

Capitolo XII

Ultimi anni della Belle Epoque

Dal Novembre 1895 il campo delle radiazioni elettromagnetiche si arricchì dalla parte delle lunghezze d'onda molto corte, i raggi Röntgen o raggi X come vennero chiamati dal suo scopritore. **Röntgen** (Wilhelm Conrad, Lennep (Düsseldorf), 1845, † Monaco di Baviera, 1923) si diplomò in ingegneria a Zurigo (1868); nel 1874 era Privatdozent a Strasburgo dove pubblicò numerosi lavori su proprietà dei cristalli , teoria dei gas, calori specifici, viscosità ed indici di rifrazione dei liquidi; dal 1879 al 1887 fu professore di fisica teorica a Giessen (ora Lahn, Assia) dove, tra l'altro, pubblicò un importante lavoro sul movimento di un corpo isolante in un campo elettrico. Nel 1888 fu chiamato alla università di Würzburg (Franconia Bavarese) dove successe a F. Kohlrausch quale direttore dell'istituto di fisica. Nel 1900 fu chiamato a Monaco dove diresse l'istituto di fisica sperimentale sino al 1920.

Durante l'estate del 1895 si preparò personalmente un'attrezzatura per lo studio di quelli che venivano chiamati raggi catodici dei quali era ormai nota, tra l'altro, la capacità di eccitare fluorescenza in vari cristalli ed il diverso potere penetrante in funzione del voltaggio con cui lavorava il tubo a scarica in gas rarefatti. Il giorno 8 Novembre¹ si chiuse nel suo laboratorio e nel tardo pomeriggio

¹ Per una vivida descrizione della scoperta dei R.X. e della loro diffrazione, si veda il volume *Fifty years of X-ray diffraction* , a cura di P. P. Ewald (International Union of Crystallography , Utrecht , Oosthoek Ed.. , 1962) e specialmente i capitoli scritti da

scoprì dei "raggi" che eccitavano una viva fluorescenza in cristalli di platinocianuro di bario e che nascevano dall'interazione dei raggi catodici con il vetro del tubo. Röntgen non volle mai dire ad alcuno, nemmeno ai suoi collaboratori ed alla moglie, cosa si fosse esattamente proposto di fare quel giorno; è verosimile che la scoperta di quelli che lui stesso chiamerà raggi X sia stata piuttosto casuale. Röntgen usa il termine raggi, ma probabilmente rimase sempre convinto si trattasse di particelle anche se per qualche tempo attribuì le proprietà di queste sue radiazioni a *vibrazioni longitudinali dell'etere* di frequenza elevatissima.

Seguirono mesi di indefesso e solitario lavoro con sperimentazioni su anodi di elementi diversi sotto varie differenze di potenziale, esame di assorbimenti da parte di sostanze nonché le prime radiografie di una mano. Nel Dicembre Röntgen presentò una prima famosa comunicazione di 10 pagine alla Società Scientifica di Würzburg, sezione di medicina fisica (*Ueber eine neue Art von Strahlen*, Sitzungberichte d. Würz. Physik-medic. Gesellschaft, Dec. 1895) di cui inviò dei pre-prints ai suoi colleghi assieme agli auguri di Natale. A questa comunicazione fece seguito una seconda di sole 7 pagine nel Marzo '96 ed una terza, finale, di 14 pagine, nel Marzo 1897. Benchè di una stringatezza estrema le tre note riportano una eccezionale messe di risultati, senza concedere alcunchè ai meriti di sperimentatore ed alle difficoltà incontrate dall'autore. Forse nessun'altra notizia di scoperte in campo scientifico si propagò con eguale velocità in tutto il mondo.² Quasi immediate le applicazioni nel campo della diagnostica medica, poi perfezionate con l'introduzione dei tubi Coolidge (1912), che resero Röntgen universalmente noto. (L'anodo verrà ben presto messo a terra, per vari motivi, e prenderà il nome di *anticatodo*).

Suo malgrado, fu sempre di carattere molto schivo, nel 1898

Ewald stesso. Laue, nella sua autobiografia riprodotta nel volume, afferma che dai taccuini di Roentgen risulta il giorno 9 e ricorda inoltre che la Royal Society commemorò il cinquantenario della scoperta il 9 Novembre 1945. Può darsi che Roentgen abbia annotato il giorno 9 ciò che aveva fatto il giorno prima?

² A meno di tre anni dalla scoperta comparve in Italia uno dei classici manuali Hoepli dedicato ai raggi X con numerose riproduzioni di radiografie: Tonta, I. (1898). *Raggi di Röntgen e loro pratiche applicazioni*. U. Hoepli Ed. Milano.

divenne un monumento nel senso letterale della parola. Per volere del Kaiser, ai piloni del rammodernato Potsdamer Brücke sulla Spree furono addossate quattro statue rappresentanti i personaggi ritenuti più significativi della scienza ed industria tedesche : C.F. Gauss, H. v. Helmholtz , W. Siemens e W.C. Röntgen. Nel 1901 fu insignito del primo premio Nobel per la fisica.

Negli anni di Monaco si interessò meno a ricerche sui raggi X in prima persona, ma ritornò ai suoi argomenti di un tempo: principalmente piro e piezoelettricità nei cristalli . Per una idea sulla sua efficienza quale direttore dell'istituto di fisica, è sufficiente ricordare i nomi di alcuni suoi dottorandi: P.P.Koch (1901), E.Wagner (1903), E. v. Angerer (1905), P.Pringsheim (1906), W. Friedrich (1911), P.Knippling (1913) , J.Brentano e R.Glocker (1914).

Dovettero passare quasi 17 anni dalla scoperta dei raggi X alla verifica che essi possono venire diffratti dalle strutture cristalline; la diffrazione provò definitivamente che queste radiazioni sono onde elettromagnetiche ma soprattutto aprì un nuovo campo di indagine sulla costituzione di ioni e molecole allo stato solido, di importanza incalcolabile. Tra il 1895 ed il 1912 erano però già stati ottenuti notevoli risultati sulle proprietà dei R.X. ad opera di diversi ricercatori e principalmente di **Barkla** (Charles Glover, Widnes, Lancash. 1877,† Edimburgo, 1944), laureato in fisica presso lo University College di Liverpool nel 1898. Tra il 1899 ed il 1902 trascorse tre anni a Cambridge lavorando al Cavendish allora diretto da J.J. Thomson (1856 - 1940) chiamato alla direzione a soli 28 anni dopo il ritiro di Lord Rayleigh e la rinuncia di W. Thomson (Kelvin). A Cambridge Barkla si occupò di propagazione di onde in conduttori diversi e di radiazioni " secondarie " emesse da gas irradiati con raggi X. Dal 1902 al 1909 lavorò a Liverpool, poi per quattro anni fu professore di fisica al King's College di Londra ed infine nel 1913 divenne professore di Natural Philosophy ad Edimburgo.

Nel 1905 Barkla dimostrò che i R.X. subiscono polarizzazione. La diffusione dei R.X. quando attraversano un corpo era già stata notata da Röntgen nella sua seconda memoria; Barkla studiò la

diffusione per direzioni parallele e perpendicolari all'asse del tubo generatore e trovò che esiste un fattore di polarizzazione e che quindi i raggi che escono dal tubo sono parzialmente polarizzati (si tratta dello spettro continuo, i raggi caratteristici risulteranno essere non polarizzati) . Ne concluse prudentemente che “ se i raggi X sono di natura ondulatoria, allora essi sono, come la luce, delle vibrazioni trasversali ”.

Il nuovo secolo si era aperto con l'introduzione della quantizzazione dell'energia degli oscillatori (*quanto di azione*) sulle pareti del corpo nero ad opera di Max Planck (1858 - 1947) , nell'Ottobre del 1900, ma il 1905 vide ben altri contributi oltre quello appena citato di Barkla. Fu infatti questo *l'annus mirabilis* di Albert Einstein (1879 - 1955), che in Marzo, Maggio e Giugno pubblicò tre lavori sul volume **17** degli *Annalen der Physik* . Il secondo, dal titolo piuttosto lungo, contiene la teoria del moto browniano, il terzo, dal titolo *Elektrodynamik bewegter Körper*, illustra la relatività ristretta mentre il primo riguarda direttamente il nostro argomento. Il titolo è piuttosto lungo, ma vale la pena di trascriverlo : *Über einen, die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden, heuristischen Gesichtspunkt*. Se non ci fosse quell'aggettivo euristico, si tradurrebbe banalmente : *Su un certo punto di vista concernente la generazione e la trasformazione della luce*. L'aggettivo rende invece molto bene l'importanza del lavoro della quale Einstein era ben conscio: non si tratta più di spiegare un certo effetto, ma è tutta la luce, cioè il campo elettromagnetico ad essere quantizzato. Einstein chiamò i quanti di radiazione *Nadelstrahlung* , il termine fotone fu poi coniato dal chimico G. N. Lewis solo nel 1926.³

I lavori di Einstein ebbero una ricaduta di importanza incalcolabile; qui ci interessa la la formula della quantizzazione dell'effetto fotoelettrico. Se chiamiamo Φ_0 il lavoro minimo per estrarre un elettrone da un metallo da parte di fotoni incidenti, si ha :

$$\frac{1}{2} (mv^2) = hv - \Phi_0 \quad . \quad (1)$$

³ Proprio nel 1905 Ph. Lenard, allievo di Hertz, fu insignito del premio Nobel per le sue ricerche, di anni prima, sugli effetti fotoelettrico e fotoconduttivo.

Nel 1907 Wilhelm Wien sfruttò la formula per un calcolo approssimato delle lunghezze d'onda dei raggi X. Trascurando il termine Φ_0 , ammettendo che l'energia cinetica massima acquistata da un elettrone termico emesso dal catodo di un tubo roentgen sia data dalla differenza di potenziale ΔV tra catodo ed anticatodo, qualora l'elettrone perda di colpo tutta la sua energia, si può scrivere :

$$e\Delta V = hv_{\max} = hc / \lambda_{\min} \quad \text{e quindi} \quad v = 1 / \lambda = (e\Delta V) / h \quad ; \quad (2)$$

introducendo i valori della carica, e , dell'elettrone nonché della costante di Planck, h , si ottiene infine : $\lambda_{\min} = (12 \cdot 390 / \Delta V) \text{ \AA}$ dove V è espresso in Volt. Per una differenza di potenziale di 20 Kvolt, $\lambda \approx 0,6 \text{ \AA}$. Si tratta ovviamente di valori della radiazione di " frenamento " , la *Bremsstrahlung* ; Wien non conosceva l'esistenza delle radiazioni X caratteristiche, scoperte da Barkla due anni dopo, ed inoltre l'effetto ipotizzato ha probabilità nulla di verificarsi. I diagrammi delle analisi spettrali dei raggi X, con l'intensità in funzione di λ , mostreranno infatti un valore minimo della λ calcolabile come sopra, ma di intensità zero. Comunque, se i raggi roentgen sono radiazioni elettromagnetiche, come indubbiamente sono, si cominciava ad avere una idea delle loro lunghezze d'onda.

Dal 1907 Barkla iniziò una serie di studi che lo portarono ad individuare le righe caratteristiche di vari elementi negli spettri di emissione X. Studiando assorbimenti e radiazioni di fluorescenza eccitate da fotoni X, verso il **1909** era già riuscito ad individuare due famiglie di righe caratteristiche che chiamò dapprima A e B e dopo K ed L ; scelse lettere nel mezzo dell'alfabeto inglese in modo da lasciare posto per eventuali radiazioni più " dure" delle K. Assunse inoltre che le radiazioni caratteristiche sono associabili a gruppi diversi di elettroni e che gli elettroni di tipo K sono i più vicini al nucleo. Non è necessario aggiungere altro per sottolineare l'importanza dei risultati conseguiti da Barkla che rimase viceversa una figura stranamente negletta. Ci sono alcuni argomenti per spiegare la scarsa simpatia che

il Nostro raccolse tra i fisici. Ad un certo punto ritenne di avere individuato una radiazione J più dura della K e rimase tenacemente convinto della esistenza di questo effetto che nessuno riuscì a confermare; potrebbe trattarsi di " satelliti " di altre radiazioni che nascono quando si verifica una doppia ionizzazione di un atomo. Inoltre fu incapace, o non volle, seguire il rapido sviluppo della fisica. Infine fu involontario autore di uno sgarbo verso Einstein: nel 1917 ricevette il premio Nobel per la fisica venendo anteposto appunto ad Einstein. Innumeri furono, e sono, i gridolini di dolore che da più parti si levarono in proposito, non del tutto giustificati se uno ha voglia di leggersi le volontà testamentarie di Nobel, anche se presto e ripetutamente disattese. Non risulta del resto che Einstein abbia sollevato obiezioni alla motivazione con la quale gli venne conferito il Nobel nel 1922 : " ... per i suoi servizi alla Fisica sperimentale e matematica e *specialmente* per la scoperta dell'effetto fotoelettrico ". Quindi l'operato dell'Accademia Svedese non sembra essere stato così ottuso e peregrino.

Nella capitale del regno di Baviera si era venuta formando, a partire dall'inizio del secolo, una concentrazione di scienziati tale che la scoperta della diffrazione dei R.X. non poteva che avvenire a Monaco. Oltre a Röntgen ed ai suoi collaboratori, dal 1906 Arnold **Sommerfeld** (Königsberg, 1868, † Monaco, 1951) ricopriva la cattedra di fisica teorica lasciata libera alcuni anni prima da Boltzmann. Sommerfeld si interessava moltissimo alla teoria della genesi dei R.X. che fermamente riteneva essere radiazioni elettromagnetiche al contrario di W. H. Bragg , allora a Leeds, sostenitore della natura corpuscolare degli stessi; come è ben noto, William Henry Bragg ed il figlio William Lawrence ebbero una parte importantissima nello sviluppo ed applicazioni della diffrazione X immediatamente dopo la scoperta della stessa. Sommerfeld ebbe molti collaboratori e nel periodo che ci interessa lavorarono con lui, tra gli altri, P.P. Koch e P. Debye; nel 1911 aveva assunto come secondo assistente W. Friedrich, che si era appena addottorato con Röntgen con una tesi sull'emissione di un anticatodo di Pt , per iniziare sperimentazioni sui raggi X, appunto. Nel

1909 era arrivato a Monaco Max von **Laue** (1879 - 1960) , collaboratore di Planck a Berlino, con cui si era laureato nel 1903, ottenendo la libera docenza nel 1906, con una tesi sull'entropia di fasci di radiazioni interferenti; nel 1909 era già un esperto di teoria della relatività. Laue entrò nel gruppo di Sommerfeld e nel **1912** ebbe l'idea di provare se i cristalli potessero diffrangere radiazioni di λ molto corte quali i R.X. A dire il vero Laue era allora piuttosto digiuno di cristallografia e l'idea gli venne senz'altro dopo un colloquio con P.P. Ewald che stava scrivendo la sua tesi di dottorato sulle proprietà ottiche dei cristalli anisotropi assumendo che questi fossero costituiti da una distribuzione periodica di risonatori (dipoli) isotropi; era la tesi più difficile di un elenco che Sommerfeld gli aveva proposto tre anni prima (si veda a proposito di questi avvenimenti il volume sui 50 anni di diffrazione X, citato a piè di pag. 89). Gli esperimenti sulla diffrazione vennero eseguiti da Friedrich e Paul Knipping dottorando di Röntgen il quale mantenne un contegno piuttosto passivo, ma almeno acconsentì che il suo dottorando aiutasse Friedrich e Laue. Anche Sommerfeld era piuttosto scettico sulla riuscita dell'esperimento poichè riteneva che il moto termico degli atomi nei cristalli avrebbe impedito l'interferenza positiva dei raggi diffratti. Invece il 21 Aprile del 1912 una prima prova con cristalli di $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ebbe esito parzialmente positivo e fu immediatamente seguita da altre registrazioni (con cristalli di blenda) che mostrarono dei bellissimi diffrattogrammi. Seguirono tre anni di ricerca intensissima, sia in Germania che in Gran Bretagna ad opera dei Bragg. La guerra 1914 - 18 causò poi un notevole rallentamento di tutta la ricerca scientifica. La diffrattometria e strutturistica roentgenografica assunse ben presto il carattere di disciplina a sè stante; dopo un quarantennio "eroico" si avrà, a partire dagli anni cinquanta del Novecento, un grandioso sviluppo che ovviamente non possiamo seguire.

Nel 1912 a Monaco, oltre Röntgen, era attivo un altro scienziato dal quale era ragionevole aspettarsi un attivo contributo alla scoperta della diffrazione dei R. X. e che invece si limitò a dare un consiglio errato al povero Ewald, nel 1912 impegnato alla stesura della propria tesi di dottorato e che gli fece perdere un po' di tempo; senza questo

intoppo Ewald sarebbe probabilmente arrivato alla scoperta della diffrazione, visti i contributi teorici fondamentali, e molto eleganti, che riuscì a dare subito dopo la scoperta di Laue e coll. (si veda il già citato *Fifty years*). Ci piace ugualmente ricordare brevemente la figura di questo scienziato, il Geheimrat Paul von Groth (1843 - 1927) che nel '12 era un affabile signore quasi settantenne, ma ancora molto attivo e disponibile verso i giovani. Groth approdò a Monaco nel 1897, da Strasburgo, quale professore di Mineralogia sulla cattedra già occupata da L. Sohncke. Fu un lavoratore instancabile, il Faraday della Cristallografia morfologica e ottica. Nel 1877 fondò a Lipsia lo *Zeitschrift für Kristallographie und Mineralogie* (dal 1921 solo più *für Kristallographie*) di cui fu editore sino al 1920; si tratta del primo periodico di cristallografia e non riservato a sole fasi mineralogiche. Nel 1905 pubblicò la redazione finale del suo *Physikalische Kristallographie* (prima edizione del 1876) e nel periodo 1906 - 1910 i primi tre volumi del *Chemische Kristallographie* (Lipsia) , il 4° e 5° volume compariranno nel 1917 - 1919. Si tratta di un opera monumentale in cui vengono riportati, ed impeccabilmente illustrati, gli studi morfologici ed ottici di oltre 9'000 composti inorganici ed organici; i valori dei rapporti parametrici e degli angoli tra gli assi delle terne di riferimento, saranno certamente stati di grande utilità nei primi decenni della strutturistica diffrattometrica quando la strumentazione era ancora molto povera. Purtroppo non sembrano esistere delle ricerche statistiche sull'utilizzo di questi dati da parte di ricercatori che cercavano di determinare i parametri di cella mediante diffrazione X. La figura di Groth è inoltre estremamente importante per la eccellente qualità della sua didattica. Insegnava come nelle strutture cristalline i baricentri degli atomi dovessero occupare le posizioni equivalenti di un dato gruppo spaziale e come tutte le specie atomiche, o ioniche, dovessero descrivere reticoli identici, compenetrati parallelamente a se stessi in modo da soddisfare le distanze ed angoli di legame. Si tratta chiaramente di una impostazione perfettamente rigorosa ed anticipatrice dei risultati delle indagini strutturali; è enorme il progresso rispetto ai modelli postulati da Cauchy ed altri studiosi che si erano occupati delle proprietà elastiche dei solidi nella prima metà

dell'Ottocento.

Più o meno negli stessi anni in cui vennero scoperti e progressivamente caratterizzati i R. X. , vennero anche scoperti e studiati i raggi γ ; essi non interessano direttamente l'ottica, ma è da ricordare che i primi esperimenti di diffrazione dei raggi γ furono condotti con successo già nel 1914 a Manchester da Rutherford e da E. N. Andrade da Costa.

Dalla notissima relazione dedotta da W. L. Bragg, $\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$ si potrebbe dedurre la λ , della radiazione caratteristica, se si conoscesse la distanza interplanare d_{hkl} . Nel 1912 - 13 non era noto alcun valore di spaziature interplanari, ma erano note le ipotesi sulle strutture cristalline di diversi alogenuri e solfuri proposte da tempo da due chimici di Cambridge : William Jackson Pope (1870 - 1939) e William Barlow (1845 - 1934). Barlow, che aveva tra l'altro dedotto i 230 gruppi spaziali cristallografici, in particolare assunse correttamente che la struttura di NaCl , o di KCl , fosse costituita da due reticoli cubici F (a tutte facce centrate) , descritti rispettivamente da Na^+ , K^+ e Cl^- , e che quindi nella cella elementare fossero contenute 4 unità MeCl. Possiamo esprimere la densità, nota, di NaCl in funzione del contenuto e del volume della cella elementare :

$$\rho = (Z M) / (V_{\text{cell}} N) \quad , \quad (3)$$

dove N è il numero di Avogadro, M è il peso " molecolare " in unità atomiche e Z il numero di "molecole" per cella. Per una sostanza cubica $V = a_0^3$ e quindi, dedotto il volume, si possono calcolare le distanze interplanari d_{hkl} . Su suggerimento proprio di Pope, W. L. Bragg usando cristalli di salgemma e silvite riuscì a determinare diverse λ in scala relativa in funzione della $d_{200} = 2,814 \text{ \AA}$ del salgemma. Successivamente Manne Siegbahn e coll., a Lund (Svezia) determinarono con grande accuratezza molte λ caratteristiche di diversi elementi. Poichè questi valori relativi erano misurabili con accuratezza molto maggiore della d_{200} di NaCl, si decise di assumere detta distanza pari a 2814,00 unità X ($1 \text{ XU} \approx 10^{-3} \text{ \AA}$); successivamente si usò la d_{200} della calcite (3,02945 \AA in assi

romboedrici) e si introdusse l'unità Kilo X , $1 \text{ KX} = 3029,45 \text{ XU}$. Quando negli anni trenta si riuscirono a determinare valori di λ in scala assoluta , si constatò che $1 \text{ KX} = 1,00202 \text{ \AA}$; quindi gli spettroscopisti avevano lavorato molto bene! A partire dal secondo dopoguerra tutti i valori strutturali verranno espressi in \AA . Si noti che la misurazione di piccolissime distanze mediante diffrazione ha, per così dire, trasformato il concetto di lunghezza da " tattile" in " ottico " .

A proposito di spettroscopisti roentgenografici non possiamo tralasciare di delineare i contributi di Henry Gwyn **Moseley** (Weymouth, Dorset, 1887, † Sari Bayir, Ellesponto, 10 Sett. 1915) strappato alla vita ed alla ricerca ancora più giovane di Hertz . Moseley proveniva da una famiglia di scienziati : il nonno paterno fu un matematico ed il padre professore di anatomia ad Oxford dove appunto Henry Gwyn conseguì la laurea in fisica , al Trinity, nel 1910. Subito dopo la laurea si trasferì a Manchester da Rutherford dove iniziò la sua carriera studiando la radioattività del radio. Nel 1912 cominciò, in collaborazione con Charles Galton Darwin , nipote del naturalista ed illustre cristallografo diffrattometrico, le indagini sugli spettri X. Seguirono due anni di lavoro veramente indefesso; si può vedere in proposito l'articolo di Darwin nel più volte citato *Fifty Years* , pagg. 559-563. Alla fine del 1913 ritornò ad Oxford, per motivi di famiglia, dove completò le sue ricerche (righe di tipo L) in un ambiente meno favorevole di quello del laboratorio di Rutherford. Alla fine del '14 si arruolò volontario nei Royal Engineers che entrarono in linea nel Giugno del '15 sulla penisola di Gallipoli (Ellesponto settentrionale); il tenente Moseley rimase ucciso due mesi dopo sulla testa di ponte di Sari Bayir (opp. Sedd el Bahr). Anche Darwin servì nell'esercito , dal 1914 al 1918 sul fronte francese, ma, più fortunato, ritornò in patria e continuò la carriera universitaria prima a Cambridge , poi ad Edinburgo ed infine di nuovo a Cambridge.

Nel gruppo di Rutherford era ormai emersa l'idea che il numero atomico Z , introdotto nella tavola periodica come semplice numero d'ordine, potesse rappresentare la carica del nucleo; Bohr proprio nel 1913 aveva cominciato a sviluppare il suo modello dell' atomo di idrogeno. Anche per trovare conferma a questi sviluppi , Moseley da

solo analizzò le righe K negli spettri degli elementi dal termine $Z=19$ (Ca) a 29 (Zn). Successivamente studiò le righe L per gli elementi da $Z = 40$ (Zr) a 79 (Au). Per queste misure utilizzò cristalli da salgemma e di ferrocianuro di potassio che cristallizza facilmente in individui di grandi dimensioni. Illustrò la messe di risultati ottenuti in due note stese con una concisione degna di Röntgen (*Phil. Mag.*, **26** , 1024 (1913) ; *ibid.*, **27** , 703 (1914)) che furono gli ultimi suoi due lavori. Per ambedue le famiglie di righe Moseley trovò delle semplici relazioni tra frequenza, ν , e numero atomico, Z .

Moseley notò che diagrammando le radici quadrate delle frequenze delle righe K_α in funzione di Z si ottenevano delle rette (o quasi) e dedusse la relazione :

$$\nu = \frac{3}{4}\nu_0 (Z - 1)^2 \quad , \quad (4)$$

dove ν_0 è una costante caratteristica di quella famiglia di righe. Se si introducono i numeri d'onda $1 / \lambda_{vac}$, ν_0 diventa la costante di Rydberg , $R = 109\,737$. Poi Moseley arrivò ad una relazione generale:

$$\sqrt{\nu} = a (Z - b) \quad , \quad (5)$$

dove a e b sono delle costanti per le diverse famiglie di righe. Oltre a confermare le ipotesi di Bohr , la relazione di cui sopra permette di ricavare Z per un elemento che emette certe righe ed infatti venne sfruttata per completare la tavola periodica. Inoltre la relazione di Moseley è alla base di una tecnica di analisi quantitativa detta di *fluorescenza*. Se si irraggia un campione in polvere opportunamente amalgamato con fasci di raggi X di opportuna frequenza, si possono eccitare gli spettri roentgen dei vari elementi che vengono analizzati mediante un cristallo rotante attorno ad un asse cristallografico noto; per confronto con adeguati campioni standard, si possono dosare quantitativamente gli elementi in base alle intensità delle rad. K_α (in genere) e la tecnica è tuttora usata. Nel secondo dopoguerra lo sviluppo della microscopia elettronica permetterà di accoppiare a microscopi a scansione sofisticati sistemi di rivelazione detti

microsonde che permettono una analisi puntuale di elementi . Le due tecniche sono comunque complementari.

I primi anni del ventesimo secolo non videro solo l'introduzione del quanto di azione e di energia e della relatività ristretta: nel 1900 entrò in servizio il primo grande dirigibile Zeppelin con motori diesel; nel 1901 la prima radiotrasmissione di G. Marconi attraverso l'oceano atlantico (12 Dicembre) e la scoperta del primo ormone e neurotrasmettitore, l'adrenalina; negli anni immediatamente successivi si avranno le invenzioni di diodo e triodo, l'identificazione del batterio della tubercolosi (R. Koch) , le prime esperienze aviatorie e molti altri successi in campo tecnologico e scientifico. Proprio l'inizio del secolo vide una scoperta archeologica importantissima : tra Gennaio ed Aprile gli scavi di Arthur Evans a Cnosso permisero di portare alla luce un primo consistente nucleo di tavolette in lineare B. Gli scavi del palazzo di Cnosso furono iniziati da Evans già nel 1893 ; varie difficoltà, fortunatamente, avevano impedito ad H. Schliemann di iniziare gli scavi nel 1866 e quindi di perpetrare, probabilmente, uno scempio analogo a quello portato a termine nelle tombe del cerchio A, il più recente della acropoli di Micene (1878). Purtroppo anche gli scavi, le interpretazioni ed il comportamento di Sir Arthur non furono certo esemplari. Esempio sotto tutti gli aspetti fu invece l'operato della Scuola Italiana di Archeologia di Atene nella Messarà : Festòs, Haja Triada, Gortyn. Le ricerche furono iniziate qualche anno prima di Evans sotto la direzione dapprima di F. Halbherr e poi di L. Pernier ; nel corso di oltre un secolo parteciparono agli scavi ed interpretazione dei reperti , tra gli altri, Doro Levi, Luisa Banti, Maria Guarducci, nomi ben noti per i loro contributi ed anche per il coraggio con cui seppero confutare conclusioni infondate di Evans (T. M. II, !) raccogliendo per anni insulti gratuiti, come spesso accade a chi si oppone ad un establishment. Le tavolette di Cnosso (e del ricco archivio di Pilo scoperto nel 1939) furono decifrate solo un cinquantennio dopo quasi contemporaneamente alla decifrazione della formula di struttura degli acidi nucleici, il maggior risultato scientifico, per le sue ricadute, della seconda metà del secolo ventesimo.

La periodizzazione in storia non ha un gran significato, tuttavia se si vuole individuare un periodo di cento anni conviene considerare il secolo compreso tra il 1814 ed il 1914 durante il quale l'Europa occidentale e l'America cambiarono letteralmente volto. L'America latina cambiò volto per quanto riguarda l'assetto geo-politico visto il crollo degli imperi spagnolo e portoghese mentre in Europa ed America settentrionale si ebbe la nascita e sviluppo dell'economia industriale che fu sentita come vera e propria Rivoluzione. Si ebbe anche la nascita della Democrazia, già affermatasi negli Stati Uniti, anche se con ritmi e riuscite diverse nei diversi paesi. Inoltre nel secolo in questione si verificò uno sviluppo eccezionale del sistema delle comunicazioni. I mezzi di trasporto del periodo napoleonico non erano granchè diversi da quelli dell'epoca di Carlo VIII. Invece un secolo dopo si aveva una rete di strade e strade ferrate, ed anche di canali navigabili, che avviluppava tutta l'Europa accompagnata dall'estendersi della navigazione a vapore che accorciò enormemente le distanze intercontinentali; era inoltre stato effettuato il taglio degli istmi di Suez (1869) e Panama (1914 - 15). Infine i motori a combustione interna cominciavano ad avere notevole importanza, specialmente negli Stati Uniti, e diverranno di importanza primaria con la Grande Guerra. L'Europa orientale beneficiò in misura minore di questi fattori mentre, al contrario, in estremo oriente si verificò il fenomeno Giappone. A partire dal 1868, con l'abolizione dello Shogunato Togukawa e del feudale sistema dei daimyō, nel Giappone ebbe inizio una decisa fase di " occidentalizzazione " in tutti i campi. Dopo vittoriosa la guerra contro la Cina (1894 - 95) il Giappone ottenne l'indipendenza della Corea e l'occupazione di Formosa e Port-Arthur che dovette poi cedere alla Russia! per pressioni delle potenze europee. In compenso poté liberarsi dei giugulatori trattati commerciali che gli avevano imposto gli Stati Uniti; pesanti tentativi di condizionamento da parte degli USA si verificheranno tra le due guerre mondiali. Fu però la vittoriosa guerra contro la Russia (1905) che rivelò al mondo la potenza militare giapponese e, contemporaneamente, la debolezza del gigantesco impero zarista. Il rinnovamento del Giappone riguardò anche l'istruzione pubblica e la

ricerca scientifica; ad esempio, subito dopo la scoperta della diffrazione dei R.X. , fiorì un'ottima scuola di cristallografi diffrattometrici giapponesi ed analoghe scuole si svilupparono per altre discipline, anche se per il momento gli scienziati giapponesi completavano, in genere, la loro preparazione in università americane od europee. Purtroppo tutto ciò fu presto accompagnato da una politica estremamente aggressiva verso Cina e Corea.

I primi anni del Novecento vedevano quindi una Europa Occidentale operosa in campo scientifico ed industriale senza eccessivi motivi di contrasto tra le grandi potenze. Si può affermare che la Grande Guerra scoppiò inaspettatamente; diversi sono i motivi che si possono addurre, e che sono stati invocati dagli storici, per "spiegare" questo conflitto con il quale la società Occidentale si inferse ferite gravissime (mortalità saranno quelle del secondo conflitto, 1939 - 45). Nell'Appendice 3 vengono descritti i prodromi e alcuni aspetti della guerra.

La guerra 1914 - 18 non fu veramente mondiale come quella del 1939 - 45 ; Olanda e paesi scandinavi non furono coinvolti, ad esempio, ed in Estremo Oriente il Giappone senza molti sacrifici si annesse alcuni secondari possedimenti tedeschi, tanto per gradire, ma sfruttò la congiuntura soprattutto per rafforzare la propria influenza in Corea e Manciuria, cosa che gli fu concessa senza tante opposizioni, visto che allora militava tra i "buoni". In Europa Bohr poté continuare a fare la spola tra Copenhagen e Manchester e l'irrequieto ed eclettico Debye spostarsi da Monaco a Zurigo, poi a Utrecht ed infine a Göttingen dove (1917) trovò il tempo per inventare il metodo delle "polveri" in collaborazione con Scherrer. Anche scienziati appartenenti a paesi schierati in campi opposti poterono tenersi in contatto dopo lo scoppio del conflitto. Vale la pena riportare il seguente aneddoto; alla fine del '14 Ewald ricevette una cartolina da W. L. Bragg che conteneva questa informazione : " I have nearly finished finding the correct structure of pyrites , but it is *terribly complicated* ". Sembra quasi un messaggio cifrato che, evidentemente, non impressionò le censure britanniche e germaniche. Questo tanto per ricordare come all'inizio del conflitto l'atmosfera non fosse ovunque così avvelenata

come si potrebbe pensare. D'altro canto non si può negare che l'inaspettato scoppio di spirito patriottico-militaresco, caratterizzante il primo anno di guerra, abbia contagiato anche l'ambiente dei ricercatori ed in tutti i paesi. In Gran Bretagna, dove non esisteva il servizio di leva, oltre ai già citati Moseley e Darwin, si arruolarono W. L. Bragg , E. N. Andrade , R.W. James ed altri. In Germania molti scienziati firmarono manifesti di solidarietà con i militari arrivando persino a tentare di giustificare l'invasione del Belgio; tra quelli che abbiamo incontrato, vanno annoverati Röntgen, Planck e von Laue. Questo comportamento, senz'altro poco lodevole, verrà poi loro rimproverato dopo la sconfitta della Germania dimenticando i volontari contributi dati alla macchina bellica dagli scienziati dei paesi vincitori; non stiamo a ricordare ciò che avvenne durante la seconda guerra mondiale.

I quattro anni di guerra comportarono una decisa cesura della ricerca scientifica in buona parte d'Europa sia per il taglio dei fondi che per la mobilitazione di molti scienziati e , in qualche caso, la requisizione di apparecchiature (ad es. generatori di raggi X destinati ad ospedali ; a Monaco fu " requisito" assieme agli apparecchi, anche Ewald). In Germania la ricerca universitaria cessò quasi del tutto ed anche in Gran Bretagna ci fu un grande rallentamento. A Manchester, per esempio, oltre alle partenze dei giovani, lo stesso Rutherford (ora sir Ernest, Nobel per la chimica nel 1908) fu mobilitato dall'Ammiragliato affinché si occupasse di problemi di Sound Ranging e passò parecchi mesi a lavorare in America. Anche W.L. Bragg , dopo avere perso un anno per essere addestrato come ufficiale di artiglieria , fu assegnato ad un gruppo del Sound Ranging sul fronte francese dove passò più di tre anni; più o meno lo stesso iter per Darwin. Negli Stati Uniti viceversa la ricerca potè continuare senza interruzioni ed anzi potenziarsi. Particolarmente vistoso fu lo sviluppo dell'astronomia. Già nel 1914 G. E. Hale e H. Shapley poterono iniziare l'osservazione di ammassi globulari col telescopio riflettometro con apertura di 152 cm a Monte Wilson (Los Angeles); nel 1918 entrerà in funzione il telescopio da 254 cm col quale E. Hubble inizierà lo studio della nebulosa di Andromeda.

Come accennato, alla fine della guerra non mancarono

atteggiamenti manichei dei Vincitori verso i Vinti, però presto superati per quanto riguarda la comunità scientifica. Tra gli scienziati che abbiamo incontrato sinora nella nostra rassegna, due in particolare si prodigarono per la riappacificazione : Lorentz e Rutherford.

Lorentz, dopo la catastrofica alluvione del 1916 che devastò parte dell'Olanda, ebbe l'incarico di progettare un sistema di dighe per il prosciugamento dello Zuidersee (i lavori saranno completati nel 1926 - 32) che lo impegnò moltissimo, ma malgrado questo pressante impegno ed i molteplici impegni internazionali non rinunciò del tutto all'insegnamento ed alla ricerca: riuscì a portare contributi anche alle misure di intensità di diffrazione dei raggi X (*cf . Fifty Years, cit.* a pag.89). Già durante la guerra fece opera di moderazione tra gli scienziati dei due campi senza però risparmiare aperte critiche ai colleghi tedeschi che avevano sottoscritto appelli al mondo della cultura in cui si voleva giustificare l'invasione del Belgio. Alle Conferenze Solvay (Consigli era il loro nome ufficiale) , così chiamati dal nome dell'industriale chimico Ernest Solvay che le istituì (1911) e finanziò, Lorentz era un invitato permanente e spesso fungeva anche da presidente della conferenza: si trattava di conferenze internazionali di fisica a tema preassegnato e limitate ad una trentina di invitati, che si tenevano a Bruxelles. Anche per sua iniziativa e di Rutherford, ai Consigli postbellici furono subito invitati studiosi tedeschi.

Di Rutherford vale la pena ricordare l'episodio, significativo, riportato da Segrè, [18bis] : prima dello scoppio della guerra Rutherford aveva ottenuto in prestito 450g di radio (proveniente dalle miniere di Joachimstal) dall'Accademia delle Scienze di Vienna . Dopo la guerra il governo britannico avrebbe voluto confiscarlo, ma Rutherford si oppose decisamente e riuscì a farne accreditare l'importo all'Istituto di Fisica Viennese, riuscendo così anche ad aiutare Stephan Mayer direttore di quell'Istituto in crisi profonda per mancanza di fondi. Un simile comportamento sarebbe stato semplicemente impensabile nel 1945 quando venivano sequestrati non solo materiali ed apparecchiature , ma si dava la caccia agli stessi scienziati tedeschi. Si può leggere in *Fifty Years of X-ray Diffraction* qualcosa sulla cattura ed internamento del pericoloso von Laue, dallo stesso descritti,

avvenuti nell'ambito dell'operazione Alsos coordinata dal brigadiere-generale americano Grooves, nel cui commando evidentemente c'era un umanista (groove = άλσος).

Le animosità furono presto superate e già nel 1921 si tenne il terzo Congresso Solvay; non sarà stato l'unico congresso internazionale di quegli anni, ma esso si impone come simbolo visto che i Solvay si tenevano, sotto il patrocinio dei Sovrani , in Belgio, il paese che più ebbe a soffrire della guerra in cui fu trascinato suo malgrado.