

*Uit de afdeling Tandheelkundige Röntgenologie van het Tandheelkundig Instituut der Rijksuniversiteit te Utrecht.
Hoofd: J. van Aken, lector.*

DE BETEKENIS VAN HET ONDERZOEK VAN RÖNTGEN VOOR DE HUIDIGE RÖNTGENOLOGIE*)

J. VAN AKEN

Het beschrijven en eventueel verklaren van de eigenschappen van de röntgenstraling vormt een onderdeel van de fysica en leidt daardoor gemakkelijk tot een abstract en op formules gebaseerde beschouwingswijze. Dit was echter niet de werkwijze van Röntgen, zoals uit de korte biografische aantekening van Korringa over Röntgen in het „Leerboek der natuurkunde” onder redactie van Prof. Dr. R. Kronig mag blijken.

„Röntgen behoort tot de physici, die hun onderwerp uiterst fijn en nauwkeurig, met veel kritiek en zeer grondig uitwerken. Hij construeerde zijn instrumenten veelal zelf en bij de theorie gebruikte hij, evenals Faraday, nooit wiskunde. Het was een strenge imposante geleerde, die zelden lachte en weinig contact met zijn medemensen zocht. Zijn onderzoekingen bestrijken vele gebieden; na zijn jeugdwerk voornamelijk kristalphysica. Zijn grote ontdekking (1895) viel iets buiten zijn gewone werk. Zo nauwkeurig en grondig onderzocht hij de nieuwe stralen, dat er de eerste tien jaren niets essentieels aan zijn resultaten werd toegevoegd. Hij was de eerste die de Nobelprijs voor natuurkunde kreeg (1901).”

De drie publikaties die Röntgen in 1895 en 1896 aan de „nieuw ontdekte” stralen wijdt, blijken dan ook een uitstekend uitgangspunt om onze beschouwing op te baseren. Slechts enkele gegevens, op latere datum verkregen, behoeven te worden toegevoegd om voldoende inzicht te verkrijgen en de hedendaagse toepassing in de tandheelkunde te begrijpen.

In 1894 werd Röntgen getroffen door experimenten die Lenard met de kathodestrallen uitvoerde en hij besloot een kathodestraalbus te bestel-

*) Voordracht gehouden op de ledenvergadering van de Nederlandse Vereniging van Tandartsen, 17 nov. 1967.

len. Hiermee herhaalde hij de proefnemingen van Lenard. Deze straling bleek later een stroom deeltjes (elektronen) te zijn, die door hun negatieve lading door de kathode werden afgestoten.

Röntgen's experimenten werden enigszins onderbroken door zijn rectoraat van de Universiteit van Würzburg van 1894 tot 1895 en pas in de herfst van 1895 voortgezet. Reeds op 8 november 1895 vond de zo bekende waarneming plaats dat een fluorescentiescherm, in de omgeving van een in karton verpakte kathodestraalbuis geplaatst, ging oplichten. Behalve deze schermen, die in gebruik waren om ultraviolet licht aan te tonen, bleken ook verschillende mineralen in de omgeving van de werkende kathodestraalbuis dit verschijnsel te vertonen. Deze eigenschap van fluorescentieschermen wordt tot op de huidige dag gebruikt om de straling zichtbaar te maken en voorwerpen en patiënten door te lichten.

De constatering dat er een werking van de ontladingsbuis uitgaat die door karton dringt, gaf er, begrijpelijk, aanleiding toe ook andere objecten op hun doorlaatbaarheid te onderzoeken. Alle mogelijke objecten werden door Röntgen tussen de bron van de straling en het scherm geplaatst. Vele voorwerpen lieten de stralen duidelijk door. Zo bleek bijvoorbeeld dat een boek van 100 pagina's de stralen nog goed doorliet,

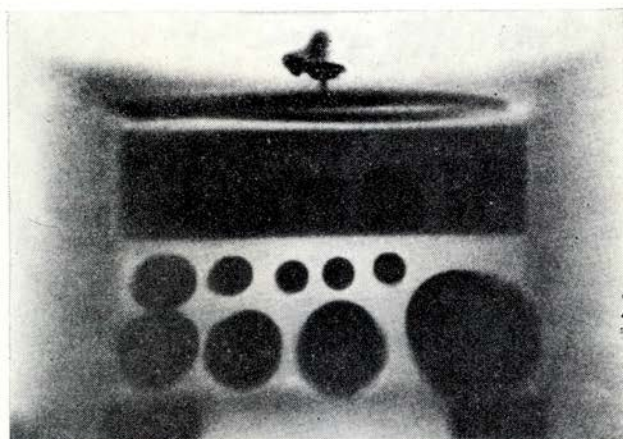


Afb. 1. Uit Glasser, 1958.

waarbij de drukinkt geen merkbare hindernis vormde. De doorlaatbaarheid van glas bleek sterk afhankelijk van het gehalte aan lood (flintglas). Dit verschil in doordringbaarheid, dat ook tussen de weefsels van het menselijk lichaam bestaat, is de reden van de zo uitgebreide medische toepassing.

Een volgend belangrijk gegeven was de waarneming dat de stralen zich rechtlijnig voortplanten en daardoor pas met recht stralen genoemd mogen worden. Deze eigenschap blijkt fraai uit een van de eerste opnamen, door Röntgen gemaakt van een gewichtendoos (afb. 2). Let hierbij op de afbeelding van de gewichten die niet recht van boven door de stralen werden getroffen. Deze rechtlijnige voortplanting maakt het mogelijk op eenvoudige wijze de inwendige bouw van de doorstraalde voorwerpen uit het beeld af te leiden.

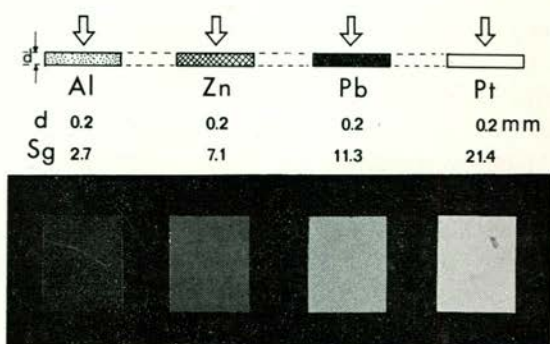
De verspreiding van het agens, uitgaande van de ontladingsbuis in alle richtingen in de ruimte, maakt dat de intensiteit op grotere afstand geringer moet zijn. Röntgen toonde aan dat de intensiteit op twee verschillende afstanden van de bron zich verhouden als de kwadraten van deze afstanden. Uit de overeenstemming met de theoretisch te verwachten vermindering van de intensiteit met de afstand, kon worden geconcludeerd dat de lucht de stralen weinig absorbeert. Voor de praktijk betekent dit alles dat voor eenzelfde belichting van een röntgenfilm, indien deze op grotere afstand wordt geplaatst, de vermindering van de inten-



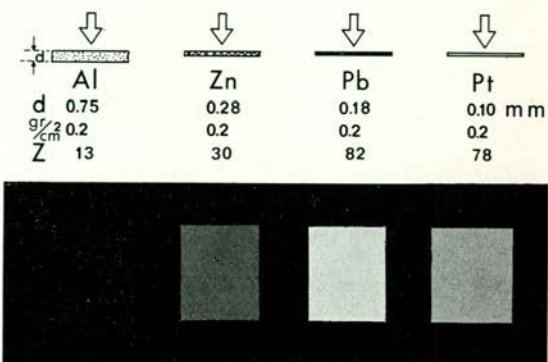
Afb. 2. Uit Glasser, 1958. Een serie gewichten in een gesloten doos. Een van de eerste opnamen door Röntgen, met de door hem ontdekte stralen, gemaakt.

siteit moet worden gecompenseerd. Dit kan door de belichtingstijd evenredig met het kwadraat van de afstand te verlengen.

Na de reeds vermelde eerste oriëntatie over het absorberend vermogen van verschillende stoffen, heeft Röntgen getracht meer nauwkeurig na te gaan waardoor dit vermogen wordt bepaald. In eerste instantie maakte het de indruk dat het soortelijk gewicht de bepalende factor is. Zo nam Röntgen een aantal plaatjes van aluminium, zink, lood en platina van dezelfde dikte en constateerde hij dat het doorlatende vermogen afnam bij toeneming van het soortelijk gewicht (afb. 3). Indien inderdaad het soortelijk gewicht maatgevend is zal de doorlaatbaarheid van plaatjes met een dikte omgekeerd evenredig met het s.g. hetzelfde moeten zijn. Elk plaatje heeft dan namelijk hetzelfde gewicht per cm^2 . Het



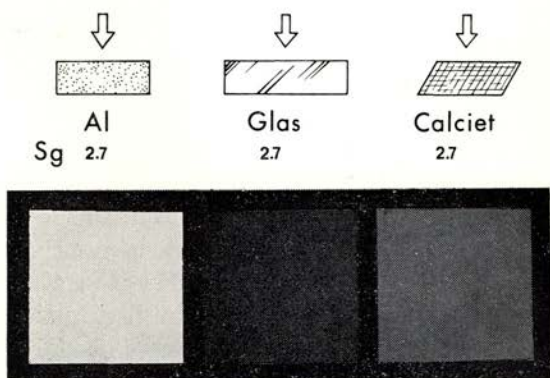
Afb. 3. Vermindering van het doorlatende vermogen van verschillende stoffen bij toeneming van het soortelijk gewicht (zie ook afb. 4.)



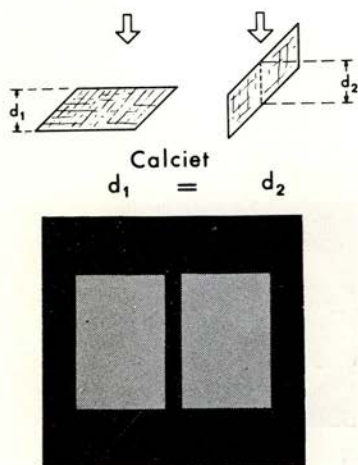
Afb. 4. Opname waaruit blijkt dat het doorlatende vermogen gebonden is aan het atoomnummer en niet aan het soortelijk gewicht.

bleek evenwel dat deze veronderstelling niet juist was en dat rekening moest worden gehouden met een andere factor (afb. 4). Dit bleek ook uit het verschil in absorberend vermogen van stoffen met hetzelfde soortelijk gewicht, waarbij de lagen dezelfde dikte hebben (afb. 5).

Een nieuw gezichtspunt opende zich door zijn waarneming dat metaalzouten of hun oplossingen in een reeks van oplopende absorptie geplaatst, dezelfde volgorde laten zien als bij metalen zelf. Hieruit was namelijk te concluderen dat de atoomsoort en niet de chemische binding, bepalend is voor het absorberend vermogen. Bovendien bleek uit



Afb. 5. Opname die verschil in doorlatend vermogen met hetzelfde soortelijk gewicht toont.

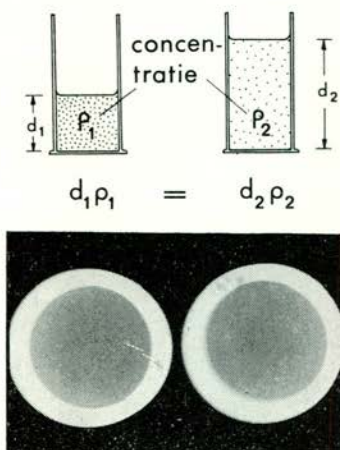


Afb. 6. De absorptie van de straling wordt niet beïnvloed door de rangschikking van de atomen.

een proef van Röntgen, waarbij hij een kalkspaatkristal in verschillende standen in de bundel plaatste, dat ook de rangschikking van de atomen geen invloed op de doorlaatbaarheid heeft (afb. 6).

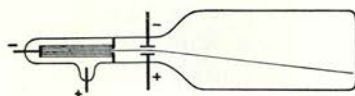
Meslans (Nancy) liet al in 1896 zien dat het atoomnummer maatgevend is voor het absorberend vermogen (afb. 4). Het is later gebleken dat de absorptie ongeveer met de 3e macht van het atoomnummer toeneemt. Dit verband geeft de verklaring waarom het skelet zich ten opzichte van de weke delen zo duidelijk aftekent. Het atoomnummer van calcium is namelijk 20, terwijl dit voor waterstof, koolstof en zuurstof respectievelijk 1, 6 en 8 is, waaruit volgt dat de absorptie van calcium minstens $(20/8)^3$ of ongeveer 15 maal zo sterk is.

Behalve de atoomsoort speelt natuurlijk ook de dikte van de laag en de concentratie van de atoomsoort een rol. Deze twee factoren, dikte en concentratie, vervullen dezelfde functie, in die zin dat de absorptie afhankelijk is van het produkt van deze twee grootheden. Dit kan duidelijk gedemonstreerd worden door de absorptie te vergelijken van twee vloeistofkolommen, die verschillen in lengte en in gehalte aan een metaalzout (afb. 7). Indien het produkt van weglengte en concentratie hetzelfde is, is de absorptie gelijk. Beide kolommen bevatten dan hetzelfde aantal grammen per cm^2 van deze stof. Hierbij is verondersteld dat de absorptie van het oplosmiddel relatief te verwaarlozen is.

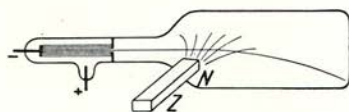


Afb. 7. De absorptie van de straling is afhankelijk van het aantal grammen stof per cm^2 , m.a.w. met het produkt van de dikte van de laag en de concentratie van de atoomsoort.

Röntgen hield zich uiteraard ook bezig met de vraag wat de aard van het verschijnsel was. In de eerste plaats vond hij het van belang te weten of hij met een geheel nieuw fenomeen te doen had. Het leek het meest voor de hand liggend een vergelijking te trekken met de reeds door Lenard onderzochte kathodestralen. Deze hebben eveneens een doordringend vermogen, alleen is dit veel geringer dan die van de x-stralen. Een treffender verschilpunt is echter te vinden in de ongevoeligheid van de x-stralen voor een elektrisch of magnetisch veld. De kathodestralen, die bij later onderzoek een stroom elektronen bleek te zijn, krijgen onder invloed van de genoemde velden een andere richting (afb. 8). Dit punt van verschil was voor Röntgen een reden om te conclude-



Afb. 8a. Elektrische afbuiging van kathodestralen.



Afb. 8b. Magnetische afbuiging van kathodestralen (Lorentzkracht).

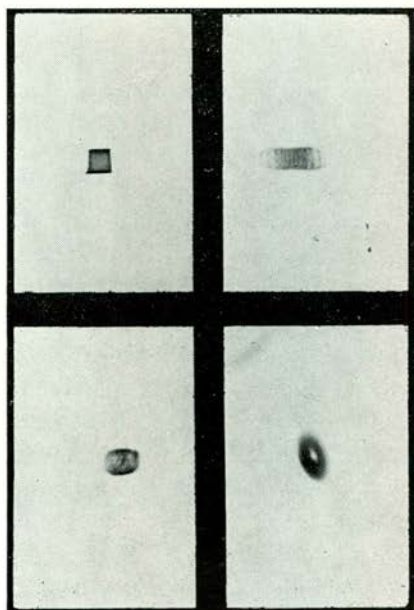
ren dat hij inderdaad met een geheel nieuw verschijnsel te doen had. Het bleek verder dat de x-stralen daar ontstonden waar de kathodestralen een voorwerp troffen. Werden de kathodestralen door een magneet van richting veranderd, dan verplaatste zich daarmee ook de bron van de straling.

Bij pogingen de produktie van stralen op te voeren bleek dat indien de kathodestralen metaal troffen eveneens x-stralen ontstonden. Uit een vergelijking tussen aluminium en platina als anodemateriaal bleek dat platina veel meer stralen produceerde. De vergelijking werd uitgevoerd door een buis te construeren waarbij de ene helft van de anode uit aluminium en de andere helft uit platina bestond. De produktie aan stralen van deze anode werd bestudeerd door van een gaatjescamera gebruik te maken. Uit de afbeelding viel af te leiden welk gedeelte de meeste stralen produceerde. Deze techniek wordt thans nog benut om de afmeting van de focus, de oorsprongplaats van de straling, te bepalen

(afb. 9). Röntgen vermeldt dat zijn buizen een focus hadden van 1 à 2 mm doorsnede, waarden, die overeenkomen met de afmetingen van de foci van onze huidige tandheelkundige apparaten. Ook A. G. Richards maakte kort geleden bij zijn onderzoek naar de bronnen van secundaire straling gebruik van een gaatjescamera (afb. 10). Door voldoende lang te belichten kon hij een beeld laten vormen door de secundaire straling.

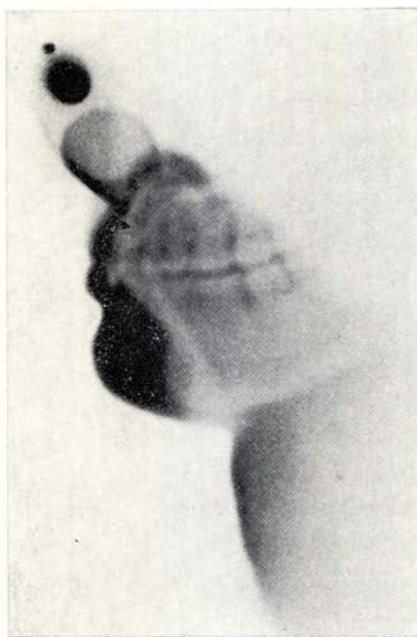
Een andere poging de stralenproductie op te voeren bestond in de verhoging van de stroomsterkte door de ruhmkorff. Hierdoor neemt ook de stroomsterkte door de röntgenbuis toe en daarmee de hoeveelheid straling. Nog steeds is deze stroomsterkte voor ons een belangrijk gegeven om de hoeveelheid geproduceerde stralen te bepalen. Veel apparaten zijn daarom van een milliamperemeter voorzien.

Röntgen was niet alleen geïnteresseerd in de hoeveelheid straling doch ook in de richting waarin deze wordt uitgezonden. Om hierover gegevens te verkrijgen maakte hij gebruik van een fotometeropstelling. Deze opstelling moet er ongeveer als aangegeven in afb. 11 hebben uitgezien. De twee fluorescentieschermen, die zich naast elkaar bevonden, werden op dezelfde helderheid ingesteld door een van de buizen van plaats te

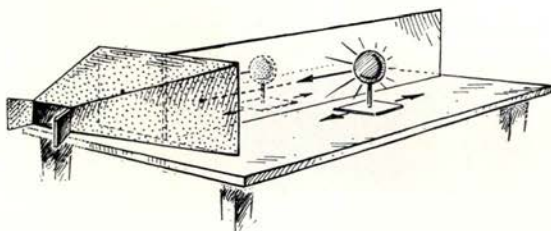


Afb. 9. Opname met een gaatjescamera van de focus van vier verschillende tandheelkundige röntgenapparaten.

veranderen, zodat de afstand tot het scherm groter of kleiner werd. Het omgekeerde van het kwadraat van deze afstand is een maat voor de intensiteit van de straling. Door de ontladingsbuis te draaien is het mogelijk de intensiteit in de verschillende richtingen te vergelijken. Het bleek nu dat de intensiteit in richtingen, die een hoek groter dan 1 à 2° met een oppervlak van de anode maken, constant is. Dit is een opval-



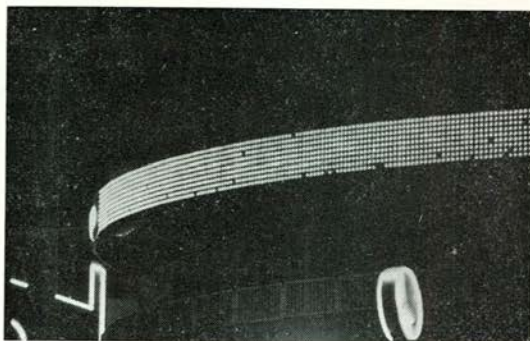
Afb. 10. Opname met een gaatjescamera van de secundaire straling uitgezonden door patiënt, conus en filter van het röntgenapparaat. Geheel links boven is tevens de focus zichtbaar (primaire straling). (Zie Richards⁵.)



Afb. 11. Schematische tekening van de fotometeropstelling gebruikt door Röntgen om de straling kwantitatief te bestuderen.

lend gegeven, aangezien oppervlakken die licht uitzenden, zich geheel anders gedragen. Hierbij neemt de hoeveelheid uitgezonden licht af met de cosinus van de hoek tussen de normaal en de waarnemingsrichting (wet van Lambert). Aangezien de oppervlakte, die licht uitzendt, schijnbaar in dezelfde mate verkleind wordt, blijft de helderheid constant. Dit is de reden waarom de zon of een ballon van een lamp overal dezelfde helderheid heeft. De wijze waarop de anode straling uitzendt is te vergelijken met een oppervlak bezet met lampjes, zoals bijvoorbeeld een lichtreclame (afb. 12). Een bepaalde oppervlakte hiervan zendt in alle richtingen dezelfde hoeveelheid straling (licht) uit. Hierdoor verandert de helderheid van dit vlak bij verandering van de waarnemingsrichting. Een focus van een röntgenbuis gedraagt zich op dezelfde wijze. Röntgen trok hieruit de conclusie dat de onscherpte bij de beeldvorming kan worden verminderd door de focus schuin te plaatsen, zonder dat hierbij de belichting behoeft te worden verlengd (zoals met licht het geval geweest zou zijn).

Uit de bestudering van de straling bleek dat er weinig overeenkomst met kathodestrallen bestond. Enkele eigenschappen deden daarentegen aan een verschijnsel denken dat verwant is aan licht, zoals de fluorescentie, de beeldvorming (rechtlijnige voortplanting) en de inwerking op de fotografische plaat. Een andere eigenschap die bij licht wel optreedt, n.l. reflectie, kon echter niet worden aangetoond. Dit bleek Röntgen o.a. uit een vergelijking tussen de absorptie van een stof in poedervorm en massief (afb. 13). Hij ging hierbij van de redenering uit dat poeder geen licht doorlaat door de veelvuldige reflecties op de korrels. De stralen

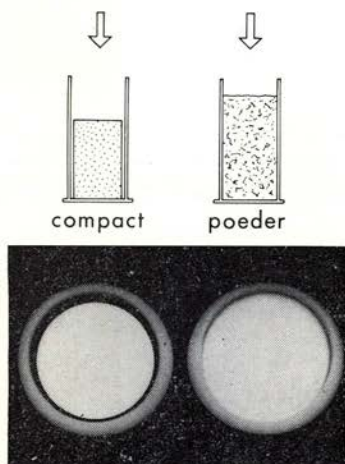


Afb. 12. Een lichtreclame, opgebouwd uit afzonderlijke lichtpunten, zendt licht uit op een wijze die overeenkomt met de emissie van röntgenstraling door de focus. De helderheid is hierbij omgekeerd evenredig met de cosinus van de waarnemingshoek.

bleken zich echter niet te laten beïnvloeden door de toestand, waarin de stof zich bevindt. Behalve reflectie was ook breking afwezig; lenzen van verschillende stoffen vervaardigd hadden geen invloed op de richting van de stralen.

Het ondubbelzinnige bewijs dat de x-straling een golfverschijnsel is en dus familie van het licht, werd pas in 1912 door Laue geleverd. Licht vertoont door het golfkarakter interferentie-verschijnselen indien het op een systeem van lijnen (een tralie) wordt geworpen. Hierbij moet de afstand tussen de lijnen van dezelfde orde van grootte zijn als de golflengte van het licht. Een bundel licht op een grammofoonplaat geworpen laat de interferentie ten gevolge van de aanwezige groeven duidelijk zien. Röntgenstralen laten iets dergelijks zien, indien de tralie maar fijn genoeg is. Laue kwam op het idee de regelmaat in de rangschikking van de atomen in een kristalrooster voor dit doel te gebruiken. Hij was daardoor in staat aan te tonen dat röntgenstraling inderdaad een golfverschijnsel is en hij bepaalde tevens met deze methode de golflengte. Dit verschijnsel vindt nog steeds toepassing in de kristallografie om de bouw der kristallijne stoffen te ontsluiëren.

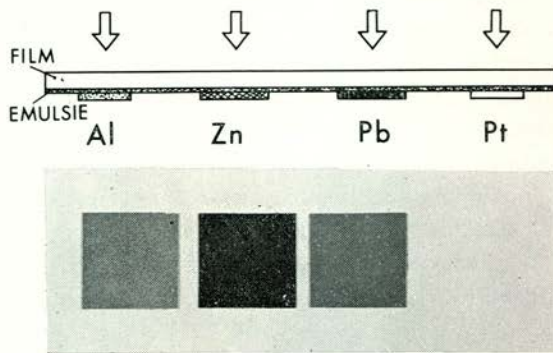
Voordat Laue de kristalstructuur benutte om het golfkarakter van de röntgenstraling aan te tonen hebben vele onderzoekers getracht interferentie op andere wijze op te wekken. Het is misschien interessant hier te vermelden dat Prof. H. Haga uit Groningen, door gebruik te maken



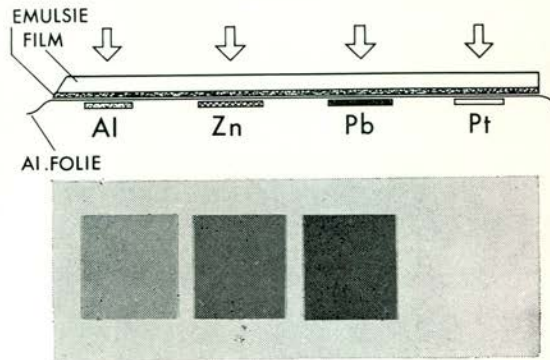
Afb. 13. De absorptie van de straling is onafhankelijk van de toestand van de stof (poedervormig of massief); hieruit leidde Röntgen af dat geen reflectie op een oppervlak optreedt.

van spleten van slechts enkele microns breedte, vermoedelijk reeds in 1899 interferentie heeft aangetoond. Uit zijn proeven berekende hij de golflengte van de straling en vond hij een bedrag dat in overeenstemming is met de waarden die later met meer overtuiging werden vastgesteld (0,1–2,5 Å; 1 Å = 10^{-8} cm).

Onder de vele experimenten die Röntgen ondernam is er één dat op het eerste gezicht de indruk wekt dat de stralen door een voorwerp kunnen worden gereflecteerd. Hierbij werden enkele stukjes metaal tegen de gevoelige laag van een film geplaatst, die vervolgens van de andere zijde werd belicht (afb. 14). Na het ontwikkelen is duidelijk de afbeelding van de metaalstukjes waarneembaar. Teneinde de mogelijkheid van be-

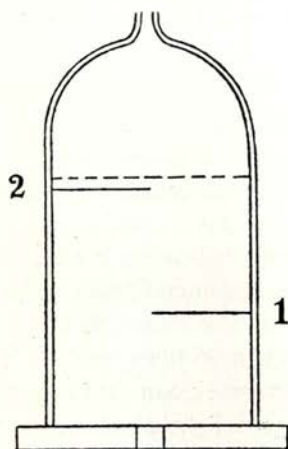


Afb. 14. Registratie met behulp van een film van de secundaire straling uitgezonden door stukjes metaal.



Afb. 15. Als afb. 14. Een aluminium folie tussen de stukjes metaal en de film verhindert de beeldvorming niet. Hiermee werd de mogelijkheid van belichting van de film door fluorescentielicht uitgesloten.

lichting van de film door fluorescentie van de stukjes metaal uit te sluiten werd tussen de metalen en de emulsie een aluminium folie geplaatst, waarna de proef werd herhaald (afb. 15). Het effect bleek daardoor niet te worden verstoord. Röntgen concludeerde uit dit gegeven, samen met de andere reeds beschreven negatieve proeven over reflectie, dat deze metalen diffuus straling uitzenden. Andere experimenten ondersteunden deze veronderstelling. Zo bleek een scherm dat door lood van de directe straling van de buis was afgeschermd op te lichten. Dit oplichten verdween indien ook aan de achterzijde een afscherming werd aangebracht. Deze afscherming bestond uit een koker van lood en het hoofd van de waarnemer. Uit een ander experiment bleek de fluorescentie van het scherm te verdwijnen wanneer de lucht rond de opstelling afgebeeld in afb. 16 werd weggepompt. Hiermee werd aangetoond dat de secundaire straling ook in de lucht kan ontstaan. Röntgen vergeleek het karakter van dit verschijnsel met de verstrooiing van licht door tabaksrook en hij stelde reeds vast dat dit een hinderlijk verschijnsel in verband met de beeldvorming is. In de praktijk zullen wij er dan ook steeds op bedacht moeten zijn de hoeveelheid secundaire stralen te verminderen. Het eenvoudigste middel hiertoe is de beperking van de diameter van de bundel tot het strikte minimum. Röntgen stelde in dit verband een interessante



Afb. 16. Opstelling door Röntgen gebruikt om de vorming van secundaire straling in de lucht aan te tonen (zie tekst).

1 en 2: loodplaten.

- - - : fluorescentiescherm.

Straling werd toegelaten door de opening in de bodem.

N.B. De enige afbeelding in de drie publikaties van Röntgen.

vraag die hij niet beantwoordde, n.l. of de secundaire straling dezelfde eigenschappen heeft als de primaire. Pas in 1922 toonde Compton aan dat een verandering in golflengte bij dit proces kan optreden. Dit is een verschijnsel vergelijkbaar met de fluorescentie van vele van de tegenwoordige inkten en verfsoorten.

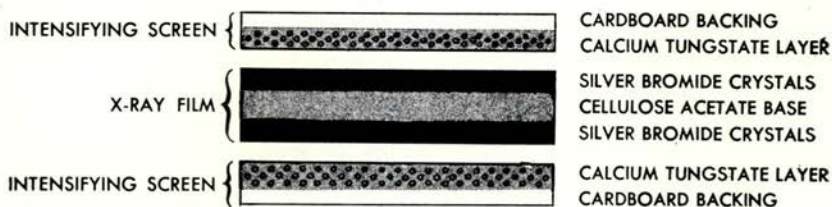
Door middel van de reeds beschreven fotometeropstelling heeft Röntgen getracht het doordringingsvermogen van de straling meer kwantitatief te bepalen. Het bleek hierbij dat het absorberende vermogen van een plaatje aluminium geringer werd indien de bundel reeds eerder door een ander plaatje aluminium was gepasseerd. Ook een hardere buis, die een hogere spanning vergde om te functioneren, produceerde straling, die een geringer absorberend vermogen van het plaatje aluminium veroorzaakte. Deze proeven leidden tot de conclusie dat de buis een mengsel van stralen met verschillende eigenschappen uit moet zenden, een gegeven dat nog steeds van belang is voor de röntgenologie. Toepassing vinden we in het gebruik van aluminiumplaatjes als filters om de bundel een groter doordringingsvermogen te geven en in de regelbaarheid van de hoogspanning om eveneens het doordringingsvermogen te beïnvloeden.

Uit de opname die Röntgen van handen maakte constateerde hij dat bij verhoging van de spanning aan de röntgenbuis het contrast in het beeld afneemt. Dit is een gegeven waarmee wij ook nog steeds dagelijks rekening houden.

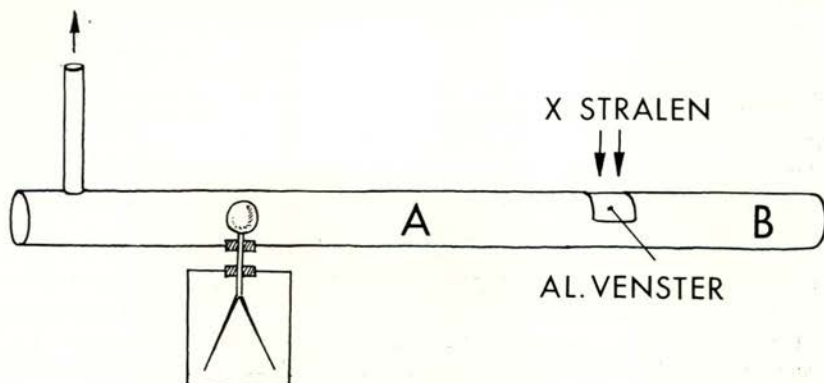
Dat het oog ongevoelig is voor de straling is misschien iets wat al eerder vermeld had moeten worden. Deze vaststelling past echter beter bij enkele opmerkingen over de gevoeligheid van het fotografisch materiaal. Doordat de straling zeer gemakkelijk door papier dringt kunnen opnamen bij daglicht op verpakte films gemaakt worden. De films moeten echter tegen ongewilde belichting beschermd worden, daar anders een sluiering optreedt. Röntgen constateerde dat het fotografisch materiaal de straling zeer inefficiënt benut om een beeld te vormen. Bij het belichten van een stapel van 96 films bleek de onderste film nog zwarting op te leveren. Zijn verzoek aan de fotografische industrie films te leveren, die een grotere gevoeligheid hadden voor de straling, had op dat moment niet veel succes. Tegenwoordig houdt deze vraag de filmfabrikanten echter in hoge mate bezig. Röntgen stelde zich in verband met de gevoeligheid van de film de interessante vraag of het beeld misschien ontstaat door fluorescentie van de glasplaat of van de emulsie. Het is later gebleken dat de straling rechtstreeks op de gevoelige zilverhalogeenkristallen inwerkt. De toepassing van versterkingsschermen, die de

opvallende straling in licht omzet, waarmee vervolgens de film belicht wordt, doet ons echter toch denken aan de door Röntgen gemaakte opmerking (afb. 17).

Tenslotte blijft nog het verschijnsel van de ionisatie van de lucht ter beschrijving over. In Röntgen's tweede publikatie, die hoofdzakelijk dit verschijnsel behandelt, wordt geconstateerd dat de straling geladen voorwerpen ontlaaft. De lucht schijnt geleidend te worden. Om dit proces nader te onderzoeken werd een buis geconstrueerd, die op één plaats de straling toeliet en op een andere plaats de bol van een elektroscop bevatte (afb. 18). Viel straling in de buis dan trad geen ontlading op. Werd echter een luchtstroom door de buis veroorzaakt dan ontstond wel ontlading. Een wattenprop bij A geplaatst deed het effect verdwijnen in tegenstelling tot een wattenprop bij B, waarbij het effect behouden bleef. Bij drukverlaging werd het effect verminderd. Hieruit bleek duidelijk dat de lucht niet meer als isolator, doch onder invloed van de straling als geleider gaat werken. Bij het opstellen van een definitie voor een



Afb. 17. Schematische doorsnede door een röntgenfilm tussen twee versterkingschermen.



Afb. 18. Schema van de apparatuur door Röntgen gebruikt om het geleidend worden van de lucht, onder invloed van de straling, aan te tonen.

eenheid van de dosis straling werd de mate waarin de lucht geleidend wordt als maatstaf gebruikt. Deze eenheid werd naar Röntgen genoemd.

Opvallend is hierbij de overeenkomst tussen de opstelling die door Perrin in 1896 gebruikt werd en de standaard-ionisatiekamer waarmee de dosis in röntgen kan worden gemeten.

De hier behandelde onderwerpen geven stellig geen volledig beeld van de inhoud van de drie publikaties die Röntgen aan de nieuw ontdekte stralen wijdde. Ze tonen echter wel aan dat zijn onderzoek reeds alle elementen bevatte die nodig zijn om de tegenwoordige toepassing te kunnen begrijpen.

Samenvatting:

Het bijzondere nut van de röntgenstraling voor het onderzoek van patiënten is gelegen in de opvallende fysische eigenschappen. Deze straling blijkt niet overeen te komen met de in een röntgenbuis aanwezige kathodestralen, maar thuis te horen in de familie van elektromagnetische golfverschijnselen, zoals radiogolven en licht.

Overeenkomst met licht wordt gevonden in de rechtlijnige voortplanting, de fluorescentie en de inwerking op fotografisch materiaal. Punten van verschil zijn gelegen in het ontbreken (=moeilijk aantoonbaar zijn) van breking en interferentie.

Het doordringingsvermogen (dat voor het onderzoek essentieel is) is o.a. afhankelijk van de atomaire samenstelling van het object en het gehalte aan de verschillende atoomsoorten. Hierdoor hebben de gegevens, die een onderzoek met röntgenstralen oplevert, een geheel eigen karakter.

Het getuigt van grote gaven, dat W. C. Röntgen in zijn drie publikaties, die reeds zeer korte tijd na de ontdekking verschenen, het nieuwe verschijnsel zo nauwkeurig en grondig behandelde, dat er de eerste tien jaar niets essentieels aan zijn resultaten werd toegevoegd.

Röntgen was de eerste die de Nobelprijs voor natuurkunde ontving (1901).

Summary:

The special value of roentgen rays for examining patients lies in their remarkable physical properties. This radiation is not identical with the cathode rays present in a roentgen tube but must be included among the electromagnetic wave phenomena such as radio waves and light.

A similarity to light is found in linear transmission, fluorescence and the influence on photographic material. Differences lie in the absence of (readily demonstrable) refraction and interference.

Penetration (which is essential for examination) depends on such factors as the atomic composition of the object and the concentrations of various types of atoms. The data obtained by examination with roentgen rays are consequently very characteristic.

W. C. Roentgen's brilliance is demonstrated in the three papers in which, short-

ly after his discovery, he described the new phenomenon so thoroughly and accurately that nothing essential could be added to his findings within the first ten years.

Roentgen was the first scientist to receive the Nobel Prize in physics (1901).

Literatuur:

1. *Glasser, P. O.* (1958): Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
2. *Wölfflin, E.* (1957): Persoonlijke herinneringen aan Wilhelm Conrad Röntgen. Ciba-Symposium, Deel 5 no. 4, oktober.
3. *Van Wijlick, W. A. H.* (1966): Röntgen en Nederland. Proefschrift, Vrije Universiteit te Amsterdam.
4. *Kronig, R.* (1951): Leerboek der natuurkunde. Scheltema en Holkema. Amsterdam.
5. *Richards, A.G.* (1964): Sources of X-radiation in the dental office. Dental Radiography and Photography, Vol. 37, nr. 3.

Rubenslaan 119,
Utrecht.