

VEREENIGINGSVERSLAGEN.

NEDERLANDSCHE VEREENIGING VOOR ELECTROLOGIE EN RÖNTGENOLOGIE.

25ste Algemeene vergadering op Zondag 18 Mei 1913, des namiddags 1¹/₂ uur
in het poliklinicum van Prof. Wertheim Salomonson (Binnen-gasthuis).

P. J. PH. DIETZ, Waarn. voorzitter.

F. S. MEIJERS, secretaris.

Aanwezig zijn de leden: HALBERTSMA, FRANK jr., WOLF, KIKKERT, GEUKEN, WERTHEIM SALOMONSON, LAMBERTS, EYKMAN, VOORHOEVE, TIMMER, SCHONEBOOM, GOHL, KUIPERS, VAN DER HAER, DOORMAN, BOLLAAN, WESTERDIJK SR. en JR., VAN BREEMEN; als gast de heer HEILBRON.

I. P. J. PH. DIETZ, *Het meten van Röntgenstralen.*

DIETZ, Het meten van Röntgenstralen. Er zijn weinig onderwerpen in de röntgenologie, die steeds zoo actueel blijven als de pogingen om de hoeveelheid röntgenenergie, die wij op onze patiënten toepassen, te meten; en geen wonder, want sedert wij gehoord of zelf gezien hebben het ontzettende kwaad, dat wij met onze bestralingen kunnen veroorzaken, moet een ieder, die patiënten therapeutisch aan röntgenlicht blootstelt, nauwkeurig willen weten, hoeveel hij toepast. Gij allen weet, dat er vele middelen zijn, om de röntgenenergie te meten, zoovele, dat helaas ook hier opgaat wat wij zoo dikwerf in onze geneeskundige wetenschap zien: hoe meer geneesmiddelen, des te minder helpen ze. Hoe kan het ook anders, waar ons omtrent het wezen der röntgenstralen zoo weinig bekend is; hoe moeilijk is het, het onbekende te meten. Thans, nu ons omtrent de natuurkundige eigenschappen der röntgenstralen door het onvermoeide zoeken van vele werkers wat meer bekend is, leek het mij wenschelijk u mede te deelen de onderzoekingen van CHRISTEN, die aan de hand dier meer bekende natuurkundige eigenschappen, de verschillende methoden aan een critiek onderworpen en met elkaar vergeleken heeft.

Vooraf dienen wij echter enkele begrippen zuiver te omschrijven en vast te stellen, ten einde geen verwarring te stichten en zoo dienen wij eerst vast te stellen, indien men röntgenstralen meet, wat meet men dan? In de natuurkunde meet men met energieën, dus ook in de physiotherapie. Indien een energie werkt, dan wordt zij omgezet in energie van anderen vorm; werking is eenvoudig energieomzetting en indien wij van te voren de werking, de energietransformatie kunnen berekenen, kunnen wij doseeren. Niet alle energie, die wij laten werken, wordt in anderen vorm omgezet; het gedeelte, dat wordt omgezet, gedeeld door de geheele energiehoeveelheid, welke gebruikt werd om de gewilde werking te krijgen, heet *nuttig effect*.

Bij het bestralen met röntgenstralen gaat een gedeelte door het lichaam heen en een ander gedeelte wordt geabsorbeerd en omgezet in andere energievormen; de werking der röntgenstralen geschiedt door het gedeelte, dat geabsorbeerd wordt, want werking is energietransformatie. Willen wij nu het begrip van nuttig effect bij de röntgenstralen toepassen, dan is hier het nuttig effect het quotient van geabsorbeerde en indringende stralen. Dit quotient (het nuttig effect) is afhankelijk van den *hardheidsgraad* der stralen en van de dikte der te doordringen stof.

Wat is *hardheidsgraad*? Men is gewoon stralen, die een groot doordringend vermogen hebben, hard te noemen en die, welke slechts weinig doordringen, week; men mag daarbij echter niet vergeten, en dit gebeurt meestal, dat de hoeveelheid röntgenlicht, welke door een medium gedrongen is, niet alleen afhankelijk is van de hardheid der stralen, maar ook van de oorspronkelijke intensiteit; bijvoorbeeld plaats en wij

voor een met metalen letters bedekt lichtscherf een plank van 1 cM. dik en staan wij hiermede op grooten afstand van een weeke buis, dan zien wij niets op het scherm. Naderen wij nu, dan komt er een oogenblik, dat door het naderbij komen de intensiteit van het licht, dat op het scherm valt, zóó groot is geworden, dat fluorescentie optreedt en ons oog de letters waarneemt; er is dus meer licht doorgedrongen, zonder dat de hardheidsgraad van de buis veranderd is. Hiermede is het proefondervindelijke bewijs geleverd, dat de volstreckte grootte van het doorgedrongen röntgenlicht geen maatstaf is voor den hardheidsgraad.

Om nu twee stralingen met elkander wat hardheid betreft, te kunnen vergelijken en de intensiteit buiten rekening te laten, kan het vergelijken van het nuttig effect dienen en wij kunnen zeggen: Wordt door een absorbeerend medium van twee stralingen hetzelfde gedeelte geabsorbeerd, dan zijn die stralingen even hard. De hoeveelheid geabsorbeerd röntgenlicht hangt niet alleen van den hardheidsgraad af, maar ook van de dikte der absorbeerende laag; dientengevolge kan men ter beoordeeling van den hardheidsgraad twee vormen kiezen. Men kan een bepaalde dikte der laag bijv. 1 mM. vaststellen en bepalen hoeveel procent van de ingedrongen stralenenergie door deze eenheid van laag is geabsorbeerd; deze grootte noemt men den absorptie-coëfficiënt. Hoe harder de stralen zijn, des te kleiner is de absorptie-coëfficiënt. Of men kan vaststellen, dat een zeker percentage bijv. 50 pCt. door een laag geabsorbeerd zal worden en meet dan de dikte dier laag. CHRISTEN noemt de dikte dier laag de „Halbwertschicht”. Hoe harder stralen, des te grooter „Halbwertschicht”.

Nu doet zich echter dadelijk een groote moeilijkheid voor en wel, dat röntgenstralen bij voortschrijdende absorptie harder worden. Beschouwen wij dit verschijnsel in verband met den absorptie-coëfficiënt, dan zien wij, dat deze voor een bepaalde straling en een bepaald medium bijv. van 50 pCt. pro mM. op 30 pCt. voor de volgende mM. gezonken is. Of wij hebben vastgesteld, dat de straling in 8 mM. van een medium tot de helft gereduceerd is, dan zal om de doorgegangene stralen weder tot de helft te reduceeren, een laag van bijv. 11 mM. van dat medium noodig zijn; d.w.z. hoe dikker een laag is, welke de röntgenstralen te doordringen hebben, des te kleiner wordt de absorptie-coëfficiënt en des te grooter de „Halbwertschicht”. RÖNTGEN, die dit verschijnsel zelf reeds heeft waargenomen, heeft dit trachten te verklaren door aan te nemen, dat röntgenstralen door de buis uitgezonden, niet homogeen zijn maar een mengsel van weekere en hardere, waarvan de weekere in de bovenste lagen van het medium geabsorbeerd worden, en dus steeds hardere overblijven. Om aan te toonen, dat deze verklaring juist is, zou het moeten gelukken de röntgenstraling door onze buis uitgezonden, in haar onderdeelen te ontbinden m.a.w. een spectrum van dit röntgenlicht te ontwerpen. Het is bekend, dat, hoe grooter de electriciteitsspanning aan de electroden is, des te grooter de snelheid der kathodenstralen wordt en dat bij de transformatie van kathodenstralen in röntgenstralen deze des te harder zijn naarmate de snelheid der kathodenstralen grooter is. Zijn in een röntgenbuis kathodenstralen van verschillende snelheid, dan zendt de buis ook röntgenlicht van verschillende hardheid uit. Nu laten kathodenstralen zich door een magnetisch veld van richting veranderen; zijn er nu kathodenstralen van verschillende snelheid, dan zal die afwijking door een magneet ook verschillend groot zijn. Op deze wijze heeft ADAMS niet alleen het spectrum der röntgenstralen ontworpen, doch ook het bewijs geleverd, dat de kathodenstralen, die zich het meest uit hun baan lieten leiden, ook de weekere röntgenstralen leverden.

Een andere vraag is, of deze verscheidenheid van stralen groot genoeg is om voor de praktijk het verschijnsel van harder worden der straling te verklaren en deze vraag moet ontkennend worden beantwoord. Niettegenstaande de proef van ADAM kan men het röntgenstralenmengsel als nagenoeg homogeen beschouwen en wel op grond van een proef van WALTER, die door een krachtig magnetisch veld het brandpunt tot op

den rand der antikathode verplaatste, zonder dat dit brandpunt merkbaar breeder werd, wat toch zou moeten gebeuren, als in de snelheid der kathodenstralen groote verschillen waren. Deze waarneming is voor de meting van X-stralen van groote waarde, doch dan kunnen wij ons met de verklaring van RÖNTGEN niet meer tevreden stellen en heeft WALTER het feit van het harder worden willen verklaren door de secundair-stralen.

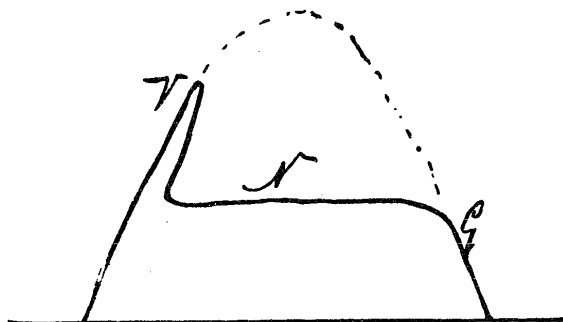
Wordt een röntgenstraling in een medium geabsorbeerd, dan wordt een gedeelte der geabsorbeerde stralen in stralen van andere doordringingskracht omgezet; deze stralen noemt men secundair-stralen. De hoeveelheid en hardheidsgraad der secundair-stralen hangt af van den hardheidsgraad der primair-straling en van den aard van het absorberende medium. Hoe harder de primair-stralen, des te rijkelijker en des te harder de secundairstralen. Hoe hooger atoomgewicht een absorberend element heeft, des te weeker secundair-stralen zendt het uit. De secundair-stralen, door lood uitgezonden, zijn zeer week, terwijl de secundair-stralen, welke water of dierlijk weefsel uitzendt, beduidend harder zijn dan de primair-stralen. Of nu de bijvoeging dier secundair-stralen de oorzaak is van het harder worden der straling, is nog niet uitgemaakt; zooveel is echter zeker, dat wij onze voorstelling opgewekt door de verklaring van RÖNTGEN, als zou een beschuttende laag de weeke stralen tegenhouden en de harde doorlaten, dus zuiver als filter werken, moeten wijzigen; en blijken dat, wat wij als filters aanzagen, veel meer transformatoren zijn, die de hardheid der stralen verhoogen.

Methoden om den hardheidsgraad te meten zijn er vele; men kan ze zelfs in groepen indeelen bijv. de groep welke berust op de waarneming van fluoresceerende velden door het oog; ik mag niet bij alle stilstaan, omdat zij voldoende bekend zijn, en slechts even herinneren aan de phantoomhand van SCHILLING, die slechts kwalitatieve waarde heeft, en de scalen van WALTER en BEEZ, die dit nadeel hebben, dat er niet alleen bij hardere straling meer velden zichtbaar worden, doch ook indien de intensiteit der straling toeneemt. Een verbetering van zulke scalen zijn de tweemetalige scalen, die daarop berusten, dat sommige stoffen, voornamelijk de elementen der zilvergroepe, de weeke stralen maar weinig sterker absorbeeren dan de harde. Neemt men nu stralen van gemiddelde hardheid en zendt men die door twee plaatjes van zilver en aluminium, dan kan men de dikte dier plaatjes zóó kiezen, dat op een fluoresceerend scherm twee velden van gelijke lichtkracht verschijnen. Laat men die plaatjes nu door weeker licht bestralen, dan wordt dit licht door het aluminium sterker geabsorbeerd dan door het zilver; het veld achter het zilverplaatje wordt maar weinig donkerder, dat achter het aluminiumplaatje aanmerkelijk donkerder. Hier volgt uit, dat hoe harder de stralen worden, des te dikker het aluminiumplaatje zijn moet, opdat evenveel röntgenstralen geabsorbeerd worden als door een zilverplaatje van een bepaalde dikte. RÖNTGEN zelf heeft dit voor een hardheidsmeter toegepast en daarbij platina en aluminium als metalen gebruikt. BENOIST vond, dat de verschillen tusschen zilver en aluminium grooter waren dan tusschen platina en aluminium, en vervaardigde hiermede een scala. WALTER verbeterde de BENOIST-scala, doordat hij de toeneming der aluminiumdikte wijzigde. WEHNELT bezigde in plaats van een aluminiumtrap een aluminiumwig, die voorbij een spleet geschoven wordt; een verbetering is, dat WEHNELT het instrument zóó ingericht heeft, dat het buitenlicht niet storend werkt, zoodat men het vertrek niet behoeft donker te maken. De eenheden van al deze scalen zijn natuurlijk zeer willekeurig en er zijn zooveel eenheden als er scalen zijn.

Uit theoretisch en physisch oogpunt zeer belangrijk is de groep der elektrische hardheidsmeters, omdat zij ons dwingt met enkele zeer belangrijke natuurkundige verschijnselen rekening te houden. Hoe grooter snelheid de kathodenstralen hebben, des te harder zijn de röntgenstralen, die zij verwekken. De snelheid der kathodenstralen is echter grooter, naarmate de electriche spanning aan de electroden grooter

is; de hardheid der röntgenstralen gaat dus met de elektrische spanning aan de polen evenwijdig. Alvorens dit denkbeeld praktisch toe te passen voor de meting der hardheid, moeten wij in het kort nagaan, hoe het met die spanning in den secundairkring van onze toestellen gesteld is.

Indien wij de polen van een inductor zóó ver uit elkander brengen, dat tusschen beide geen vonk kan overspringen, zal bij iederen inductiestoot een spanningsverschil ontstaan, dat van nul tot een maximum stijgt om dan weder tot nul te dalen, dus graphisch voorgesteld aldus:



Wordt nu tusschen deze beide polen een röntgenbuis ingeschakeld, dan wordt het verloop dier spanningskromme geheel anders. In het begin loopen beide lijnen samen tot een punt V , waarop de spanning hoog genoeg geworden is om het geringe gasrestje in de buis te ioniseeren en dus geleidend te maken; dan gaat de electriciteit door de buis vloeien.

Daarbij is het belangrijk, dat een gas, indien het eenmaal geleidend gemaakt is, bij veel minder spanning de electriciteit geleidt dan het voor zijn ionisatie noodig had. De spanning V , d. i. de spanning, waarbij in de buis de vonk overspringt en het gas ioniseert, heet de vonkenpotentialiaal. Daar de aan de polen opgehoopte electriciteit nu vrij afvloeien kan, blijft de spanning verder horizontaal op het niveau N verlopen en pas wanneer in G de spanning nog maar net genoeg is om de electriciteit door de buis te doen vloeien, zullen daaronder de beide spanningskrommen weer hetzelfde verloop hebben. Het ongeveer horizontale verloop van het niveau N heeft het voordeel, dat wij voor den tijd, dat de stroom door de buis gaat, de secundair-spanning als standvastig kunnen beschouwen; gewichtig is, dat deze spanning aanmerkelijk lager is dan de vonkenpotentialiaal. Heeft zich nu aan de polen een groote hoeveelheid electriciteit opgehoopt, dan zal het niveau N hoger zijn, dan wanneer slechts een kleine hoeveelheid electriciteit afvloeit. Ook in de praktijk kan men makkelijk aantonen, dat bij hogere belasting, dus hoger niveau van N , de stralen harder worden, door een metalige scala eerst te photographeeren met zwakke belasting en daarna evenredig korteren tijd met sterke belasting; het tweede beeld zal dan een aanmerkelijk hooger hardheidsgraad aangeven dan het eerste. Voor de photographie is dit in zooverre gewichtig, dat wij wel moeten weten, dat indien wij, wat wij toch altijd doen, bij zwakke belasting de hardheid bepalen, er rekening mede moeten houden, dat voor een momentopname dezelfde buis veel harder licht zal geven.

Nu heeft men gemeend die secundairspanning met de parallele „Funkenstrecke”, den *spintermeter* te meten, doch dit is niet juist; de spintermeter meet de vonkenpotentialiaal en niet het niveau N . De metingen met den spintermeter zijn te zeer afhankelijk van den vorm der electroden en het stelsel der toestellen, dan dat men een volstrekte waarde aan de meting met dit instrument mag hechten.

Anders is het gesteld met den *milliampèremeter*. Deze dient om de stroomsterkte in den secundairen stroomkring te meten. Nu hangt de hardheidsgraad samen met de secundairspanningen, niet rechtstreeks met de stroomsterkte en toch hebben wij in dit instrument een middel om gedurende het bedrijf de veranderingen in hardheidsgraad vrij nauwkeurig waar te nemen.

Er is namelijk een vrijwel vaste verhouding tusschen de electriciteitsenergie van primair en secundair kring. Laten wij nu de primaire energie onveranderd en verandert de secundairspanning, omdat de buis harder wordt, dan zal, aangezien het

product van spanning en stroomsterkte hetzelfde blijft, de secundaire stroomsterkte afnemen. Die afneming wijst ons de milliamperemeter aan. Men kan zelfs het toe- of afnemen procentisch schatten, dus aflezen hoeveel procent de milliamperemeter op- of terugloopt.

KLINGELFUSZ baseerde zijn elektrischen hardheidsmeter, dien hij sklerometer noemt, op het meten van de werkzame spanning, de hoogte van het niveau N tijdens het functioneeren der buis. Die spanning is veel geringer dan de vonkenpotentiaal, zelfs in die mate, dat de graphische voorstelling van zoeven een onjuist beeld geeft van de verhouding. KLINGELFUSZ geeft de volgende tabel:

Vonkenpotentiaal	89000	133000	178000	222000
Werkzame spanning.	13600	22000	24500	30600
Quotient.	7	6.7	7.2	7
Hardheidsgraad	5	6.2	6.8	7.8 Ben.

Men ziet dus, dat de vonkenpotentiaal zeven maal grooter is dan de werkzame spanning. Het beginsel van zijn meettoestel is, dat om den inductor juist in het midden tusschen de polen een aantal windingen gevoerd worden, welke naar een electrometer voeren. Hoofdzaak van deze inrichting is, dat de hooge spanning van de vonkenpotentiaal niet aangewezen wordt door de meetinrichting, wat KLINGELFUSZ aantoonde doordat overal waar de hooge spanning van de vonkenpotentiaal optreedt, pluimontladingen ontstaan en deze steeds aan de polen en niet in het midden van den inductor optreden. BERGONIE (Bordeaux) had dezelfde gedachte als KLINGELFUSZ; ook hij mat de secundaire werkzame spanning, doch vindt andere waarden dan KLINGELFUSZ; hij vindt waarden die $1\frac{1}{2}$ à $2\frac{1}{2}$ maal grooter zijn dan die van KLINGELFUSZ. Welke onderzoeker het dichtst bij de waarheid is, is nog niet uitgemaakt.

Van de groep der elektrische hardheidsmeters rest ons nog te bespreken den hardheidsmeter of *qualimeter* van BAUER, die berust op het meten van den uitslag, waarmede twee gelijkvormig geladen lichamen elkaar afstooten. Volgens BAUER beteekent iedere deelstreep van zijn hardheidsmeter één tiende millimeter lood, zoodat als de wijzer op 4 staat, de stralen door 0.4 mM. lood geabsorbeerd worden. Als men nu zijn instrument als een hardheidsmeter aanbiedt, dan heeft men weer vergeten, dat de dikte van een middenstof, die een bepaalde stralen-energie geheel absorbeert, niet alleen afhangt van de hardheid, maar ook van de intensiteit dier straling, zooals ik reeds boven besprak. WALTER heeft met den *qualimeter* van BAUER uitvoerige proeven genomen, waarvan de uitslag is, dat men binnen zekere grenzen slechts betrekkelijke veranderingen van hardheid op den *qualimeter* van BAUER kan aflezen.

Hardheid en wat de Duitschers noemen „Durchdringungsfähigkeit” zijn niet geheel hetzelfde, omdat het doordringend vermogen voor verschillende stoffen geheel verschillend kan zijn. Bij ons röntgenwerk hebben wij te doen met dierlijk weefsel en is dus vooral voor ons van belang de hardheid der stralen ten opzichte van dat weefsel te leeren kennen. Nu bestaan onze organen voor een groot gedeelte uit water en kunnen wij praktisch volstaan met de hardheid te bepalen ten opzichte van water; huid absorbeert iets meer, vetweefsel iets minder. Te voren hebben wij besproken dat om tot een goed begrip van hardheid te komen wij bij onze meting ons onafhankelijk moeten maken van de intensiteit en dat wij dit kunnen doen door in te voeren het begrip „Halbwertschicht” d. w. z. dat als wij spreken van een 4 mM. straling die stralen eene zoodanige hardheid hebben, dat door een laag van 4 mM. gedestilleerd water de helft geabsorbeerd wordt.

Daar water voor onze doeleinden een moeilijk te hanteeren materiaal is, zocht CHRISTEN een vaste stof met dezelfde dichtheid voor röntgenstralen als water en vond dit in het bakelit (calcium-magnesium-silicaat). Hij toonde dit aan door een stuk

bakelit in water te leggen en het geheel te fotografeeren, waarbij het bakelit zich niet afteekent. Neemt men dezelfde proef met ijs en water, dan teekent het ijs zich wel af, dus wel een bewijs dat deze proef zeer fijn is. Om nu vast te stellen, hoe dik een stuk bakelit zijn moet om van een straling de helft weg te nemen, moeten wij een inrichting hebben, welke ons in staat stelt van iedere straling, onafhankelijk van den hardheidsgraad, steeds de helft weg te nemen. Dit bereikt CHRISTEN door een schijf uit ondoordringbaar materiaal waarin zóóveel gaten geboord zijn, dat juist de helft van het oorspronkelijke oppervlak is blijven staan. Brengt men deze schijf op eenigen afstand van een fluoresceerend scherm, dan krijgt men een diffuus verlicht veld, welks lichtkracht veroorzaakt wordt door de halve intensiteit der straling, die de buis uitzendt. Nu behoeft men maar bakelitstukken van verschillende dikte naast dit veld te plaatsen en uit te zoeken, welke bakelidikte dezelfde lichtintensiteit op het scherm geeft, om dadelijk de „Halbwertschicht“ der straling voor water te kennen. De bouw van het instrument is verder evenals de kryptoradiometer van WEHNELT.

Reeds vroeger hebben wij er op gewezen, dat de röntgenstralen bij doorgang door een medium harder worden; de vraag is nu, of dat een bron van fouten zijn kan bij de gebruikelijke hardheidsmeters, afgezien van de vraag of dit harder worden een gevolg is van transformatie of filtratie. Daarbij moeten wij bedenken, dat de secundairstralen steeds een bijzonder groot doordringend vermogen hebben voor de stof, waarin zij ontstaan zijn, of met andere woorden, dat zij door de stof, waarin zij ontstaan zijn, slechts zwak geabsorbeerd worden. Bij het zilver bijv. zijn de secundairstralen voor water week doch voor zilver zeer hard. Legt men nu een dun zilver blaadje over een WALTER-BENOIST-scala, dan ontstaan in het zilver secundairstralen, die zeer gemakkelijk door het zilverplaatje der scala dringen en het desbetreffende veld op het lichtscherm aanzienlijk meer doen oplichten dan de primairstraling, welke door dezelfde zilverdikte gedrongen zou zijn, en nu overeenkomt met een aluminiumveld van geringere dikte dan oorspronkelijk en dientengevolge vindt men met de tweemetalige scala een verlaging der hardheid tengevolge van filtreren door zilver. Voert men dezelfde proef met den absoluten hardheidsmeter van CHRISTEN uit, dan vindt men van dat weeker worden niets.

Ik zou aan den titel van mijn referaat te kort doen, indien ik het bij de bespreking van de hardheidsmeting liet; wij practici wenschen behalve de hardheid te weten de hoeveelheid röntgenenergie, die wij toepassen en dan worden in de physica energieën gemeten door deze te ontbinden in hun factoren en die te vermenigvuldigen; bijv. de overgezette energie van een gelijkstroom-kring berekent men uit het product van stroomsterkte, spanning en tijd. Deze rechtstreeksche energiemeting kunnen wij bij röntgenstralen helaas niet toepassen, omdat wij de factoren niet kennen. Er bestaat echter nog een andere energie-meting nl. door ze met een anderen wel meetbaren energievorm te vergelijken, door die energie in dien meetbaren vorm om te zetten liefst met een nuttig effect van 100 pCt. Dit kan bij röntgenstralen echter ook nog niet, omdat de röntgenstralen zich slechts gedeeltelijk omzetten; indien nu het nuttig effect bij die omzetting maar gelijk blijft, dan is die omzetting toch voor onze meting bruikbaar. Indien wij nu eens nagaan, in welke energievormen de röntgenstraling bij absorptie omgezet wordt, dan vinden wij:

Phosphorescentie.

Fluorescentie.

Elektriciteit.

Warmte.

Chemische werking.

Ionisatie.

Vooropgesteld moet worden, dat alle desbetreffende metingen dezer energie-omzet-

tingen waardeloos zijn, indien niet tevens rekening wordt gehouden met de hardheid der straling (WERTHEIM SALOMONSON), omdat de werking der röntgenstralen alleen afhangt van de geabsorbeerde stralen en het aandeel der stralen, dat geabsorbeerd wordt, weder afhangt van de hardheid. Gaan wij nu de verschillende energievormen de rij langs en beginnen wij met de phosphorescentie, dan is aan WERTHEIM SALOMONSON gebleken, dat de lichtkracht der lichtgevende stof te zeer van de temperatuur afhankelijk was om daarmee zekere uitkomsten te verkrijgen.

Van de fluoresceerende werking is tot meting een ruim gebruik gemaakt; reeds RÖNTGEN maakte vergelijkingen tusschen stralingen door hun werking op het fluoresceerend scherm te vergelijken. Deze vergelijking gaat echter alleen op, als men stralingen van dezelfde hardheid heeft, anders heeft bij gelijk lichtveld de hardere straling een grootere intensiteit, omdat daarvan minder door het scherm geabsorbeerd is geworden. COURTADE vergelijkt de lichtkracht van het scherm door de röntgenstraling met de lichtkracht van radiumstralen en regelt den brandpuntsafstand van de buis, totdat beide gelijk zijn; de intensiteit der straling is dan evenredig met het vierkant der afstanden. GAIFFE maakte gebruik van de eigenschap van Ba Pt Cy, dat bij langere bestraling de fluorescentie afneemt; men zegt het scherm vermoeit. Hij bedekt de eene helft van het scherm met steeds dikkere lagen en laat de andere helft onbedekt. Dat onbedekte gedeelte geeft in het begin het meeste licht; bestraalt men nog langer, dan wordt het 1ste vak lichter, vervolgens het 2de enz. Ook hier houdt hij geen rekening met den hardheidsgraad en hangt de vermoeieniseigenschap te zeer af van de hoedanigheid van het scherm en van het bindmiddel om voor de praktijk geschikt te zijn.

De tweede groep, de omzetting in elektrische lading, kan men onderverdeelen in stroommeting en spanningsmeting. Dompelt men twee met Ag Cl bedekte electroden in een keukenzoutoplossing en bestraalt men één van beide, dan ontstaat tusschen beide een potentiaalverschil. De methode is zeer teer en slechts bij kortdurende bestralingen aan de bestralings-energie evenredig.

De eigenschap, dat metalen, die door röntgenstralen getroffen worden, een elektrische lading krijgen, welker spanning gemeten wordt, is ook door verscheidene onderzoekers voor het meten benut. PIFFARD bracht een messingbol van 3 cM. doorsnede in het stralengebied; deze bol was met een electroscoop verbonden, welks uitslag iedere verandering in den secundairen stroomkring zou volgen. Tot een practisch bruikbare methode is dit denkbeeld nooit uitgewerkt, ook niet door BEEZ en FÜRSTENAU, die dezelfde gedachten gewijzigd hebben toegepast. FORSTER ontdekte, dat de elektrische weerstand van het selenium zich bij bestraling verandert en RUHMER en LEVY hebben daarop een meetmethode gebouwd, die ook in de praktijk geen ingang heeft kunnen vinden.

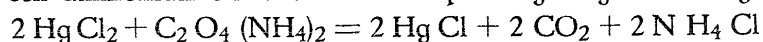
De energie-omzetting in warmte wordt steeds in de natuurkunde gaarne gemeten, omdat per slot van rekening de meeste energie in warmte wordt omgezet, dus het nuttig effect dezer omzetting het grootste is. Bij röntgenstraling is het nog twijfelachtig of energie-omzetting in warmte plaats heeft. DORN en RUTHERFORD hebben de door röntgenstralen ontstane warmte gemeten, LEININGER had een negatief resultaat; ANGERER heeft weer de onderzoekingen van DORN bevestigd: het is begrijpelijk, dat bij dezen stand van zaken, de warmtemeting voor ons laboratorium nog niet bruikbaar is.

Ruim gebruik is er gemaakt van de chemische werking en het meest bekend is wel de photographische werking, de ontleding van het broomzilver-molecule. Bij deze methode wordt natuurlijk alleen weer dat gedeelte van de röntgenenergie gemeten, dat in de broomzilverlaag geabsorbeerd wordt; ook hier zullen wij dus bij harde straling een betrekkelijk te geringe werking opteekenen. Een voordeel van deze methode is, dat wij de uitwerking der röntgenstraling met bekende lichtstraling vergelijken kunnen bijv. met de lichtwerking op broomzilver van één HEFNER-kaars. Deze methode is in

bijzonderheden uitgewerkt door KIENBÖCK in zijn zgn. quantimeter. Reepjes lichtgevoelig papier worden meebestraald en in een voorgeschreven ontwikkelaar een bepaalden tijd bij bepaalde temperatuur ontwikkeld en de tint daarna vergeleken met een standaardscala, waarvan de donkerste tint overeenkomt met de erytheemdosis, die in 10 tinten onderverdeeld is. KIENBÖCK noemt zijn eenheden x.; 5 x. is dus $1/2$ erytheemdosis. Daar ook KIENBÖCK de groote beteekenis van den hardheidsgraad voor de dosering heeft ingezien, beveelt hij aan gelijktijdig meer reepjes aan de stralen bloot te stellen onder aluminium-plaatjes van stijgende dikte. Aluminium heeft n.l. de eigenschap, dat 1 mM. er van ongeveer evenveel absorbeert als 1 cM. water; daaruit volgt, zegt KIENBÖCK, dat als men een reepje onder een laag van 2 mM. aluminium bestraalt, de tint van dit reepje de dosis onder een laag lichaamsweefsel van 2 cM. weergeeft. Het is echter nog niet uitgemaakt, of aluminium de stralen op dezelfde wijze harder maakt als een 10-maal dikkere laag lichaamsweefsel. Een groot voordeel van de methode van KIENBÖCK is, dat door de groote gevoeligheid van het quantimeterpapier, men het op denzelfden brandpuntsafstand kan aanbrengen als de huid en dat door de geringe dikte men het dadelijk op de huid kan leggen zonder vrees, dat daardoor een noemenswaardig gedeelte wordt weggenomen. De ontwikkeling is echter een groot bezwaar en ook moet men maar vertrouwen op de goede hoedanigheid van het reageerpapier. KIENBÖCK zelf geeft dan ook den raad bij iedere nieuwe zending papier de gevoeligheid van het papier door controleproeven met vorig papier te vergelijken. Kort genomen is de quantimeter van KIENBÖCK, vooropgesteld dat alle voorschriften nauwkeurig worden opgevolgd, een betrouwbaar instrument voor de huiddosis bij gemiddelden hardheidsgraad. Voor hooger en hardheidsgraad is de overeenstemming met de huiddosis onwaarschijnlijk.

HOLZKNECHT heeft het denkbeeld gehad de verkleurende werking, die röntgenstralen op halogeenzouten hebben, als chromoradiometer te gebruiken; in de praktijk is het aflezen van kleurnuanceering steeds van de belichting afhankelijk; nog onaangenamer is, dat bij deze methode temperatuur en vochtigheidstoestand van de lucht van groote invloed zijn. SABOURAUD en NOIRÉ hebben de verkleuring van Bar. Pt. Cy. voor chromoradiometrische waarneming gebezigd en niettegenstaande volgens onderzoekingen van WERTHEIM SALOMONSON de gevoeligheid van de pastille niet groot is en de invloed van temperatuur en vochtigheid duidelijk merkbaar zijn, heeft deze meetmethode een groot aantal vrienden. De geringe gevoeligheid wordt verholpen door de pastille op den halven brandpuntsafstand aan te brengen: met den invloed van de temperatuur is voldoende rekening gehouden, als men 1 cM. van den wand der buis af blijft, en de invloed van de vochtigheid is buiten te sluiten door de pastille met een afsluitende lak te bedekken. De verkleuring der pastille is evenals alle andere methoden niet een gevolg van de opvallende maar van de geabsorbeerde stralen, en aangezien het Bar. Pt. Cy. tamelijk veel resorbeert en de pastille vrij dik is, moet men zich wel bewust zijn, dat men bij harde stralen te geringe waarde en bij weeke stralen te groote waarde vindt. Bij zeer harde stralen kunnen wij aanmerkelijk meer dan een erytheemdosis naar SABOURAUD geven, zonder erytheem te krijgen, bij zeer weeke stralen kan men het erytheem reeds bij een gedeelte der erytheemdosis naar SABOURAUD verwachten. Belangwekkend is in dit opzicht een mededeeling van HANS MEYER te Kiel, die vond, dat bij 1 cM. straling de erytheemdosis bereikt wordt met 1 Sab.; bij 1.5 cM. straling de erytheemdosis bereikt wordt met 1.2 Sab.; bij 2 cM. straling de erytheemdosis bereikt wordt met 1.6 Sab.; bij 2.5 cM. straling de erytheemdosis bereikt wordt met 2 Sab.. HOLZKNECHT heeft de methode van SABOURAUD zoodanig gewijzigd, dat ook gedeelten van een erytheemdosis zijn af te lezen; over een reeks pastilles van dezelfde kleur laat hij een celluloid band loopen, waarvan de kleurintensiteit toeneemt en daardoor iedere volgende pastille iets donkerder lijkt. Aan BORDIER is het gelukt

een praeparaat te vervaardigen, dat op röntgenstralen krachtiger reageert dan het Bar. Pt. Cy. Bovendien zijn de pastilles zóó dun, dat men ze evenals het quantimeterpapier van KIENBÖCK op de huid kan leggen, zonder dat zij noemenswaard stralen voor het onderliggende gedeelte wegnemen. Jammer is, dat BORDIER weer een nieuwe scala maakte, waarbij een BORDIER-eenheid driemaal die van KIENBÖCK is. Tot de intensiteitsmeters, welke berusten op de omzetting in chemische werking, behoort de calomel-radiometer van SCHWARZ. De reactie zelf is door EDER ontdekt en berust op de ontleding van een ammonium-oxalaat-sublimaatoplossing volgens de volgende formule:



De meting van het gevormde kalomel geschiedde eerst door centrifugeeren en meting van de hoogte van het neerslag; later heeft men de troebeling optisch beoordeeld. Aangezien de reactie niet zeer gevoelig is, moet de vloeistof op den halven brandpuntsafstand aangebracht worden. De eenheden noemt SCHWARZ een kalom. Eén kalom is ongeveer 3 x van KIENBÖCK.

Onderaan op onze lijst van energie-vormen, waarin de röntgenstraling omgezet wordt, staat de ionisatie. De lucht, welke door röntgenstralen wordt getroffen, wordt geïoniseerd, wordt een geleider voor electriciteit. Op de volgende wijze heeft men nu voor de meting der intensiteit van deze eigenschap partij getrokken. Van een luchtkamer, de ionisatiekamer, is één wand geleidend met de aarde verbonden, de andere met een electrometer, welke door een kleine electriseermachine zoover opgeladen wordt, totdat de naald op nul staat. Door een zorgvuldige isolatie blijft de naald daarop staan; wordt de ionisatiekamer bestraald, dan is een ontladingsstroom mogelijk en de naald loopt terug. Ook deze quantimeter geeft slechts juiste waarden aan voor een bepaalden hardheidsgraad, tenzij men onder de naald verschillende schalen aanbrengt. Indien deze iontoquantimeter in de praktijk zal voldoen, wat de ontwerpers beloven, heeft zij het groote voordeel, dat al de moeilijkheden van het vergelijken van kleur en tintnuanceering wegvallen.

Ik ben hiermede aan het eind van mijn referaat, waarvan de bedoeling was nog eens er aan te herinneren, dat geen van onze radiometers voor meer dan een bepaalden hardheidsgraad juist zijn en dat als wij dat uit het oog verliezen en wij bestralen met week stralen vertrouwend op onzen intensiteitsmeter, wij aan onaangename verrassingen blootstaan. Ook het begrip van filtratie der Röntgenstralen mogen wij zoo maar niet als vaststaande aannemen en bedenken, dat wat wij als filters gebruiken waarschijnlijk transformatoren zijn, die den aard der straling wijzigen.

Discussie.

De heer WERTHEIM SALOMONSON waardeert ten zeerste de wijze, waarop de spreker dit niet gemakkelijke onderwerp heeft behandeld. Hij wenscht echter eenige opmerkingen te maken naar aanleiding van enkele uitdrukkingen en feiten door spreker genoemd.

Dit geldt vooreerst voor de uitdrukking Röntgen-spectrum, dat door den spreker in een andere beteekenis gebruikt wordt dan volgens de tegenwoordige opvatting daaraan gehecht wordt. De verbreding van een kathodenstraalbundel, welke daardoor ontstaat, dat de langzaam bewegende electronen een grootere afwijking van de rechte lijn ondergaan dan de sneller bewegende electronen, wanneer deze door een magnetisch veld zich bewegen, dient men eerder kathodenstraalspectrum te noemen. Met een Röntgenspectrum dient men aan te duiden het uit elkaar vallen van een bundel Röntgenstralen in kleinere bundels van verschillende golflengte, zooals dat bijv. geschiedt, wanneer een smalle bundel door een kristal gaat, zooals LAUE ontdekt heeft. Wij weten vrij zeker, dat de botsing van een electron tegen de antikathode niet een onmiddellijken stilstand van het electron veroorzaakt, doch dat een groot aantal kleinere botsingen moeten plaats grijpen, alvorens een betrekkelijke rusttoestand

bereikt is. Het is dus aannemelijk, dat elke botsing een vrij lange reeks van aetherstooten uitzendt, die het karakter van een rij golven bezitten en dat hierbij wel degelijk van golflengte mag gesproken worden. Trouwens HAGA heeft een dergelijke golflengte kunnen meten en deze stemt wat de orde van grootte betreft, eenigszins overeen met de door LAUE uit zijn proeven berekende golflengten. Hieruit blijkt tevens, dat een bundel Röntgenstralen in den regel uit een samenstel van stralen van zeer verschillende golflengte bestaat. Aangezien deze stralen in verschillende mate geabsorbeerd worden kunnen wij door een gepast gebruik van aluminiumfilters deze bundels ontdoen van de weekere stralen d. w. z. dezulke met een grootere golflengte. Een tweede opmerking betreft de door spreker aangehaalde opvatting van CHRISTEN betreffende het werkzame niveau waarop de spanning aan de electroden van de Röntgenbuis daalt, zoodra de eerste ontlading daardoor gevloeid is. Het kan voorkomen, dat in een buis bij rust het vacuum toeneemt, doordien gassen in de metaaldeelen of in den glaswand geabsorbeerd worden, welke gassen weder vrij gegeven worden bij verwarming en ook door ontladingen door de buis. Maar dit wordt niet bedoeld. Wanneer een buis gebruikt wordt, moeten bij elke ontlading de electroden eerst op een zekere spanning gebracht worden; levert de electriciteitsbron genoeg electriciteit, dan is er geen reden, dat die spanning daalt. Er zijn proeven genomen door DUDELL, waaruit blijkt, dat inderdaad van deze daling der spanning niets te zien is.

Mijn laatste opmerking betreft de invoering van het begrip „Halbwertschicht”, hetwelk CHRISTEN klaarblijkelijk ontleend heeft aan het begrip der „tijdconstante” voor de radio-activiteit van de vervalproducten van het radium, thorium enz. Reeds voor veel jaren is door DEANE BUTCHER een middel aangegeven om deze te bepalen: hij reduceert de intensiteit van een Röntgenstraalbundel op de helft, door dezen te laten doorgaan langs den rand van een snel draaiende looden schijf met in den rand uitgesneden tanden. Deze methode heeft echter geen ingang gevonden. Of CHRISTEN's methode gebruikt zal worden, dient afgewacht te worden. Ik vermoed echter, dat dit niet snel gaan zal, daar er m. i. geen enkele reden bestaat om de karakteriseering door de „Halbwertschicht” te verkiezen boven een hardheidsbepaling volgens BENOIST, welke aan alle praktische eischen voldoet, en welke theoretisch eerder beter is dan die van CHRISTEN dan omgekeerd.

De heer DIETZ waardeert ten zeerste, dat zijn voordracht aanleiding heeft gegeven tot de gemaakte opmerkingen.

II. J. K. A. WERTHEIM SALOMONSON, *Demonstratie van een omgebouwd Röntgen-toestel.*

Een paar jaar geleden kwam ik in het bezit van een hoogspanningsgenerator voor Röntgendoeleinden, voor aansluiting aan wisselstroom van 220 volt spanning. Het toestel heeft een paar jaar in de onderzoekkamer gestaan, doch werd feitelijk nimmer gebruikt: het werkte zóó onregelmatig en slecht, maakte de buizen zóó snel hard, dat wij het maar liever ongebruikt lieten staan. Ik besloot toen het toestel om te bouwen. Hierbij deden zich verschillende moeilijkheden voor, waarvan de voornaamste wel was, dat bij eventueele rechtstreeksche aansluiting aan 220 volt het stroomgebruik zóó groot zou worden, dat bij alle welwillendheid der autoriteiten een aansluiting niet zou kunnen worden geoorloofd. Daar het aanbrenge van een nieuwe primaire wikkeling bezwaar opleverde, heb ik ten slotte de moeilijkheid ondervangen, door den gebruiksstroom eerst tot een lagere spanning om te zetten en wel tot 80 volt, welk bedrag zoo noodig nog kon worden opgevoerd tot 100 volt of zelfs tot 120 volt. Het bleek mij echter spoedig, dat bij 80 volt goede uitkomsten verkregen werden.

De hoogspanningsgelijkrichter, die zich nu in het toestel bevindt, werd mij geleverd door de firma SIEMENS en HALSKE. Met het oog op de ruimtebesparing werd deze eerst nog 50 cM ingekort, waardoor de werking in geen enkel opzicht geschaad werd.

WERTHEIM
SALOMON
SON, Een
omgebouwd
Roengen-
toestel.