

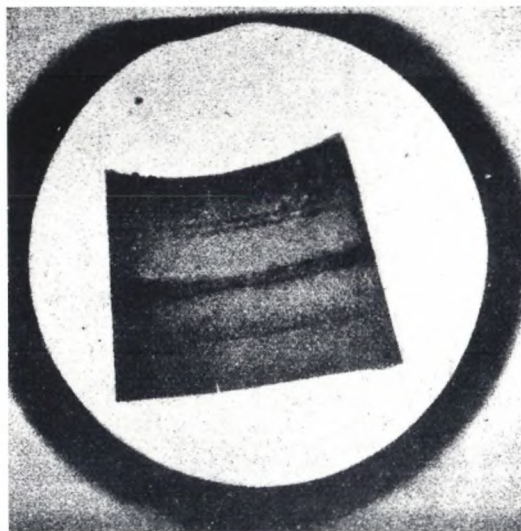
Opdagelsen af de Röntgenske stråler for 100 år siden.

Asger Lindegaard-Andersen og Leif Gerward
Fysisk Institut, DTU

Om aftenen den 8. november 1895 skete der i et fysiklaboratorium på Universitetet i Würzburg i Bayern noget som hurtigt blev en verdenssensation. Den 50-årige professor Wilhelm Conrad Röntgen var som mange andre af datidens videnskabsmænd i gang med at undersøge den højspændte elektriske udladning fra et Hittorf-Crookes-rør. I hovedsagen er det en glasbeholder af en eller anden form, hvor der på to steder langt fra hinanden er indsmeltet en platintråd. Fra katoden udgår stråler, de såkaldte katodestråler, som ved at træffe glasset, bringer dette til at fluorescere med en af glassorten afhængig farve, ofte grønt. Ved et tilfælde konstaterede Röntgen, at en fluorescerende skærm (en papskive belagt med bariumplatincyanoide), placeret på nogen afstand fra katodestrålerøret, lyste op i takt med de elektriske udladninger. Fluorescensen var des mere bemærkelsesværdig, idet Röntgen i forvejen havde indkapslet røret fuldstændigt i sort karton. Röntgen fandt, at han måtte have med stråler at gøre: fra det Crookeske rørs lysende, fluorescerende del udgik usynlige stråler, som formåede at trænge igennem luft, hvilket ikke var så mærkeligt, og pap, hvad der var mere interessant. På øjet virkede disse stråler ikke, men de fremkaldte fluorescens, og fluorescenslyset virkede på øjet. Med anvendelse af den fluorescerende skærm som detektor fandt Röntgen, at den usynlige stråling kunne trænge igennem andre ugenomsigtige objekter end pap. Ved at gennemlyse sin hånd så Röntgen med forbauselse knoglerne og omridset af hånden aftegne sig på skærmen. Röntgen fandt snart, at X-strålerne, som han kaldte dem, kunne eksponere en fotografisk emulsion lige som det synlige lys. Det var en betydningsfuld opdagelse, fordi Röntgen nu kunne dokumentere sine iagttagelser på film i stedet for at være afhængig af det subjektive skøn af lyset fra den fluorescerende skærm.

Röntgens opdagelse besatte ham i den grad, at han i de følgende seks uger gennemførte en hektisk og bemærkelsesværdig grundig undersøgelse¹ af røntgenstrålernes egenskaber. Han påviste, at ved passage gennem stof svækkes strålingsintensiteten i en grad, der afhænger af materialets tykkelse og densitet, og han målte den ækvivalente tykkelse af forskellige materialer; han observerede udsendelsen af sekundærstråling fra bestrålede prøver; han konstaterede, at røntgenstrålerne udbreder sig retliniet og uden afbøjning i linser og prisme, og han skønnede, at brydningsforholdets afvigelse fra én er mindre end 0,05; han optog en del radiografier, bl.a. et, som viser inhomogeniteter i et metalstykke (Figur 1). Den 22. december 1895 optog han det første anatomiske røntgenradiografi af sin kones hånd. Forsøgsopstillingen er vist på

Figur 2. Röntgens anden afhandling² om røntgenstrålerne omhandler strålingens ioniserende virkning. Katodestrålerørets konstruktion var nu også blevet forbedret med en antikatode (anode) af metal (først platin, senere wolfram) og en fokuserende aluminiumkatode.

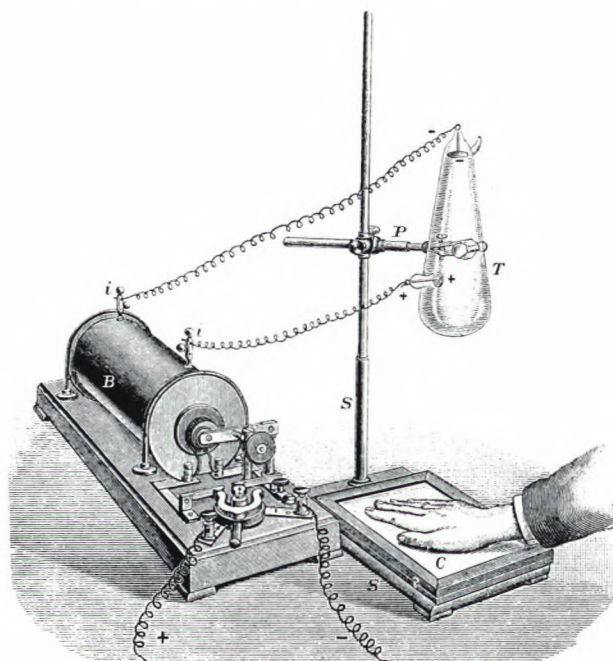


Figur 1. Radiografi af et metalstykke, der indeholder inhomogeniteter. Billedet er det første eksempel på ikke-destruktiv prøvning med anvendelse af røntgenstråling.

Efter yderligere et års arbejde fremlagde Röntgen en tredje afhandling³, hvori han bl.a. beskriver forøgelsen af strålingens "hårdhed" ved passage gennem stof. Han var tæt på at opdage røntgendiffraction, da han målte røntgenstrålingens transmission gennem enkrystaller i forskellige krystallografiske retninger. Men det skulle være til 1912, inden Max von Laue og hans medarbejdere Walter Friedrich og Paul Knipping⁴ ved diffraction i krystaller kunne påvise dels krystallernes periodiske struktur, dels røntgenstrålingens natur som elektromagnetisk stråling.

Röntgens artikler er interessant læsning, og de er desuden velformulerede i et klart og tydeligt sprog. I sit videnskabelige arbejde opnåede Röntgen en usædvanlig præcision kombineret med en lige så usædvanlig koncentration og forenkling. Han foretrak at fremlægge sine resultater uden noget større matematisk formelapparat, men det var ikke ensbetydende med en nedvurdering af de teoretiske metoder. (Det er også sådan jeg gerne vil have det. *Red.*) Tværtimod understregede han tit for sine elever de tre efter hans mening vigtigste forudsætningsfag for et fremgangsrigt fysikstudium: matematik, matematik og atter matematik! Som fysiker har man meget at lære af Röntgen. Han var en dygtig eksperimentator, som selv

konstruerede de fleste af sine forsøgsopstillinger, og han var god til at stille de afgørende spørgsmål. Han gennemførte sine eksperimenter med pinlig nøjagtighed, og han bestræbte sig for at fjerne enhver tænkelig fejkilde i sine målemetoder. Det videnskabelige arbejde opfattede han som en kamp med Naturen, der med alle midler forsvarede sine hemmeligheder. Sine opgaver som universitetslærer og institutleder udførte han samvittighedsfuldt, hvorfor forskningsarbejdet ofte måtte fuldføres uden for normal arbejdstid. "Man kann nicht immer Kaviar essen!" fortalte han sine unge assistenter, som drømte om rene forskerstillinger. Sin store opdagelse gjorde Röntgen lige efter, at han i nogen tid havde været universitetets rektor.



Figur 2. Fotografering ved de Röntgenske Stråler⁶.

Man møder ofte den påstand, at information spredes så meget hurtigere nu end før, på grund af de tekniske hjælpemidler, der i dag er til rådighed inden for kommunikation og nyhedsformidling, men det er en myte! Nyheden om Röntgens opdagelse blev kendt over hele verden med en mageløs hastighed, selv om man den gang hverken havde e-mail eller telefax. Den store forskel mellem nu og da er heller ikke informationens hastighed, men antallet af personer, der er involveret i det videnskabelige arbejde. Röntgen afleverede sit første manuskript om røntgenstrålingen den 28. december 1895 til et medicinsk tidsskrift i Würzburg, og det gik straks i trykken. De allerførste dage i januar 1896 sendte Röntgen nogle særtryk, suppleret med et par af sine røntgenfotografier, til kolleger i Tyskland og i udlandet, herunder til den engelske professor Arthur Schuster i Manchester. Schuster modtog brevet, da han vendte tilbage til arbejde efter juleferien. Han nåede at få artiklen oversat til engelsk (af Arthur Stanton) og bragt i et nummer af Nature, der udkom den 23. januar. Samme

dag holdt Röntgen på opfordring af medlemmerne i det medicofysiske selskab i Würzburg et offentligt foredrag, hvor publikums beundring steg til begejstring. I løbet af forestillingen optog Röntgen et radiografi (Figur 3) af en hånd, der tilhørte den verdenskendte anatom Albert von Koelliker. Denne foreslog inden mødets afslutning, at de nyopdagede stråler skulle kaldes de Röntgenske stråler. Röntgen selv foretrak dog i al beskedenhed at bruge navnet X-stråler. Også dagspressen fik hurtigt fat i nyheden om røntgenstrålerne. De usynlige stråler, der kunne afbilde menneskets indre, fangede offentlighedens interesse. Alene i pioneråret 1896 blev der publiceret over 1000 artikler om røntgenstråling i tidsskrifter og bøger.



Figur 3. Radiografi af anatomen Albert von Koellikers hånd. Billedet blev optaget ved det opsigtsvækkende møde i det medicofysiske selskab i Würzburg den 23 januar 1896. Anvendelse af et røntgenrør med fokuserende katode har resulteret i et billede med bemærkelsesværdig skarphed.

Her i Danmark foretog Martin Knudsen nogle forsøg med røntgenstråler allerede i 1896. Martin Knudsen fik senere et højt anset navn som fysiker gennem sine banebrydende undersøgelser over luftarternes fysiske egenskaber og gennem konstruktionen af sit absolutte manometer. I året 1896 var han lige blevet cand. mag. og udnævnt til assistent ved Polyteknisk Lærestalts fysiske samling. Han fik lavet nogle katodestrålerør til frembringelse af røntgenstråler og gik i gang med at optage radiografier. Strålernes styrke skønnedes af klarheden af lyset fra en fluorescerende skærm, eller ved at prøve virkningen på en fotografisk plade i kassette lukket med trælåg. Martin Knudsen viste, at røntgenstrålerne kunne bringe skærmen til at lyse efter at de havde passeret brystet, halsen eller hovedet af et voksent menneske. Han optog bl.a. et fotografi af et hoved i profil, således at man tydelig kunne se kindbenene, de enkelte tænder samt en enøre, som lå mellem kinden og kassetelåget. En redegørelse for Martin Knudsens forsøg findes i Oversigt over det kongelige

danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger⁵. Det kan i øvrigt nævnes, at professor H.O.G. Ellingers populære værk *Naturen og dens Kræfter*⁶ indeholder en udførlig redegørelse om røntgenstrålerne.

Årene omkring århundredeskiftet var en veritabel storhedstid for strålingsfysikken. Antoine-Henri Becquerel, som især interesserede sig for fosforescens, havde en idé om, at røntgenstrålerne skyldtes - eller havde forbindelse med - fluorescensen i glasvæggen, hvor katodestrålerne ramte. Han pakkede en fotografisk plade omhyggeligt ind i sort papir eller i aluminium-folie. Ovenpå lagde han nogle fosforescerende uransaltkrystaller, og det hele blev belyst af sollys i adskillige timer. Efter fremkaldning viste det sig, at den fotografiske plade var sværet. Becquerel mente først, at forsøget havde bekræftet hans hypotese - solenergien var årsagen til den observerede effekt. Snart fandt han imidlertid frem til, at hverken sollys, fluorescens eller fosforescens havde nogen som helst indflydelse på de usynlige og gennemtrængende stråler, som blev udsendt fra uransalt-krystallerne. Der var tale om en uafhængig og spontan process, som foregik selv i absolut mørke. Becquerel havde opdaget den radioaktive stråling. I marts 1896 fremlagde Becquerel sin opdagelse for Videnskabsakademiet i Paris, og ti dage senere publicerede han en artikel i *Comptes Rendue*. Den hurtige offentliggørelse var betydningsfuld for Becquerel, idet Sylvanus Thompson i London udførte lignende forsøg med uransalt-krystaller. Formanden for the Royal Society opfordrede Thompson til at publicere sine resultater, men det var for sent. Becquerel havde allerede foregrebet begivenhedernes gang med sin artikel. Den lille tidsforskel har været afgørende for, at SI-enheden for radioaktivitet i dag er becquerel (Bq) og ikke thompson!

Nu kom opdagelserne slag i slag: i 1897 fandt Joseph John (J. J.) Thomson, at katodestrålerne består af partikler med negativ elektrisk ladning, dvs. elektroner; samme år undersøgte Ernest Rutherford den radioaktive stråling fra uran og opdagede α - og β -strålerne, som han senere identificerede som heliumkerner henholdsvis elektroner. I 1898 bekendtgjorde ægteparret Pierre og Marie Curie opdagelsen af de radioaktive grundstoffer polonium og ra-

dium; i samme år opdagede Paul Villard γ -strålerne og viste, at de var af samme natur som røntgenstrålerne. Den 10. december 1901 modtog Wilhelm Conrad Röntgen som den første Nobelprisen i fysik. I dag er CT (Computerized Tomography) -scannere, intense synkrotronstrålingskilder og satellitbårne røntgenteleskoper blot nogle udvalgte eksempler på den enorme udvikling, der har fundet sted inden for videnskab og teknologi med anvendelse af røntgenstråling.

Referencer:

- 1) W.C. Röntgen, Über eine neue Art von Strahlen, Sitz.-Ber. d. Würzb. med.-phys. Ges. 1895, pp. 137-141; genoptrykt i Ann. d. Physik u. Chemie, N.F. 64, 1-11 (1898); eng. overs. af A. Stanton i Nature 53, 274-277 (1896) og Science 3, 227-231 (1896).
- 2) W.C. Röntgen, Über eine neue Art von Strahlen. Zweite Mittheilung, Sitz.-Ber. d. Würzb. med.-phys. Ges. 1896, pp. 11-19; genoptrykt i Ann. d. Physik u. Chemie, N.F. 64, 12-17 (1898); eng. overs. af A. Stanton i Science 3, 726-729 (1896).
- 3) W.C. Röntgen, Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen, Mathem. u. Naturw. Mitt. d. Sitz.-Ber. d. kgl. preuss. Akad. d. Wissensch. z. Berlin 1897, pp. 392-408; genoptrykt i Ann. d. Physik u. Chemie, N.F. 64, 18-37 (1898).
- 4) W. Friedrich, P. Knipping og M. Laue, Interferenzeerscheinungen bei Röntgenstrahlen, Sitz.-Ber. Math.-Phys. Bayr. Akad. Wiss. 1912, pp. 303-322; genoptrykt i Ann. d. Physik 41, 971-988 (1913).
- 5) M. Knudsen, Nogle Forsøg over Frembringelse af Röntgenske Straaler, Oversigt over det kongelige danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger XXVI, 150-158 (1896).
- 6) H.O.G. Ellinger, *Naturen og dens Kræfter*, Det Nordiske Forlag, København 1897-98.



Asger Lindegaard-Andersen er professor ved Fysisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby. Han interesserer sig især for krystaldyrkning, røntgen-diffraktionstopografi, røntgentomografi til materialefysiske undersøgelser, ikke- destruktiv prøvning af materialer samt fysisk vandbehandling.



Leif Gerward er docent ved Fysisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby. Han interesserer sig især for røntgentopografi, absorption af røntgenstråling samt anvendelser af synkrotronstråling, herunder røntgendiffraktion under meget høje tryk.