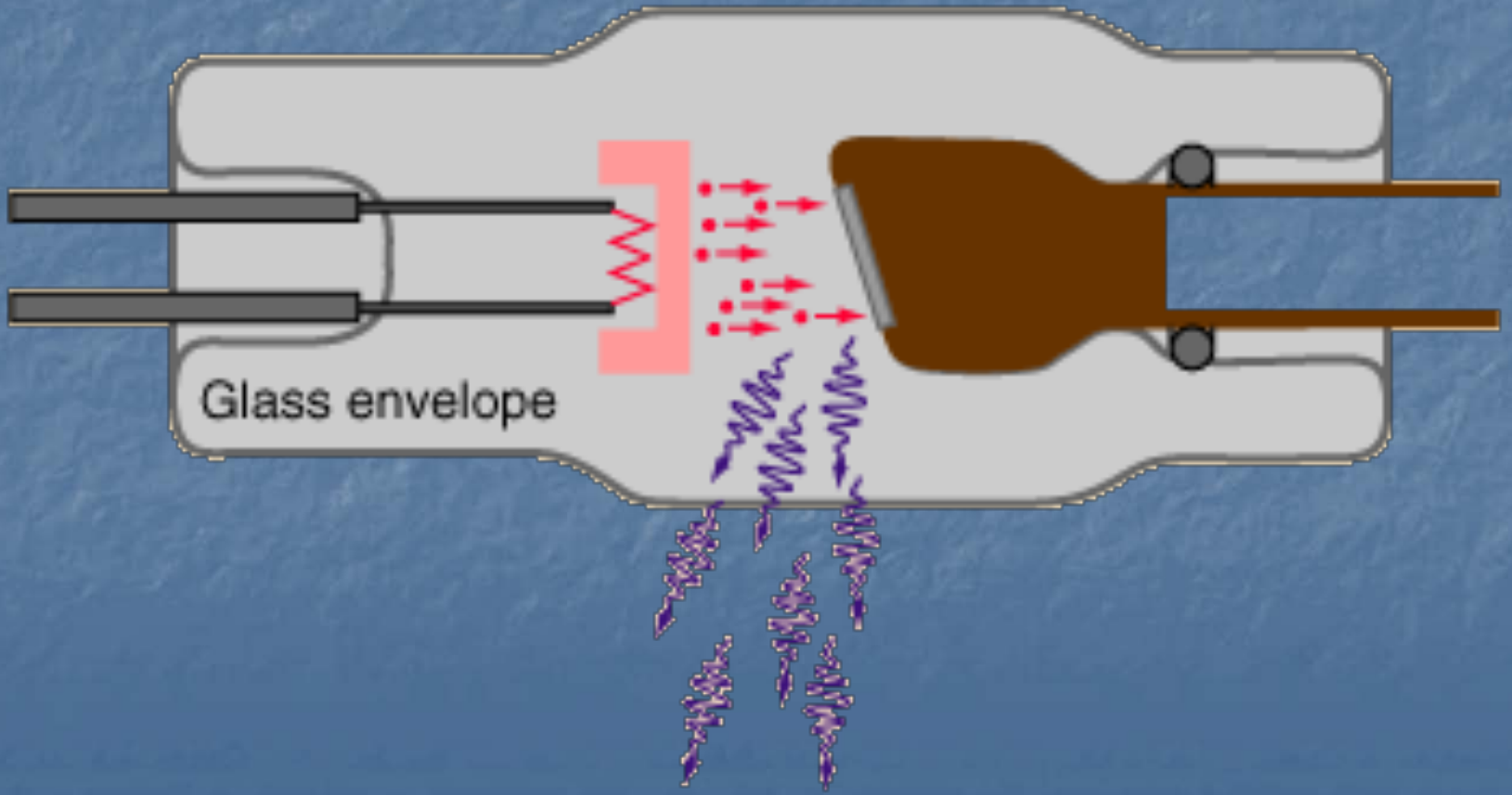
Zo zien röntgenfoto's er tegenwoordig uit!



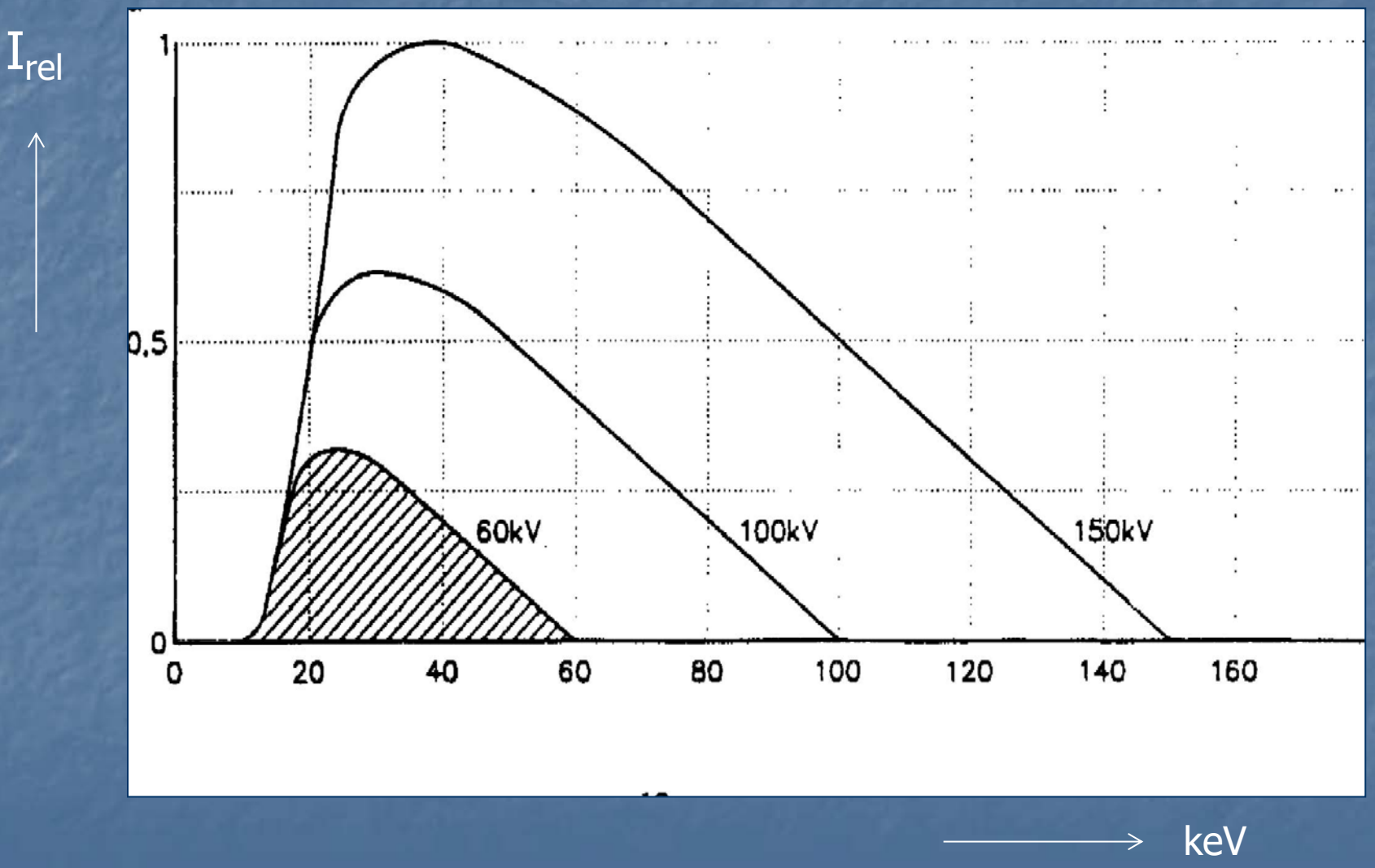


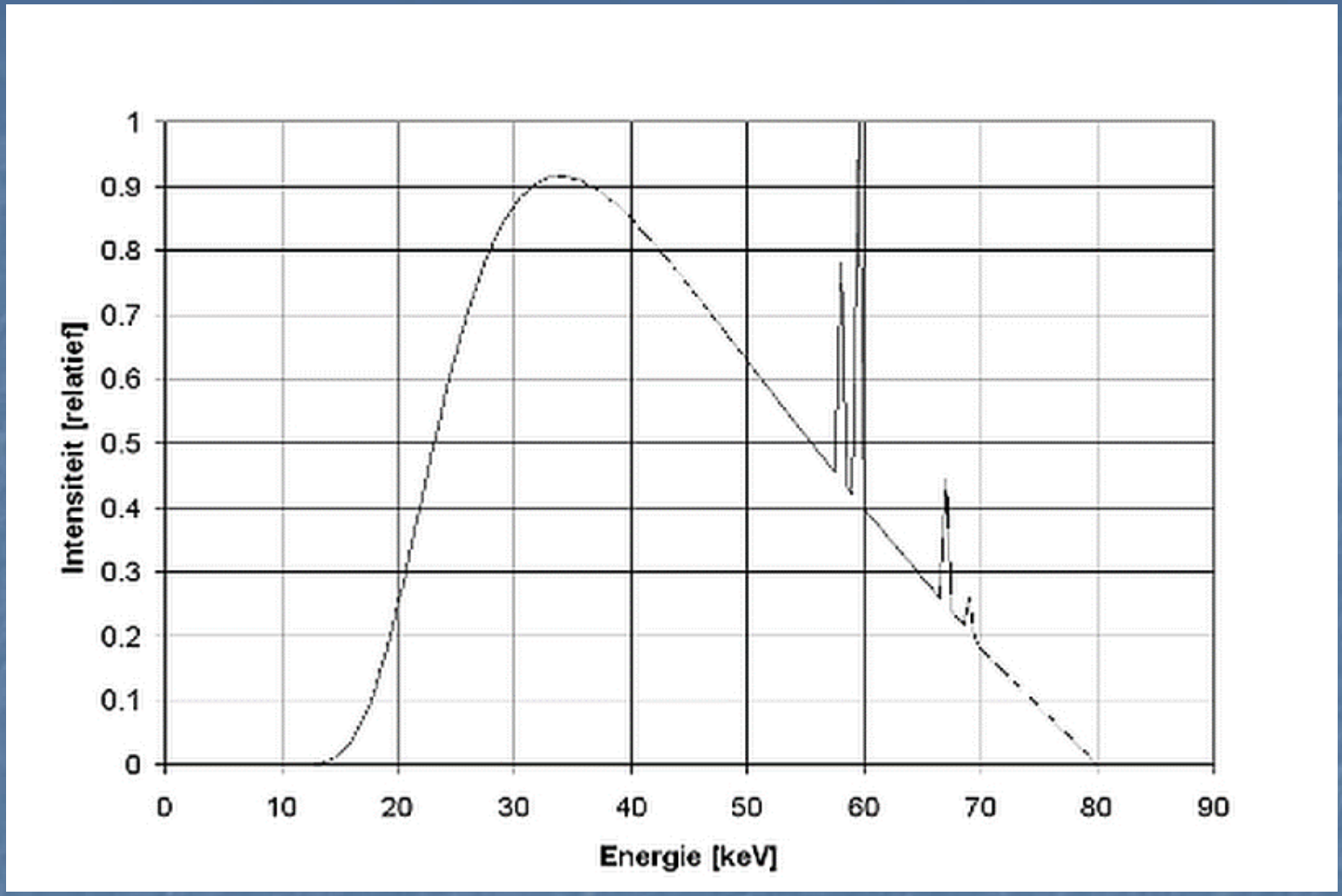
Coördinerend stralingsdeskundige

Röntgenbuis



Intensiteitsverdeling van röntgenstraling uit een röntgenbuis, opgewekt met buisspanningen van respectievelijk 60, 100 en 150 kV.

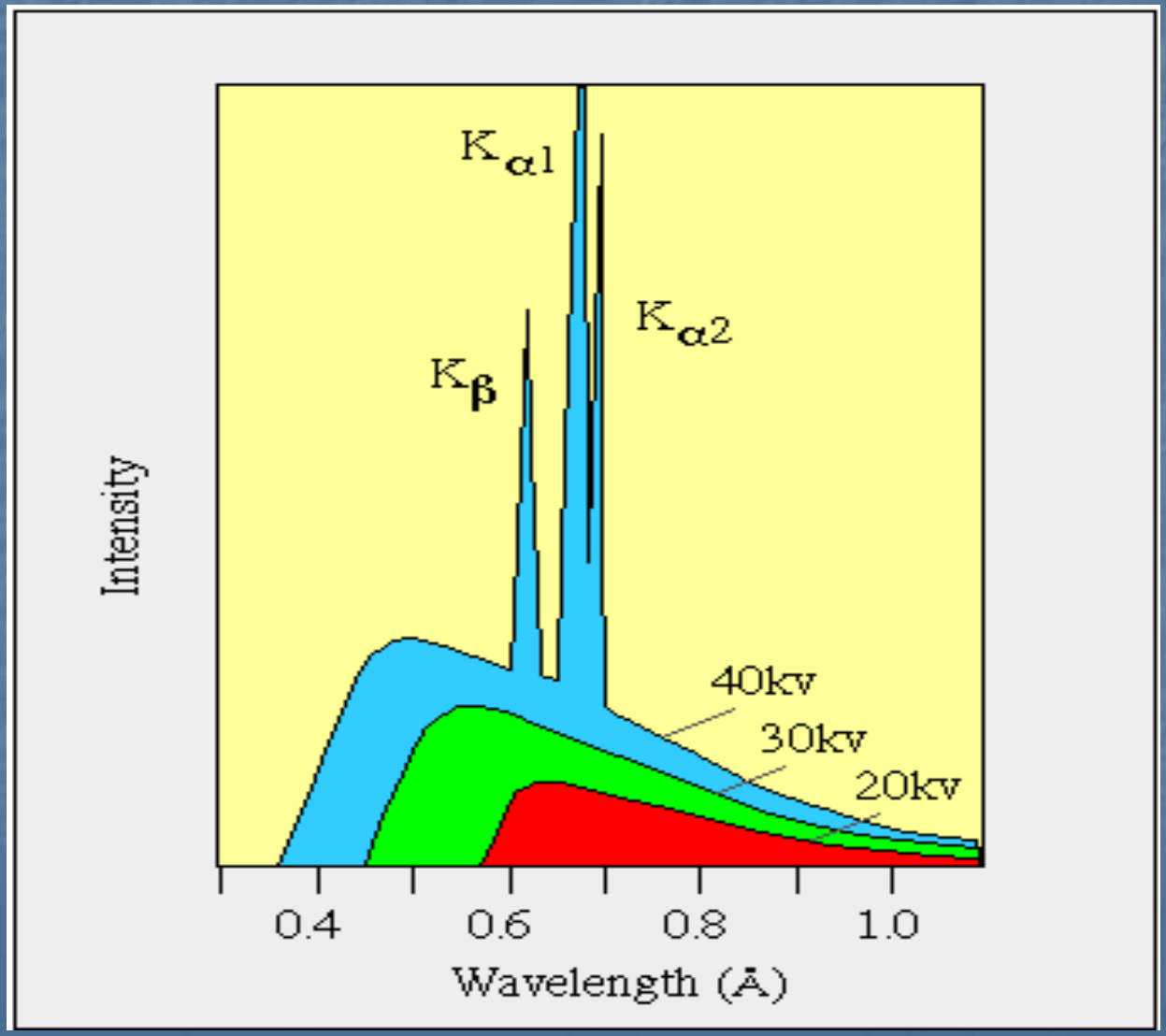




Schematische voorstelling van het spectrum (remstraling en karakteristieke straling) van een röntgenbuis met een wolfraam anode bij een buisspanning van 80 keV.

Bron: *Dosimetrie in de Radiologie (NCS-rapport 17, maart 2007*

Vergelijkbare spectrale verdeling met ander anodemateriaal?

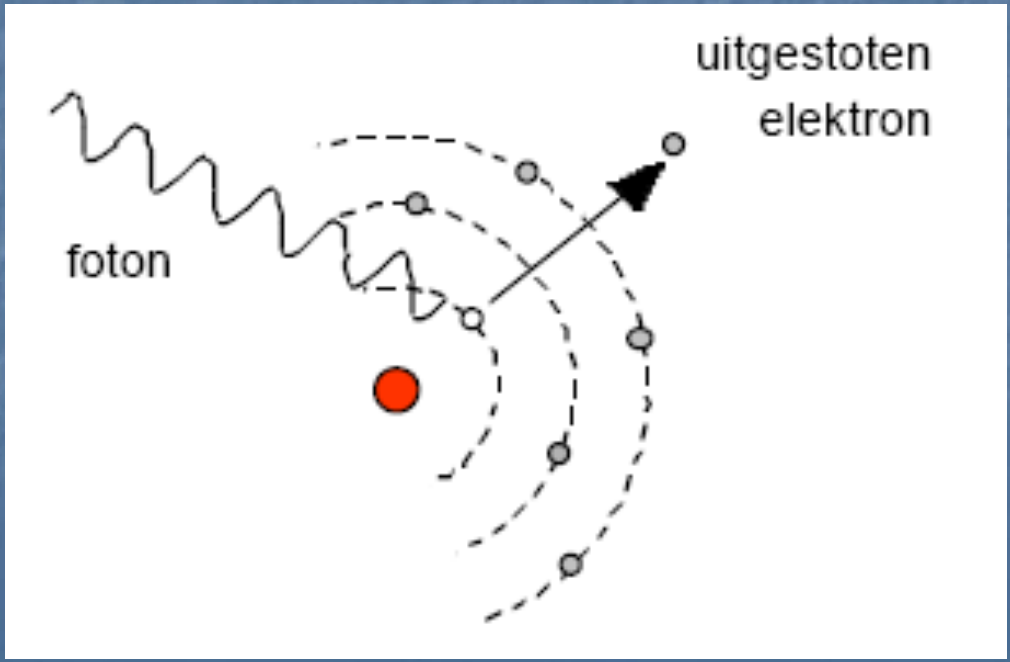


Medische toepassingen

- Beeldvormende technieken
  - Radiografie (radiologie)
  - Fluoroscopie (doorlichting)
  - Computertomografie (CT)
- Radiotherapie (met kV-straling)

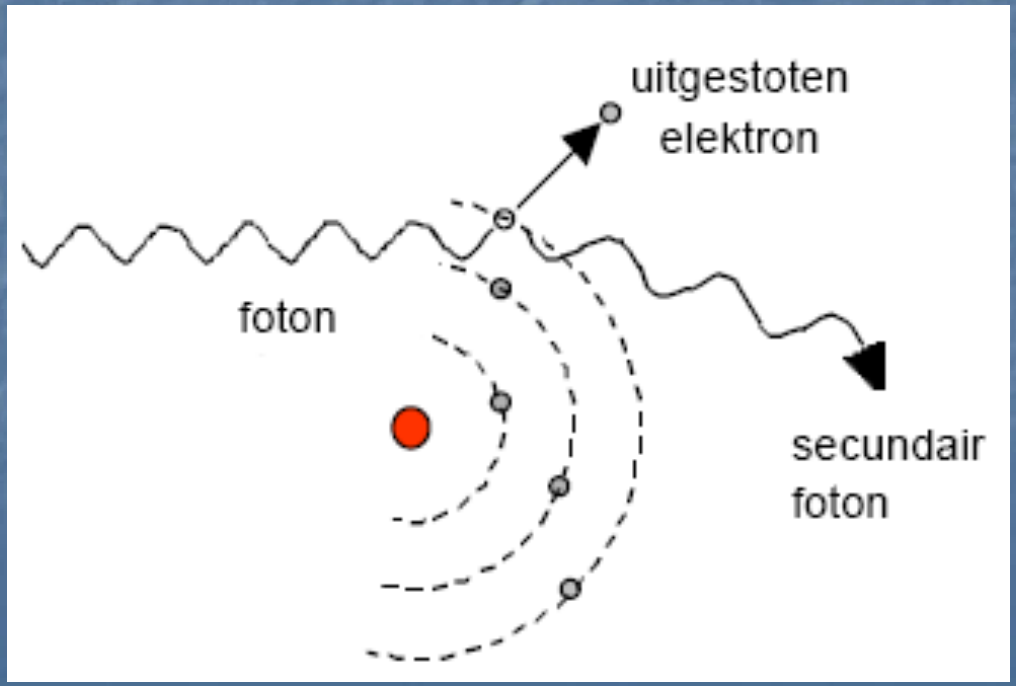
Beeldvorming

- Foto-elektrisch effect ('foto-effect')
  - overheerst bij zachte straling (.....)
  - sterk afhankelijk van Z (.....)



Beeldvorming

- Compton-effect
  - weinig afhankelijk van Z
  - beeldcontrast bepaald door dichtheid weefsel



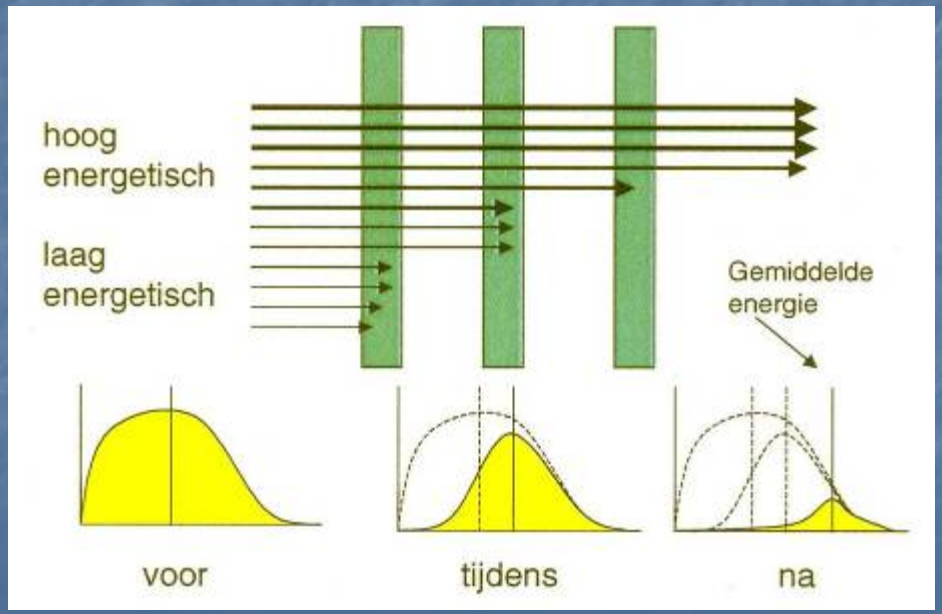
contrast ← versus→ 'hardheid'

laag:	hoog:
kV < 60 kV	kV > 100 kV
goed contrast	lager contrast
oppervlakkig	dieper
hogere dosis	lagere dosis

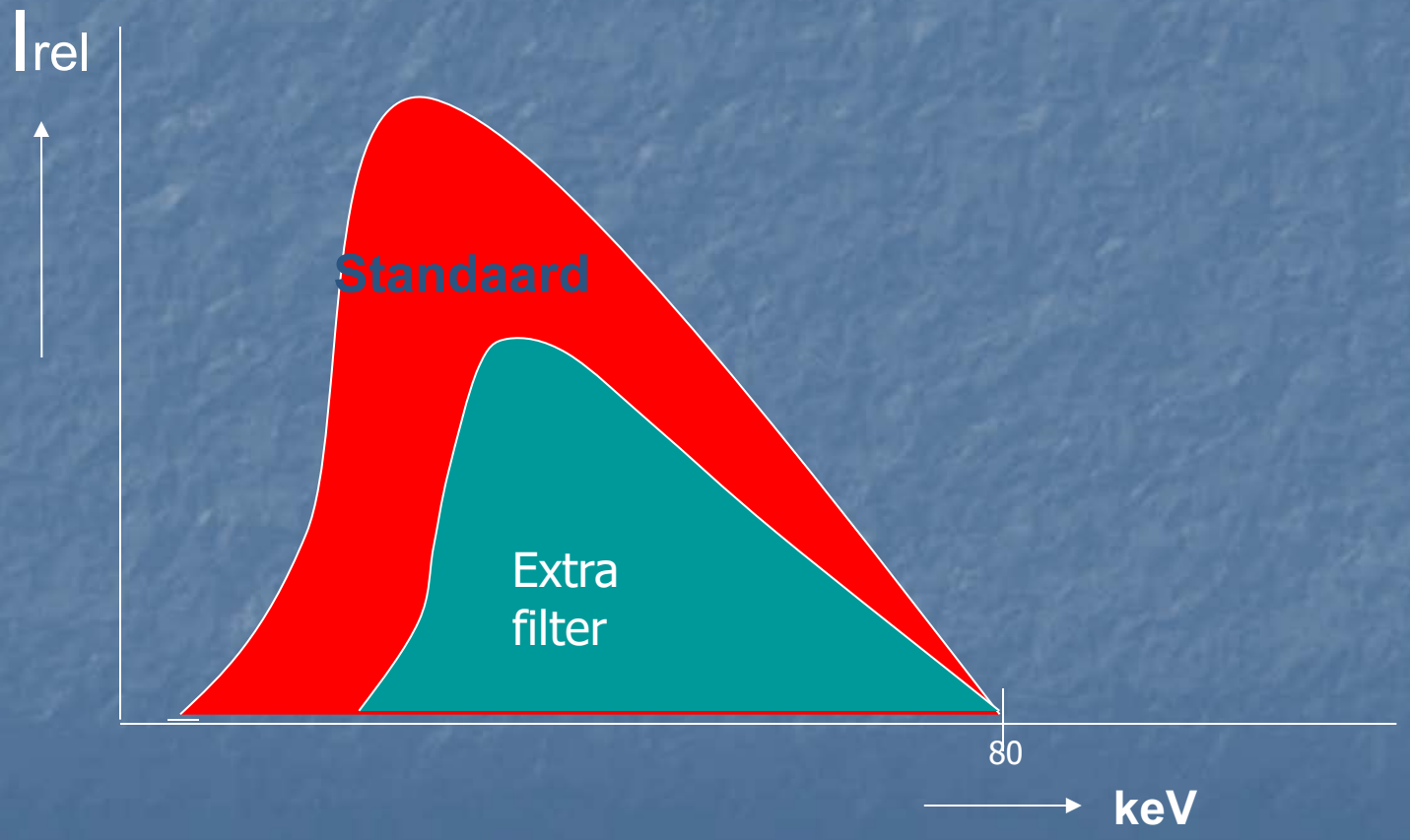
N.B. zeer zachte straling – geen beeldvorming
wel dosis voor de patiënt → dus 'filteren'

Filtering en halveringsdikte

- Filtering met ca. 2 mm Al om bij medische toepassingen de zachte component van de remstraling te verwijderen;
- Bij diffractie wordt gefilterd om juist de karateristieke straling te behouden;
- Halveringsdikte (HVD) is een maat voor de homogeniteit van de straling.



Invloed van de filtrering van een röntgenbundel op de *kwantiteit* en de *kwaliteit* van de straling



Röntgendoorlichting bij hartkatheterisatie

Let op de positie van röntgenbuis ten opzichte van de beeldversterker i.v.m. de verstrooiing(shoek) vanuit de patiënt!

Coördinerend stralingsdeskundige



Computertomograaaf (CT)

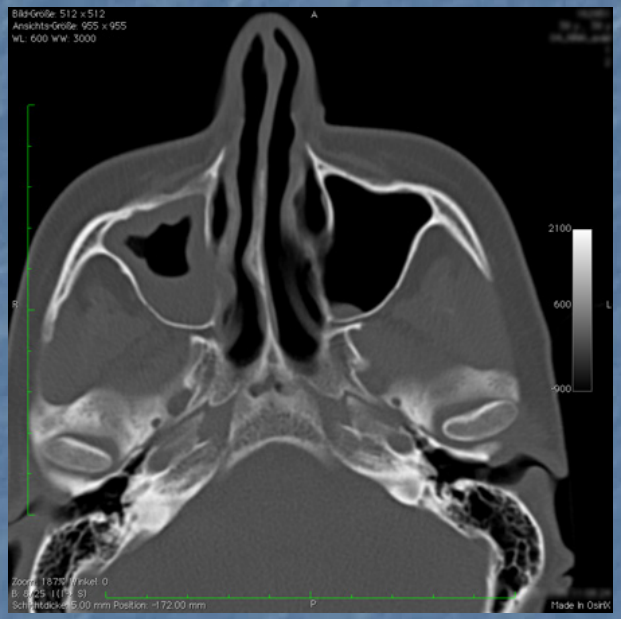


Bron: wikipedia

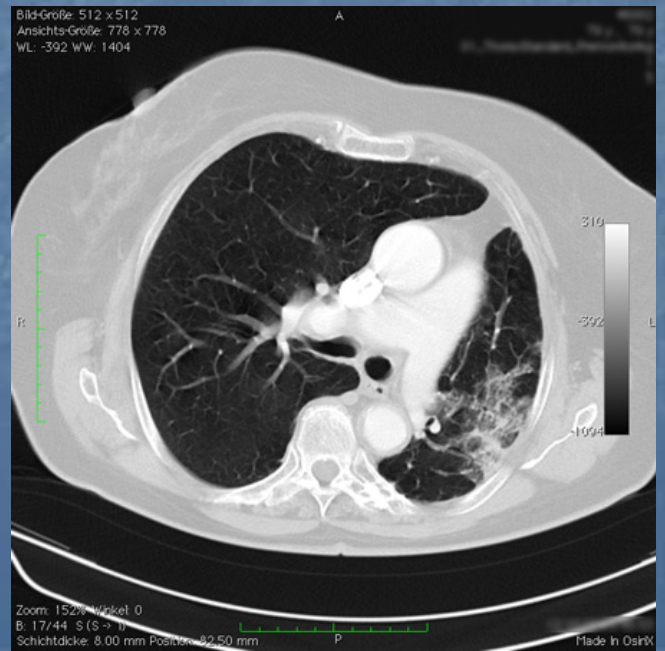
Dit apparaat dus……



(Gereconstrueerde) beelden CT







www.radiologie-ca.de/nl

Wat leveren deze onderzoeken aan stralingsbelasting voor de patiënt?

- ‘gewone’ röntgenonderzoeken
- onderzoeken onder doorlichting
- onderzoeken met een CT

Gemiddelde effectieve dosis (E) per verrichting

Tandheelkunde ('solo')	3 à 4 µSv
Alle radiografie (exclusief CT)	0,54 mSv
- X-thorax	0,04 mSv
- Doorlichting/contrast	3,6 mSv
CT	5,9 mSv (2011)
- hoofd/schedel	1,2 mSv
- wervelkolom	3,1 mSv
- thorax	5,5 mSv
- abdomen	11 mSv
- bekken	7,4 mSv

Ter vergelijking (vliegen op een hoogte van 10 km):

Schiphol – Milaan 4 µSv
Schiphol – Atlanta 40 µSv

Bron RIVM

Dosisbeperking voor de patiënt

- mAs getal → stroom (mA) en tijd (s) beperken
- Buisspanning ↑ (hierbij gaat de mAs-waarde omlaag)
- Filtreren (optimum zoeken)

- SID (Source Image Distance) afstand zo kort mogelijk (O-f afstand)
- Veldgrootte → diafragmeren
- 'Dunne' patiënten ontvangen minder straling…..
- Compressie
- Loodafdekking gebruiken (indien mogelijk)

- Beeldvormer: beeldversterker, 'automaat' en dosistemporegeling gebruiken

- 'Meten is weten'

Dosisbeperking voor medewerkers

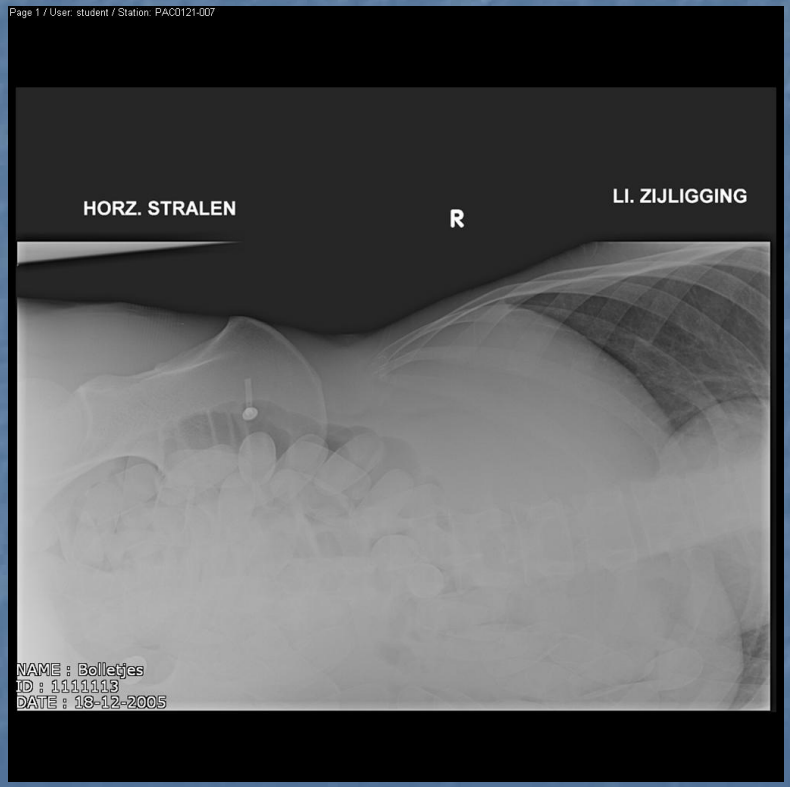
- Tijd (patiënt zo kort mogelijk doorlichten)
- Afstand (zo groot mogelijke afstand tot de stralingsbron aanhouden)
- Afscherming (bouwkundige voorzieningen; loodschort/loodschermen/..... gebruiken)

Medische rechtvaardiging

- Diagnostisch of therapeutisch voordeel moet opwegen tegen mogelijke schade aan de gezondheid van de patiënt
- Overweging door zowel verwijzend arts als de behandelend arts
- Niet altijd puur medische blootstelling:
  - ouder die kind vasthoudt
  - 'bolletjesslikkers' bijv. op luchthavens (Schiphol)
  - persoonscontrole luchtvaart (X-Ray 'backscattertechniek')
- Alternatief zonder ioniserende straling verdient de voorkeur; hierbij wordt met mm golven gewerkt

‘Bolletjesslikker’



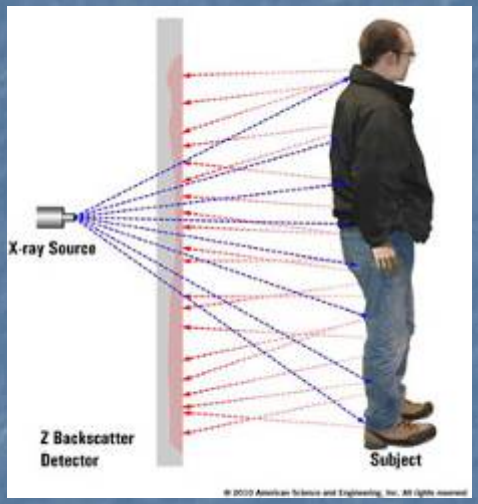


Coördinerend stralingsdeskundige

X-ray backscatter



Fabrikanten spaarzaam met informatie:
100 – 160 kV niet erg ‘zacht’



Opgegeven dosis:
varieert van 0,1 - 2 µSv

← ‘zacht’ ‘hard’ →



Kerma*

Afhankelijk van:

- Hoogspanning (het aantal kV)
- Buisstroom (het aantal mA)
- Anodemateriaal (atoomnummer Z)
- Filtrering (meer filteren geeft een gemiddeld 'hardere' stralenbundel)

* Kerma → 'Kinetic Energy Released in Material'

Kerma (K) in lucht

$$K = \frac{kIt}{r^2}$$

K in mGy
k in $mGy.mA^{-1}.min^{-1}$ (of $mGy.mA^{-1}.s^{-1}$)
I in mA (buisstroom)
t in min (of seconden)
r in meters (afstand tot de focus)

Constante voor röntgentoestel

Afhankelijk van:

- 'Workload' in mA.min per tijdseenheid (W)
- 'Use factor', deel van de tijd dat bundel in bedrijf is (U)
- 'Occupation time' fractie van verblijfstijd van personen (O)
- Transmissie (T) van de eventueel aanwezige afscherming

- Maximaal toegelaten kerma per tijdseenheid (K_m)
- Afstand in meters (r)

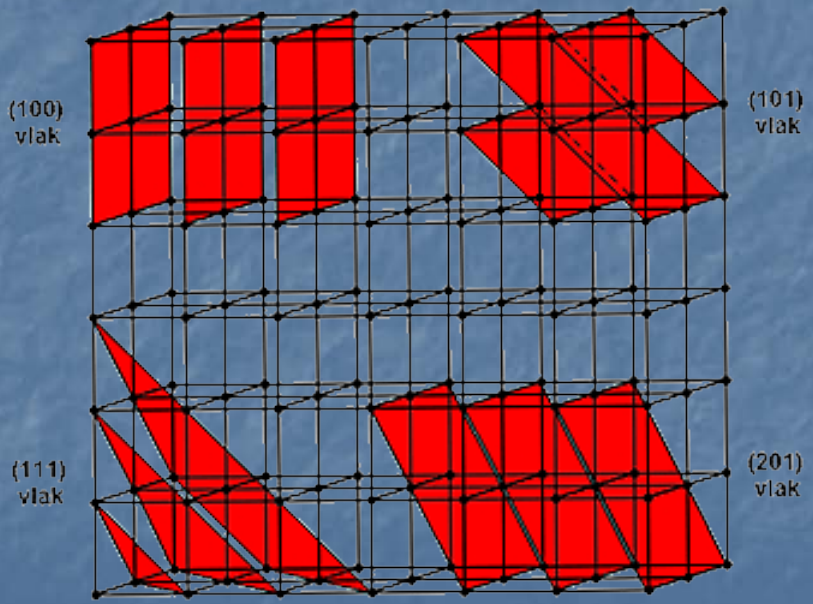
Toepassing bij röntgenkamers/-toestellen

(k = ontvangen kerma in de directe stralenbundel)

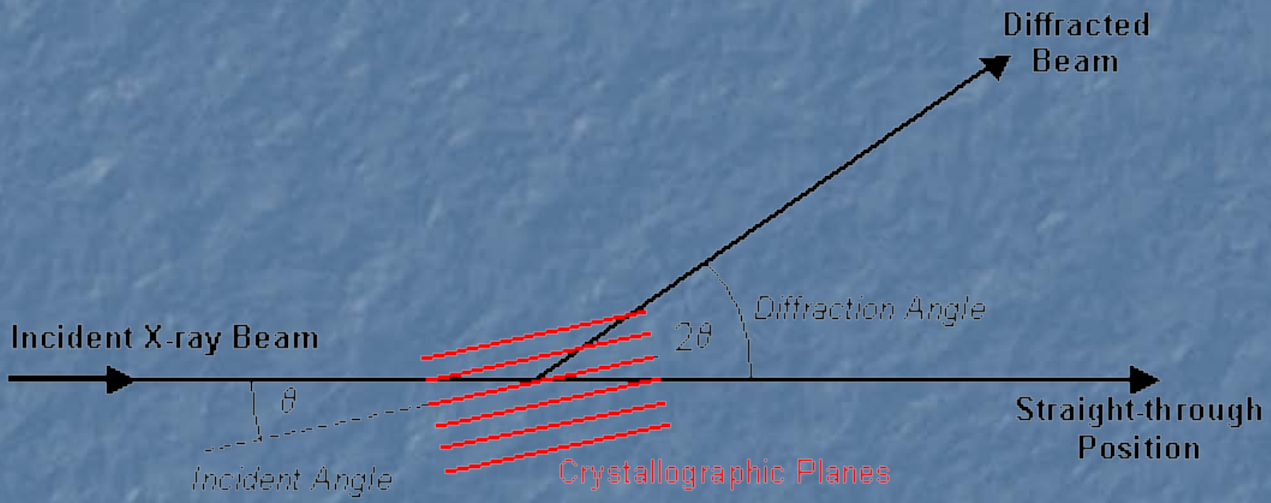
$$k = \frac{K_m r^2}{WUOT}$$

* Aanbevolen 'formule' door de ICRP

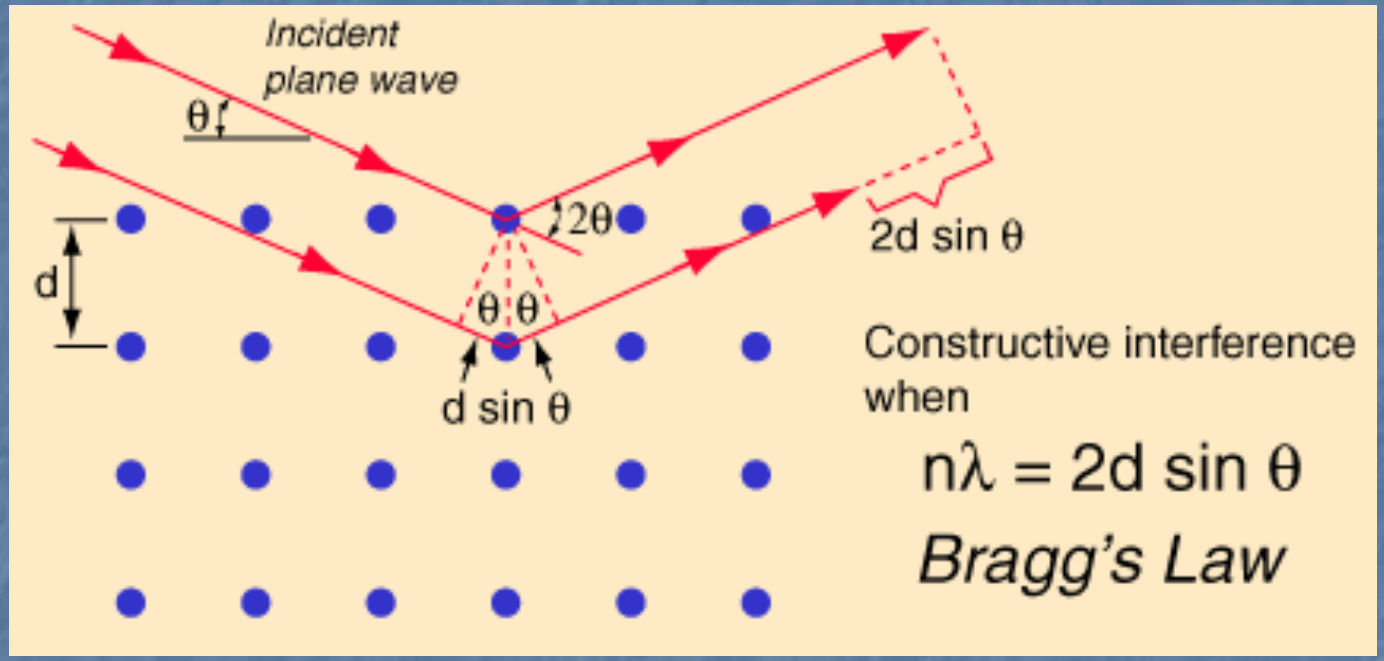
Andere toepassing röntgenstraling: bepalen van een kristalrooster met behulp van .....



‘röntgendiffractie’

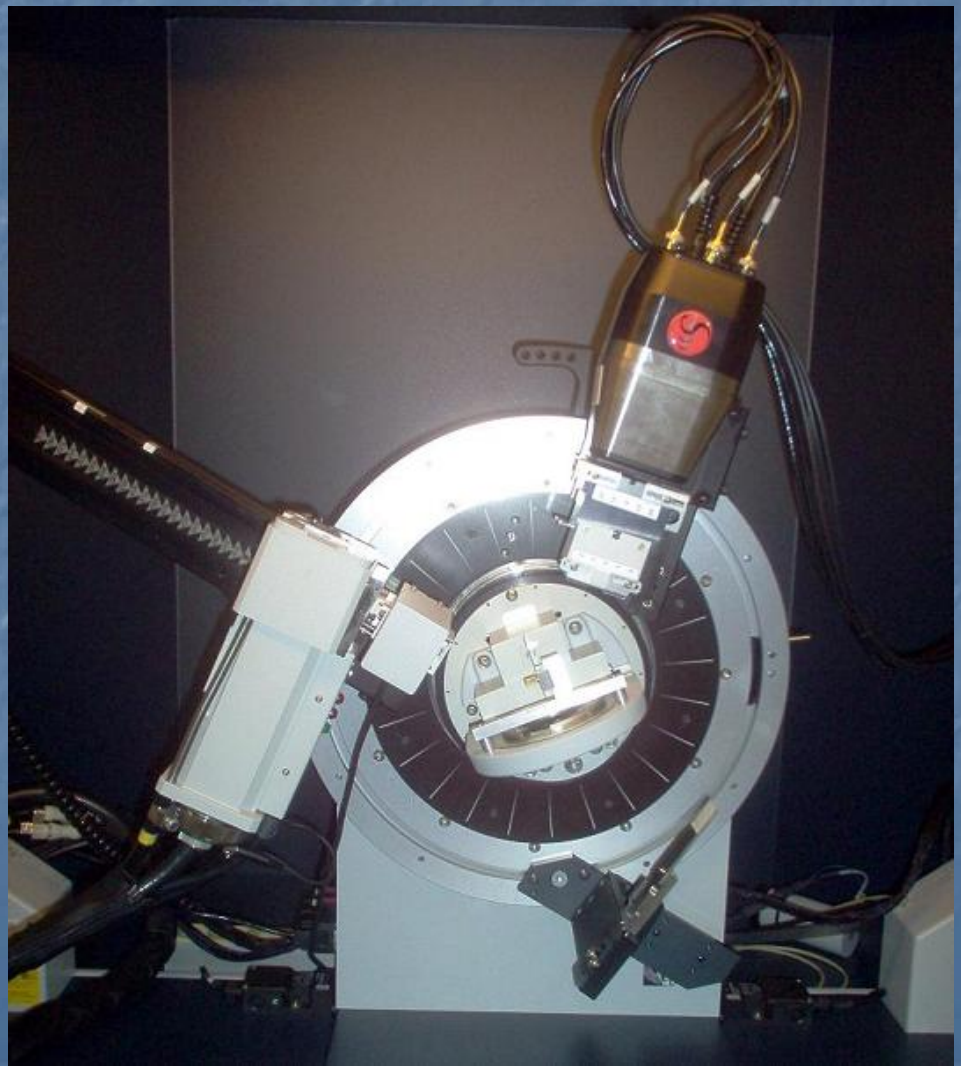


Röntgendiffractie

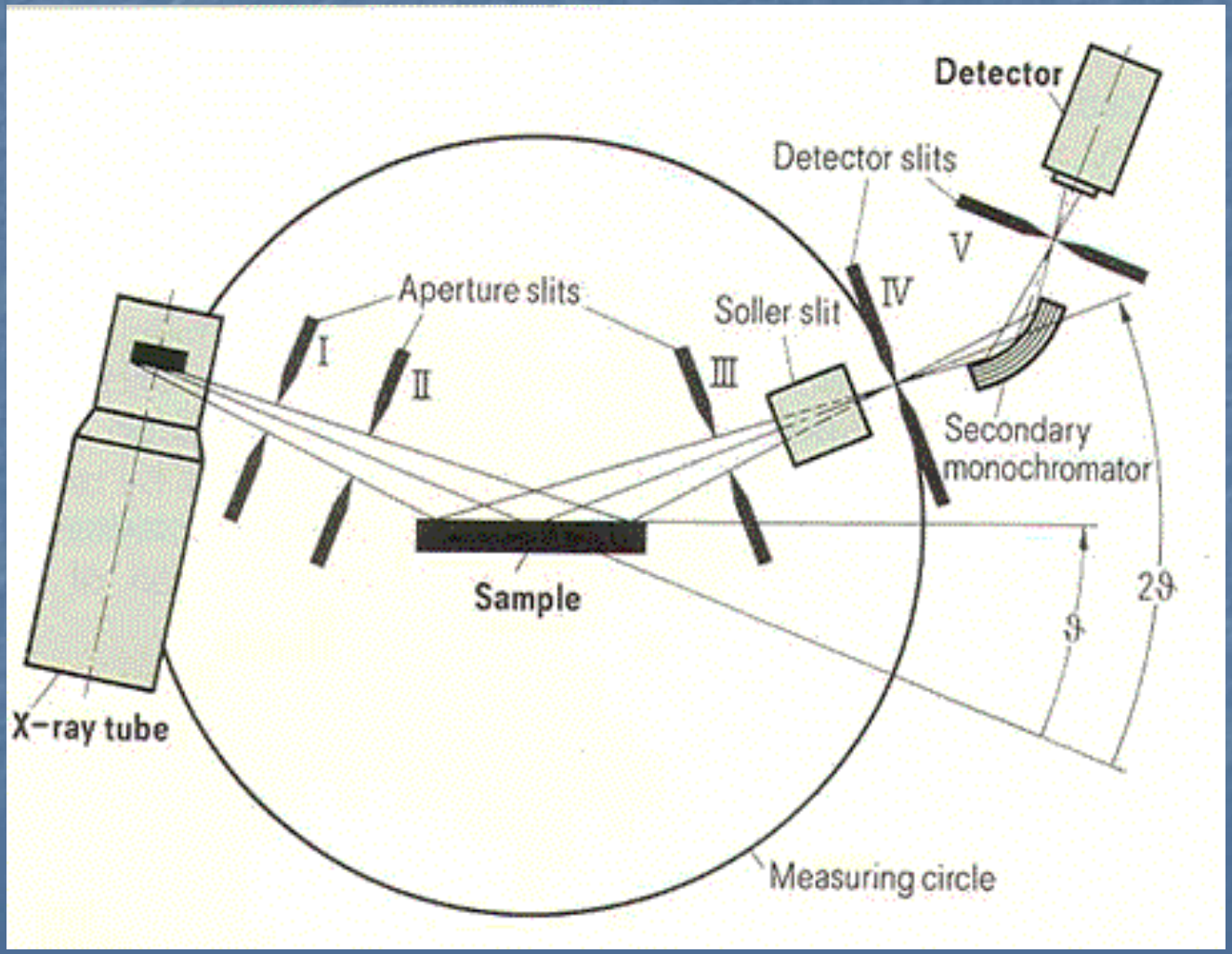


Röntgenstraling op 'sample', waardoor uit de gemeten verstrooide straling de structuur van het materiaal duidelijk wordt (begonnen met DNA en eiwitten)
Later mineraalbepaling; positie van de atomen 100-1000x nauwkeuriger te bepalen dan met 'atoomkrachtmicroscopie'

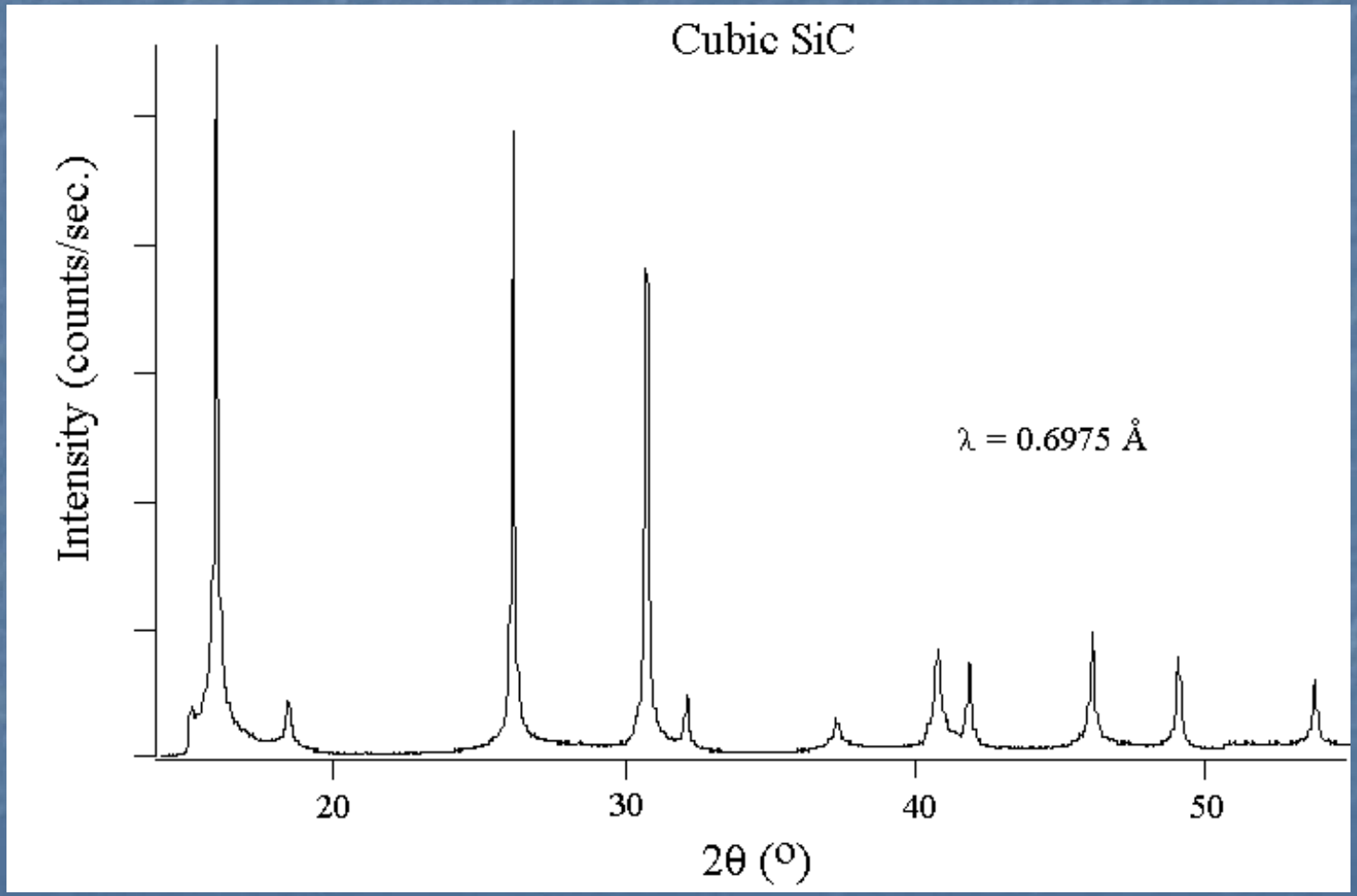
Röntgendiffractometer



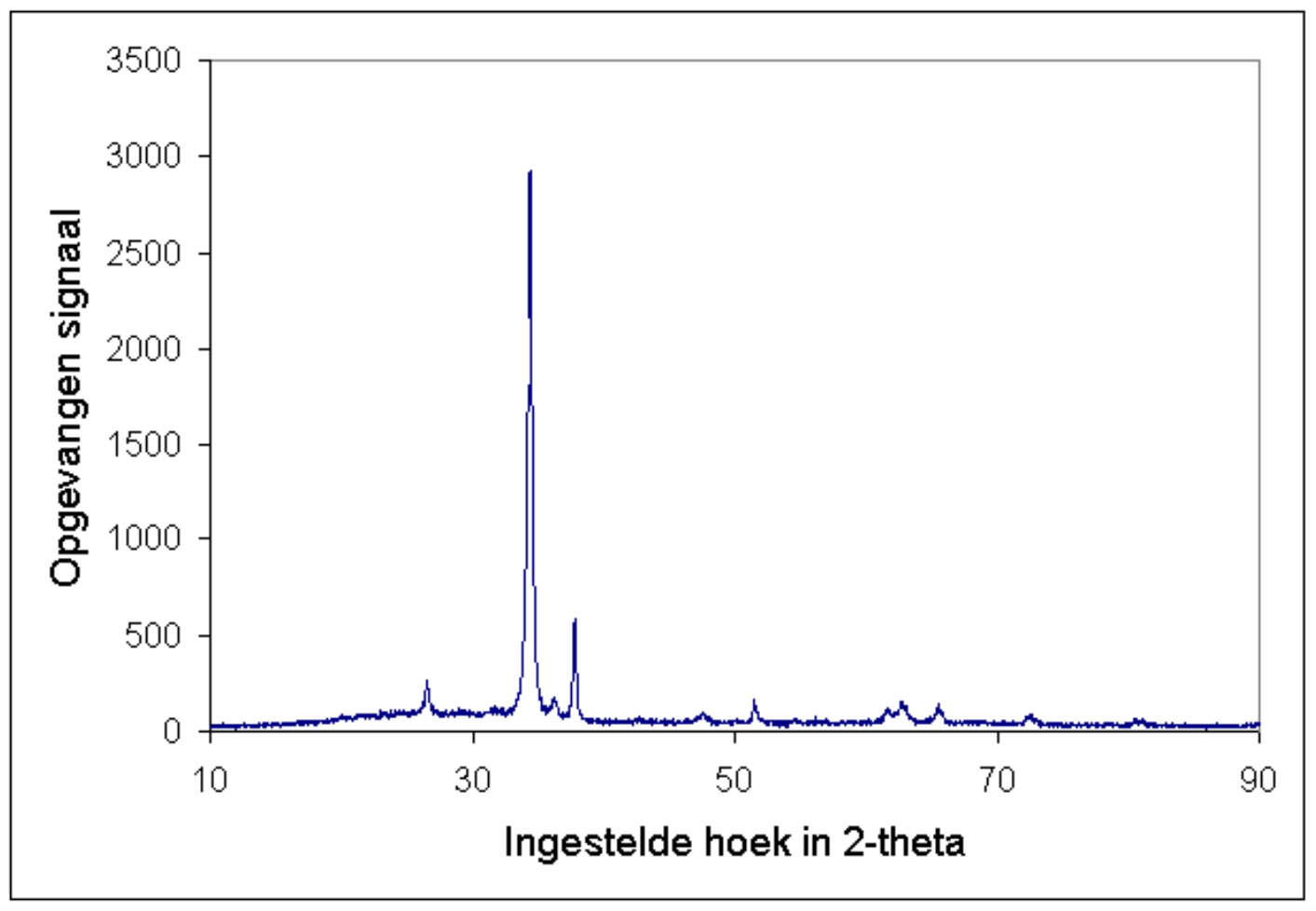
Röntgendiffractometer



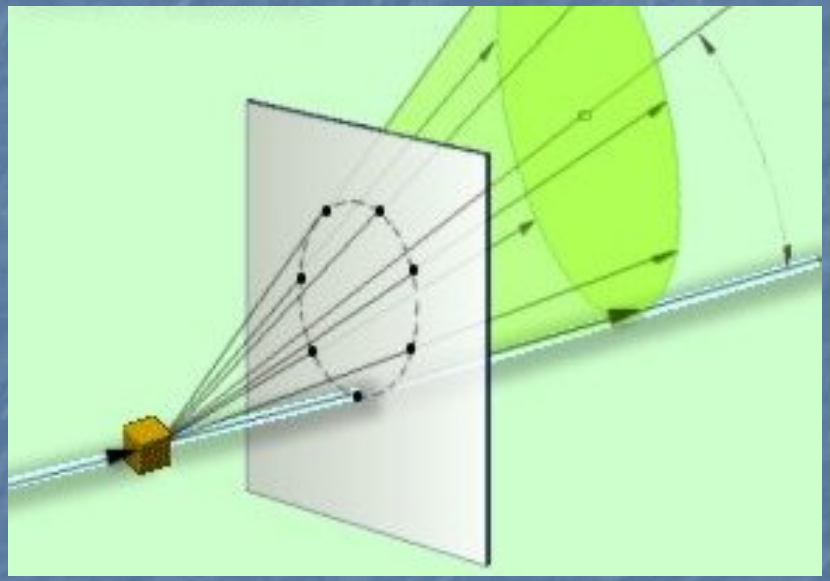
Röntgendiffractiepatroon

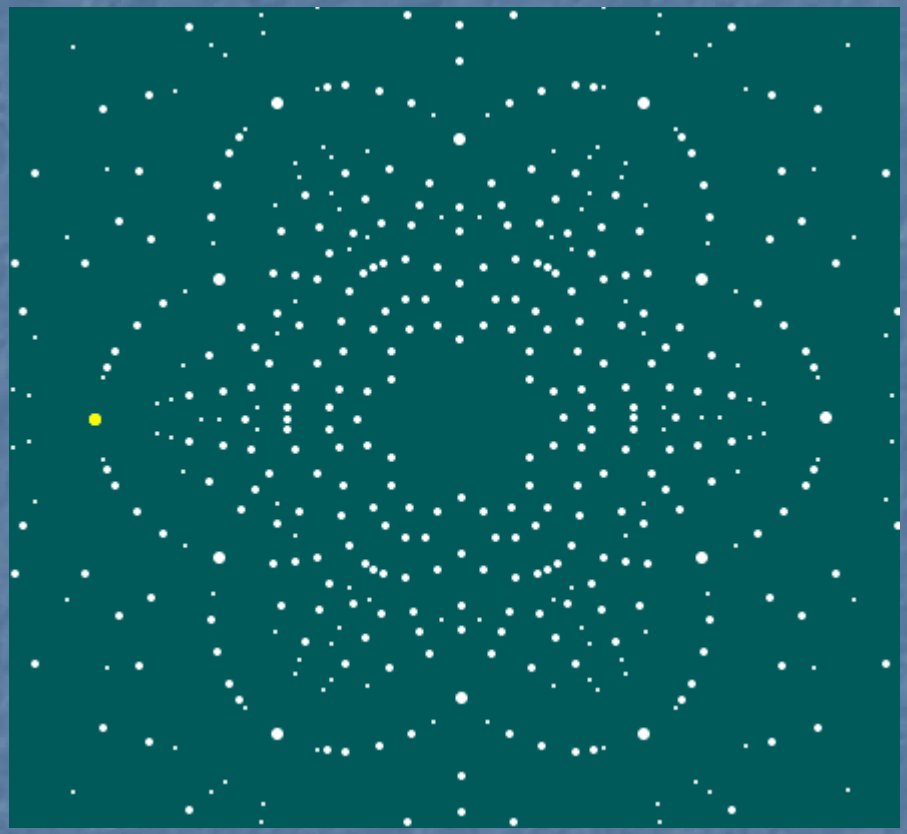


Röntgendiffractiepatroon van ZnO



Laue éénkristaldiffractie



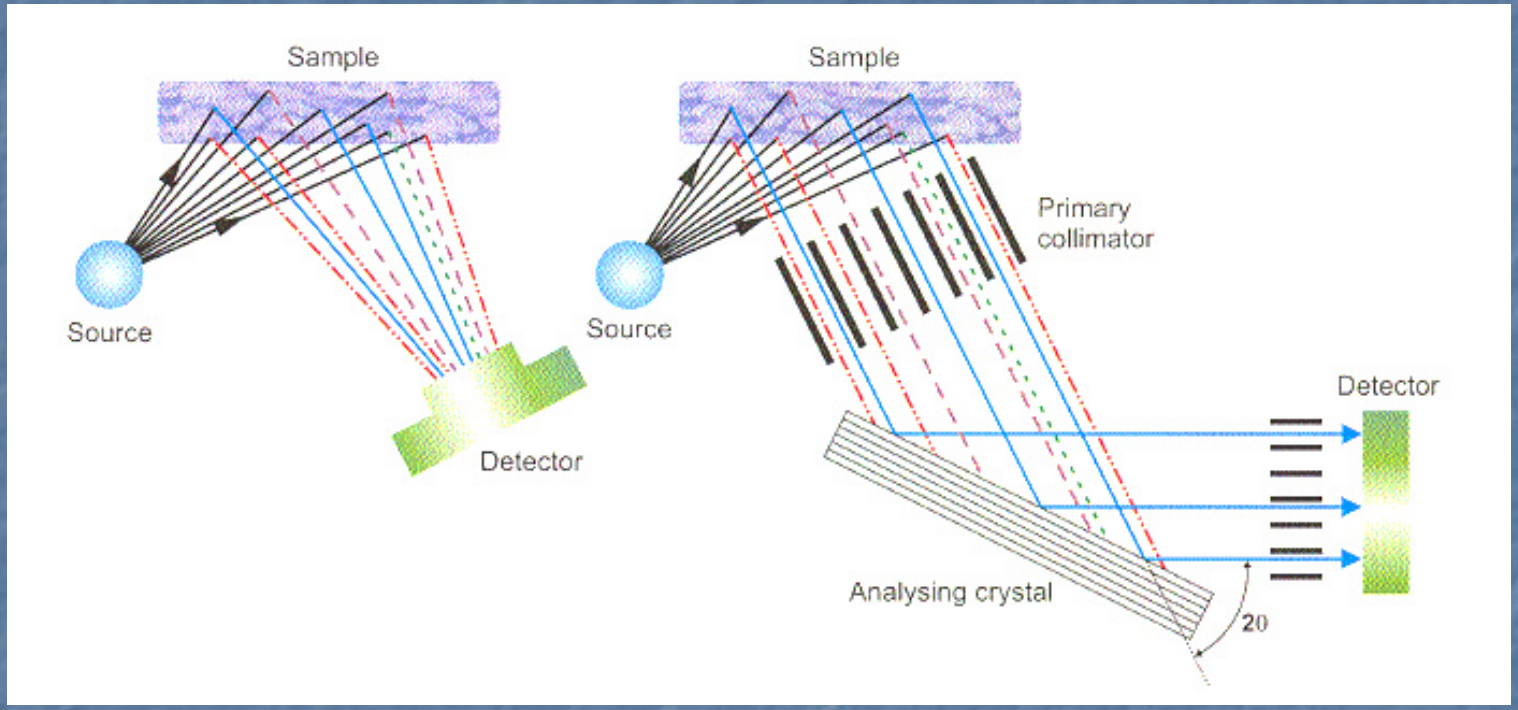


Max von Laue (09/10/1879)
- Gestudeerd onder Max Planck
- 1912: prof. fysica in Zürich
- 1914: Nobelprijs

Hij stelde: als X-straling door kristal gaat treedt diffractie + vorming patroon op. Patroon symboliseert de asymmetrishe ordening van de atomen.

Röntgenfluorescentie(spectrometrie)-'XRF'

techniek uit de analytische scheikunde → samenstelling monster uit chemische elementen bepaald d.m.v. röntgenfluorescentie.



- De gemeten *karakteristieke röntgenstraling* zegt iets over de
- samenstelling van de elementen van het monster.

Spectrometrie: bepaling van de chemische elementen van een monster

Nog een leerzame en *prettige* cursus gewenst,
een *'stralend'* vervolgpracticum



en op richting het examen in mei!

Vragen?

Hoofdstuk 15 (Toestellen)

Vraag 4

a. Bereken de belichting per bestraling (in mA min)

b. Bereken de minimaal benodigde dikte van de muur

Vragen?

- Vraagstuk 33: Afscherming van een ^{60}Co-bron
- Vraagstuk 37: Dosis bij radiodiagnostisch onderzoek
- Vraagstuk 39: Afscherming van een röntgentoestel