

科學叢書

最近原子論大要

格	來	致	著
鄭	太	朴	譯
程	瀛	章	校

商務印書館發行

科學叢書
最近原子論大要

此書有著作權翻印必究

中華民國二十年三月初版

每冊定價大洋壹元貳角

外埠酌加運費匯費

原著者	格來致
譯述者	鄭太朴
校訂者	程瀛章
發行人	王雲五
印刷所	上海寶山路 商務印書館
發行所	上海及各埠 商務印書館

Scientific Series

DIE ATOMTHEORIE IN IHRER
NEUESTEN ENTWICKELUNG

BY LEO GRÄTZ

TRANSLATED BY CH'ENG T'AI P'U

EDITED BY CH'ENG YING CHANG, S. B. CH. E., PH. D.

PUBLISHED BY Y. W. WONG

1st ed., March, 1931

Price: \$1.20, postage extra

THE COMMERCIAL PRESS, LTD., SHANGHAI

All Rights Reserved

序

原子論爲近代物理學中最可注意的部分,其所研究乃是物質之實體問題,其見解是我們宇宙觀之基本。雖然哲學家與科學家中至今尚有否認原子爲實在者,但物理界種種現象,實不能不使我們假定原子之存在;至少亦可說,假定原子之存在,於解釋物理現象上極爲便利。而觀輓近的物理思潮,則原子的觀念,且推及於能力上,而有能子論出現了。原子論近年來進步極多,而自波耳 (Bohr) 氏將能子論引入原子論後,此方面實開了一生面。本書原爲德國物理學者格來致 (L. Grätz) 之通俗講演稿,譯者以其簡繁適當,敘述明顯,包括完備,實爲通俗原子論中極難得之書,故取而譯之;讀此書後,不僅能知道原子論至今造詣已至若何程度,且於原子論之基本思想,亦不難明白一些。譯時所用原本,係適纔出版的第五版。

民國十四年四月

譯者誌於德國

目 次

第一章	化學及熱學上之分子與原子.....	1
第二章	電學上之原子.....	14
第三章	放射性物質.....	29
第四章	樂琴線與心核理論.....	45
第五章	線光系與波氏原子觀.....	62
第六章	餘論.....	80

最近原子論大要

第一章

化學及熱學上之分子與原子

古代哲人中，已有人想到，空間物體，不是把所佔空間完全無隙漏的填滿的。事實上，只要看物體溫度降低時之收縮，所佔空間較前小了，以及受壓力的時候亦會如此，便可知物體不是把所佔空間完全填滿的；否則決不能如此。所以物體表面上看來雖是連續的，實在不能無隙漏，不過這種隙漏是極小的就是了。即使用最強的顯微鏡去看時，也看不出物體是不連續的，從此可知物體必由很微細的，為顯微鏡所不能見的微點所構成，各點之間有若干距離，而當溫度變動時，這種距離亦跟着變動，被壓榨時也如此。這種見解，各方面均不難找得證據，而最能造詣精確，則得之化學的研究。蓋無論自然界中所原有的化合物或化學家所製出的，其所含原質的分量，總有一定的簡單的關係。對於這種事實之簡單的并充分的解釋，即是假定每種原質由微細的所謂原子者所構成；

這種原子各有一定的質量，同一原質之原子，性質上相同，其所有質量亦同，惟不同的原質，則其原子所有質量及屬性亦各不同。原質的數目，既有九十多種，那麼原子自亦有如許種類。由這些不同的原子組合，乃構成一切化合物之極小的基本單位，叫作“分子”。原子所有的重量，到了今天我們已很有把握用克蘭姆（以後略作克表之。但是尋常所說的“原子量”却并不是原子所有質量的真數；那是某原子的質量和氫氣原子質量的比。故原子量是相對的數目，都用化學的方法來鑑定的。還有原質的符號，如氫作 H，氦作 He，氧作 O 等等，不但是表其名稱而已，同時并表其數量，例如 N 表氮，同時也表一原子的氮。尋常所謂“克原子”，就是說該物若干克如其原子量所定者；例如一克原子氮，即為十四克氮。

如前所說，由不同原質的原子相組合，乃構成分子，是化合物的最小單位。反之，分子亦可以分解仍舊變為原子。“分子量”總是等於其中所含原子的原子量之和。如是看來，好像單純原質是與由原質所組成的化合物之間有分別，即前者之最小的單位是原子，而後者則為分子，但是從許多事實上可以證明并不是如此的，原來原質之構成單位，在大多數原質方面不是單個的原子，而是由數個原子所集合的分子，所與化合物不同者，則後者之分子由不同的原子所組成，而前者之分子則由同的原子所合成就是了。十九世紀之初，化學家亞佛加德羅 (Avogadro) 曾發見一定律：“一切氣體於同

溫度同壓力下其同體積內所含分子之數同”。事實上，無論何種氣體，是單純原質或是化合物，其所遵循的定律均同，則可知其原子量與分子量雖各有差別，而必有相同者在；此項相同處，即是亞氏前此之定律。從這條定律，即不難推知前所說的原質亦有分子。我們知道一斗氫氣與一斗氫氣可化合成二斗氣體，氫化氫，因為每一個分子含有一個氫原子與一個氫原子。倘氫與氫的分子祇含有一個原子，那末結果不能得二斗氫化氫，而祇能得一斗。由此可知氫分子與氫分子都是由二原子所構成的。

普通原質的分子大都不是一個原子所成的。祇有幾種金屬像汞的蒸氣，他們的分子向來假定其祇含一個原子。因為氣體方面，比熱須分爲二種，即定壓力下及定體積下之比熱，而照分子運動論，我們知道氣體之分子若祇含一個原子者，其二種比熱之比當作 5:3。事實上，孔脫 (Kundt) 與華堡 (Warburg) 二人於汞蒸氣方面測得確是如此，因而得證明了。但起初所知道的祇是汞一種原質是單原子的，後來有新氣體的發見，於是知道汞以外尚有氫，氮，氧等數種原質亦爲單原子者。並且後數種原質尚有此項屬性，其原子不能與他原質之原子相化合。

由此可知除了少數單原子的原質外，一切都是以分子爲構成單位，而分子則由幾個原子所合成，因而原子是一切物質之最小單位了。惟原質的數目既有九十多種，那末，照前

所說，原子的數目亦必有如許多了。不過好久以來即已有人提出這問題，換言之就是能不能此項不同的原子乃是一種基本原子之各種組合，而此基本原子則為最輕的原子，即是氫原子。十九世紀之初，有普宰特 (Prout) 者曾立一假設，謂一切原子均可由氫原子得之。若果如此，則一切原子量必為氫原子量的整倍數；氫的原子量既為 1，則餘者為 1 之倍數必盡是整數了。然而這個問題，非有極精確的測定，不能解決。例如汞之原子量初時測定為 200，此與普氏假設相合；但後來又得 200,6，則與普氏說有衝突了。事實上，祇有極少數原子量是整數的，其餘許多都不然，惟大部分與整數所差者為極小而已。而在他方面，尚有一件事，亦為好久以來所注意到的，即是化學上性質相似的原質，他們的原子量間，有許多近似的規律性在，最普通表出此項規律性者，為門對雷葉夫 (Mendelyev) 與邁爾 (Logthar Meyer) 兩人所發見的“原質之週期系統”，照此，則原子之化學的屬性，和他們的原子量有週期的關係。在有許多原質方面極能自然的適合此定律；蓋若將其依原子量排列時，則第九原質之屬性，與第一者相同。然嚴格的規律性則亦并不能見出。如表中直至 Mn (原子量 54,9)，頗有規律性可見。

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	a	a	a	a	a	a	a	
	b	b	b	b	b	b	b	
He 4,0	Li 6,94	Be 9,1	B 11,0	C 12,0	N 14,0	O 16,0	F 19,0	
Ne 20,2	Na 23,0	Mg 24,3	Al 27,1	Si 28,3	P 31,0	S 32,0	Cl 35,5	
A 39,9	K 39,1	Ca 40,1	Sc 45,1	Ti 48,1	V 51,0	Cr 52,0	Mn 54,9	Fe 55,8 Co 58,9 Ni 58,7
(FeCoNi)	Cu 63,5	Zn 65,4	Ga 69,9	Ge 72,5	As 74,9	Se 79,2	Br 79,9	
Kr 82,9	Rb 85,4	Sr 87,6	Y 88,7	Zr 90,6	Nb 93,5	Mo 96,0	—	Ru 101,7 Rh 102,9 Pd 106,7
(RuRhPd)	Ag 107,0	Cd 112,4	In 114,8	Sn 118,7	Sb 127,5	Te 127,5	J 126,9	
X 130,2	Cs 132,8	Ba 137,3	La 139,0	Ce 141,3	T 181,5	W 184,0	—	Os 190,9 Ir 193,1 Pt 195,2
(OsIrPt)	Au 197,2	Hg 200,6	Tl 204,0	Pb 207,2	Bi 209,03	Po	—	
Rd	—	Ra 226,0	—	Th 232,1	UX ₂	U 238,2	—	

繼此即爲鐵類三原質，頗難解釋。自此後又頗有規律，以至於鈹類原質又復不洽。而在鉑類亦然。自發見許多新原質後，此方面之困難益以增加。又如表中所示，每直列中各原質其化學性質雖相似，但仍須別爲二類，即 a 與 b，其間殊有差別。故事實上，此項週期系統實不能說全無可疑之處的了。然自羅琴光系 (Röntgenspektren) (此於以後論之) 方面之智識大進後，於此已能十分明白，知原質之次序究是若何的——此項次序與原子量之次序殊多不合——并知系統中空處尙有新原質未發見。這裏所附的表，乃是近來所作各種不同的週期表中之一種；於此，I 之前尙有一列 0，爲新近發見的氣體原質，VII 之後有一列 VIII，則將前述三原質組列入，至最新發見的希有土族，諸多未列出(在 Ce 與 Ta 之間)，而氫亦未列。此表殊不完備，第四章中當有完美者另列出。至表中每列又分成爲 a 與 b 兩列，則純爲表相似性者，凡 a 中諸原質或 b 中諸原質，相互間極爲相似，若 a 中與 b 中者則有差了。例如 I 列中 Li, Na, K, Rb, 等爲同類原質，Cu, Ag, Au 亦爲同類，至前者與後者之間，則已無直接相似性可言了。他列中亦然。爲此，我們可說週期系統祇是發見各不同的原子間關係之第一步而已。

原子量所給我們的，不是原子真正的質量，乃是某原子與氫原子量之比，故是相對的。然欲對於原子有更明確的觀念，則其真的質量以及其大小不能不設法測定。倘若我們把

原子看作球形，則其半徑多長，亦須設法測之，這些都是非常可注意的事，不過卻是難事，原子之微小，即我們所有最強的顯微鏡，極精的天秤，相差亦太遠，不能窺其萬一，故直接測定是不可能的。

直接測定雖不可能，但間接的方法則未嘗沒有。就中有一種是根據分子運動論的，頗為明白。其所測者雖祇是分子而非原子，然分子既為原子所合成，則亦非無關係的。我們知道物體祇能有三種狀態，或為固體，或為液體，或為氣體。固體與液體的分子，其相距要較氣體者為近，這是極容易明白的。氣體分子間的距離既然較大，那末分子與分子間所有相互影響的力，自必極小，簡直等於零了。照分子運動論，則凡氣體之分子，不是靜着而是迅速運動的。且因分子與分子間既沒有相互影響的力，故其運動即依直線進行，其速度是不變的。然分子之數極多，故分子與分子間不能無相撞。當二分子接近時，他們的力即發生影響，相撞後即互相彈回，有如二球相擊各彈回然；其撞於盛氣體的器具之壁上時亦然。這樣我們可以說氣體是由無數的分子所成，各各迅速飛動，但輾轉間互相衝撞，因而運動的方向與速度就屢次改變了，不過在二個相撞之間，其進行則總是循直線的，而且速度是不變的。因之，各分子所走的軌道，是無數屈折的曲線。

用此假設，即不難解釋氣體之一切屬性，例如氣體對於盛氣的器具之壁上所施之壓力，即可以分子撞擊的理去解

釋，并可知分子愈多即氣體愈濃厚，壓力也自必愈大。每分子之速度時常變換，合之，即一切分子之速度也時常變換的，但是我們可取他們的平均速度，就可以表出氣體之狀況。一方面，分子之撞擊力，即氣體之壓力，與分子之平均速度有關，故觀察壓力，即可推算此項平均速度。各種不同的氣體，有不同的速度，輕者的速度比較大些，重者比較小些，但氣體之平均速度，尋常都隨溫度增加。普通一分子之平均速度，大約都是每秒鐘數百至數千公尺。例如在攝氏零度下的空氣，每秒鐘447公尺，氫氣每秒鐘1692公尺，氯化炭362公尺。

速度雖然如此大，但各分子仍差不多各守着他們原有的地位不移開；因為分子間之撞擊彈回所致。而各分子在二撞擊中間之軌道，亦長短不一；於是我們又得取他們的平均率為平均軌道，這和氣體的許多現象如氣體摩擦及傳熱等等，都有關係的。例如一氣體之二部分溫度不同時，他自己即能平衡，此照分子運動論說起來，很容易明白的；因為較熱的一部分方面，分子之速度大，故運動力，能力都比較大些，而較冷的部分方面就比較的小了，然因速度大的分子每飛入小的部分方面去，小的亦飛入大的方面去，於是不久即平衡了，而溫度亦即隨之平衡。然較熱的部分方面，分子之平均軌道愈長，則其飛入較冷的部分亦愈深，因而平衡亦愈速。於是由觀察傳熱，可推知他們的平均軌道。這種軌道，照所測得者，都是很短的，而與氣體之濃厚亦有關係，氣體愈稀，則愈長，愈濃

即愈短。例如在尋常氣壓下，空氣之平均軌道爲 $0,96 \times 10^{-5}$ 厘，
氫爲 $1,78 \times 10^{-5}$ 厘，氮爲 $1,02 \times 10^{-5}$ 厘，氧爲 $0,95 \times 10^{-5}$ 厘，氯化炭
 $0,65 \times 10^{-5}$ 厘。

我們欲解答此問題，即“在氣壓下一立方厘氣體內所有分子之數若干？”則前面所述平均速度與平均軌道實不可少。此項一立方厘內所有分子之數目，名爲羅斯密特數，因羅斯密特 (Loschmidt) 最先想出求之之法。與此問題相連而最有興味者，厥爲這問題，即“分子既把他看作是球形的，其半徑多長？”倘若知道了這半徑，即不難推得分子之體積，而如更將羅氏數求得，則可測知一立方厘內所有分子的體積總量。此項總體積，即可視爲與這些氣體受壓力或減少溫度成爲液體或固體後之體積相近者；蓋氣體與液體固體之別，祇在其分子與分子間距離之疏密而已。例如大氣壓下氣體的氫，其密度爲 0,001254，而液體氫的最大密度，則有至 0,854 者。這兩個數目的比，即是 $0,001254/0,854 = 0,00138$ ，名爲氫之“凝縮係數”。我們知道，當氣體時分子有他們的平均軌道，而當凝縮後，則分子與分子緊緊相接了，故分子之半徑和平均軌道之比，必略等於凝縮係數。因之，分子之半徑，可由平均軌道與凝縮係數求得之。例如氫之凝縮係數爲 0,00138，他的平均軌道爲 $0,95 \times 10^{-5}$ ，所以他的分子的半徑約略等於 $0,00138 \times 0,95 \times 10^{-5} = 1,30 \times 10^{-8}$ 厘。這不過是個近似值，所以我們只須當他是 10^{-8} 便够了。用這個方法，曾詳測得氫的分子的半徑

爲 $2,56 \times 10^{-8}$ 糵, 氫分子的爲 $2,20 \times 10^{-8}$ 糵, 氫爲 $3,51 \times 10^{-8}$, 氮爲 $3,38 \times 10^{-8}$, 氫爲 $3,41 \times 10^{-8}$, 氫爲 $5,04 \times 10^{-8}$, 汞爲 $5,86 \times 10^{-8}$, 等等。

惟所欲注意者,這裏所說的半徑,不是嚴格的而言。我們須設想,每一分子之四圍有“力場”,別的分分子纔不能侵入。適纔所得半徑的數目,實即是分子所有力場之半徑之數目,以云分子本身,尙嫌太大。並且前面已經提及,原質中亦有分子祇含有一原子者,於此,分子半徑之數目,亦即是原子的半徑之數目了。至於氫,氮,氫,氫等原質,其分子含有二原子者,那末他們的原子之半徑自然還要較小一些。

分子運動論對於測定原子大小的結果,大略如此。我們現在可假定,一個球形的原子的半徑,其數目大約是 10^{-8} 糵,即是一糵之萬萬分之一。雖各不同的原子,大小有異,但相差亦不過以倍計而已。別的方法所測得的結果,亦是如此;於此姑不論。

分子之大小既測得,則羅氏數目亦即容易計算了。照計算的結果,知道在氣壓下一立方糵氣體內所有分子之數爲 $27,2 \times 10^{18}$ 。無論何種氣體所得均是如此;此與前面說過的亞佛氏定律恰合。

我們試設想立方糵內分子是均勻分配的,則每分子占一極小的立方空間,其體積爲 $1/27,2 \times 10^{18}$ 立方糵,其每邊之長爲 $1/3 \times 10^6 = 3,3 \times 10^{-7}$ 糵,即是一糵之千萬分之三至四;此即是二分子間之平均距離。從此可知,二分子間之距離,約爲

分子半徑之十倍至三十倍。

由羅氏數目，可更推得一重要數目，即所謂亞佛加德羅數目 (Avogadro'sche Zahl) 是。我們試於同壓力下取各氣體，如氫，氮，氫各一立方厘米，則其體積雖同，而質量不同。這些質量之比，如其“克分子”之比；如於前例氫，氮，氫三者即作 2 : 32 : 71；但不獨此三者為然，一切均是如此的。從可知每種氣體克分子之體積（於同壓力同溫度下）是相同的，而照亞氏定律，其所有分子亦必同。每種氣體之克分子（於大氣壓下攝氏零度）中所有分子之數，名為亞氏數目。例如一克分子氫氣占空間 22378 立方厘米，故可算得其所有分子之數目為 $60,9 \times 10^{22}$ ；其他氣體亦然，這就是亞氏數目。

$60,9 \times 10^{22}$ 分子（氫氣）所有質量之重既為二克，則每個氫氣分子之質量，不難算出為 $2/60,9 \times 10^{22} = 3,28 \times 10^{-24}$ 克了。其他如氮分子之質量，則較此大十六倍，氫分子大 35,5 倍。

但我們知道氫分子係由二原子所合成，故知一氫原子之質量為前面數目的一半，即 $1,64 \times 10^{-24}$ 克。

由前所說，可知關於分子原子之數目，直教人難以設想。以長短論，原子之半徑與一耗之比，猶一耗與十杆比。至於質量，則一氫原子與一克蘭姆之比，猶之十啓羅克蘭姆重的物體與地球之重相比。但是，如此小的原子，照最近來研究所得，知道還是一個小世界；每個原子乃是一太陽系；此待以後再說。

原子向來視爲是物質之最小單位,再不能分析的了。然所謂“再不能分析”者,可有二種意義:其一,是說我們分析之力已盡,再沒有方法把原子分作更簡單之東西了,故祇得說不可分,實際上原子既占空間,安知其不是由更小的部分所合成呢?故所謂原子是物質之最小單位者,祇是就目前而論罷了。這種說法,與前所說過的普牢特之意見頗相似,不過合成原子之更小部分不一定是氫原子。照近來研究所得觀之,此項意見極合理。其二則以爲原子真的是物質之最小單位,絕對的不能再分;而其不可分之理由,并非如前此所說因我們之力已盡,乃是在於原子本身之性質上。於是這裏的問題,乃是何以說明此項原子之本身實在不能再分析?原來物理學者赫爾姆霍斯 (Helmholtz) 曾經證明,在理想的沒有摩擦的流體中倘有了漩渦,那末這種漩渦不會再消滅,并且亦不能將其分割。根據此理,克爾文 (Lord Kelvin) 卽假定以爲原子非他,乃是瀰漫太空的“以太”中之漩渦而已,自無始以來卽存在,不會再消滅,而因是漩渦,故無法將其分析爲更小的單位。克氏此說雖未經採用,然其價值則殊不能否認;蓋以今日之眼光觀之,原子雖是由更小的單位所合成,卽所謂“電子”者,但在電子方面仍可發生此問題,則漩渦說自終有其用處。

我們假定原子仍由更小的單位所合成,實有理由;蓋非如此卽不能解釋許多現象。就中可最先提出者,如光學方面

的現象是。我們知道倘將太陽光透過三稜鏡，則可見其分成爲各色的光系，自紅經過橙黃，黃，青，等等以至於紫。經學者研究後，知道其他物體之光亦有此項光系，惟物體各各不同罷了。例如將鈉之鹽，若食鹽，用本生燈得其光而觀察之，可見其不若太陽光之有許多顏色光帶成爲一光系，而祇有黃色光帶一條，尋常即稱之爲D字線，若再用三稜鏡充分分散之，可見其含有二線，即 D_1 與 D_2 線是。經試驗後知不獨食鹽爲然，其他由鈉所化合成的鹽類都是如此，所得光帶同，於是知此光帶由鈉原子來。其他如鋰之光系，則爲二色線所成，一爲紅，一爲橙黃；鉀之光系則爲紅與紫二線，等等不一。照光學的理论，光是由振動所成，而其顏色則因於振動數之不同，於是不能不假定物質之原子在某種狀況下能作數種振動數不同的振數。其後并試驗得氫氣之光系有四色線，爲紅，藍，青，紫；氮氣有七線；氫，氮，氧等光系均極複雜。至鐵蒸氣之光系，則其線多至二千餘。由此知原子內實有各種不同的振動在，而原子本身決不是極簡單的單位了。此待以後再說。

第二章

電學上之原子

原子之理論雖化學上早已用之，但其後來之進步，則大都得自電學方面。十九世紀中葉，電學方面新現象迭有發見，一時幾使人對於電之觀念莫知適從；蓋自有許多現象觀之，電似為一種物質，而自他方面論，則電又當為“以太”之運動，直使人難以決定。未幾，物理學者赫次 (Hertz) 發見電波，於是電之以太運動論得了最後勝利，物理學者間對於電為物質之說不復提及了。馬克斯維耳 (Maxwell) 之有名的理論，將一切電的現象都歸之於以太之運動或某種狀況，一時傾倒一切物理學者，再沒有人懷疑他不完全。

但一方面亦自有現象非馬氏理論所能解釋者，此中如電解現象，用以太運動之說即不能明白，反之，若假定電為物質即不難解釋之。原來將電流通過能傳導的液體，如鹽之溶液或其他酸類等時，能將其原質分解開來，能使一種向陽極方面，一種向陰極方面游去。這種被分解開的分子之部分，曾經證明其帶有電者，名為“游子”(Ionen)，其在陰極方面者為陽游子，在陽極方面者為陰游子。有名物理學者法拉第 (Faraday) 曾詳細研究過此種電解現象，他發見了定律，知道所通過的電流之量與所分解開的物質之間有一定的比例，這裏

姑從略不詳爲說出。對於此項現象的解釋，是如此：在液體內本來有這種陰游子與陽游子存在，但陰的與陽的之數適等；倘於此液體內插入一陰極與陽極，而通以電流，則因電之吸力發生作用，於是陽游子游向陰極，而陰游子則向陽極，蓋這些游子本是帶陰電或陽電的分子之部分。電流之得以通，其原因亦卽在是。如是，可知經電解所分出的物質，先前原卽游於液體中，其本身帶有一定量的陰電或陽電。而照法氏所得定律，并可知任何物質所帶之電量都沒有分別。故每個單價的原子，如氫原子，銀原子，氫原子等，其所帶電爲一定量者，而二價的原子，三價的與四價的原子等，則所帶之電亦卽爲其二倍，三倍，四倍等。

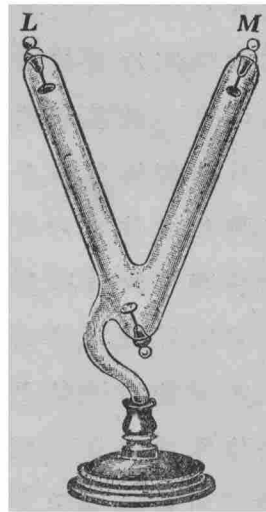
最初自這些現象中作出極有意義的結論者，爲赫爾姆霍斯。他當時卽假定向來對於物質的觀念，卽視物質爲由原子所合成者，亦可應用於電，把電亦看作由原子所合成；而有一定量極少的電，爲電之單位或電原子，與單價的原質之原子相結合，其他多價原質之原子，則帶有此項一定量之整倍數。

此項電原子，卽稱之爲“電子”，并別之爲陰者與陽者二種。如是，我們把電亦看作是一種物質，由電子所合成，而與其他原質之原子相結合時，卽成所謂游子。此種觀念，與馬克斯維耳之理論大相反背，自不須說了。我們若不用馬氏理論，改變電之觀念，豈不極好；無如他方面亦有許多現象非用馬氏

理論不能明白解釋，於是即處於極困難的地位了。欲解決此困難問題，乃有羅倫芝(H. A. Lorentz)之電子理論起。照羅氏意，以爲一切在物體內的電之現象，假定一種電子存在已足解釋，但他方面電之遠地影響，如靜電影響，電磁影響及感應等，則非假定有以太之助不可。因之他假定電子與以太之間密切相連，無論靜的或動的電子在以太中起有一定變動，即藉以太以傳之遠處生影響，其傳達之速度與光之速度等。羅氏電子論之大意乃是如此，其詳非這裏所能述；經此理論，於是電子與以太之衝突消解了，兩者並能成立無妨。但前面所說電子，是與物質之原子相結合的；我們下面再舉出數種現象，由此可知電子不必定與物質相結合，他能獨自存在。惟在未說之先，須先將一件事實提出，即前面所說的游子，其所帶電量曾經學者測定過，知道氫原質之游子(單價原質之游子)所含者爲 $1,58 \times 10^{-19}$ 庫隆，或 $4,74 \times 10^{-10}$ 靜電單位；其測法姑從略。

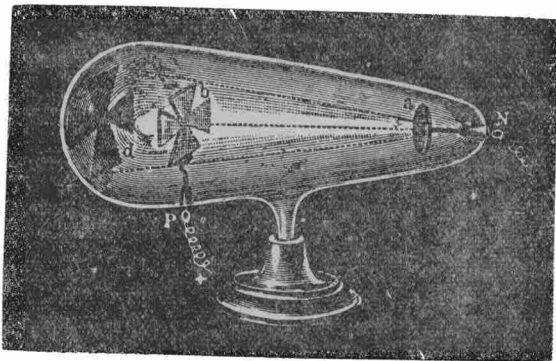
電解方面之現象雖引起了電子之觀念，但祇此一端，尙未足爲電子之有力證據，且如前面說過，不能使人知道電子之能獨立存在。對於電子之觀念使人更明確可靠者，實爲將電通過極稀薄氣體時所得的現象。試於含有稀薄氣體的玻璃器中裝置兩電極，而通以強的電，則此器中起有極可注意的現象，即是，此器之內部不見有甚麼光發生，惟玻璃方面則起一種青色的螢光，而正對着陰極方面者則特強。此種現象，

即所謂“陰極輻射”是。經研究後，知道此項螢光之來源，由於陰極方面有不可見的輻射發出，以直線進行，及遇障礙時，即發生影響，如玻璃方面之螢光即是。圖一所示即是試驗此項現象的器具之一，圖中L為陰極，M為陽極，通電時，左玻管即生螢光，至曲處為止，右玻管無此現象；反之，若使M為陰極，L為陽極，則所見者適反，即祇有右管生螢光，左管沒有。又如用圖二所示器具試驗，a為陰極，在其對面置一十字形金屬片b，則可見



第一圖

後面玻璃壁上即有影d發生。由此二種試驗，可證明陰極輻射是以直線進行無疑，并與陽極之位置無關，蓋其輻射非是由

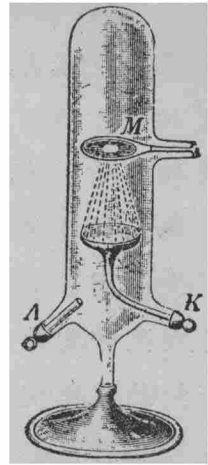


第二圖

陰極以達到陽極為止者。惟所發螢光則與玻璃之性質有關，在其他玻璃亦能發紅螢光等不一；而礦物中則受此輻射時，亦多能發此現象。因輻射與陽極之位置無關，總是由陰極發

出與陰極相垂直而以直線進行，故我們可將陰極作成球面形，則輻射線即聚於其中點，而成所謂焦點，由此再射出。

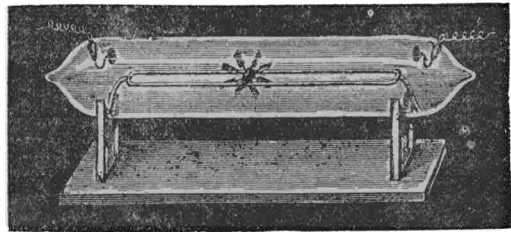
陰極輻射遇金屬物時，不發螢光，惟能將其燃熱。圖三所示為一試器，K處接有一凹面的陰極，其焦點處裝一金屬片M，則輻射時，即可見此金屬片熱至紅熾了。若使此項輻射之焦點落於玻璃管上，則該處玻璃立即燃至極軟，以至於管破了。又用圖四所示試具，其中裝有一極易動的輪，則可見當



第三圖

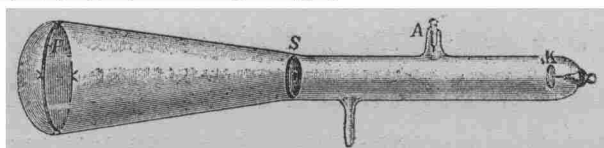
射線遇此輪時能將其推動。

以此種種現象，物理學者克魯克斯 (Crookes) 即



第四圖

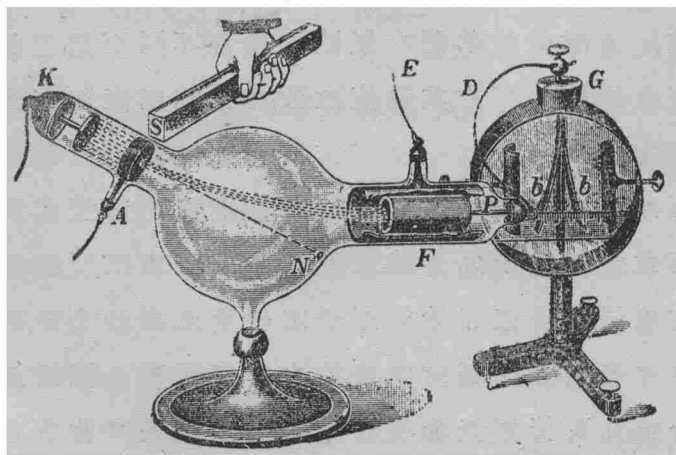
假定以為當玻器中裝以電極而通電時，其中氣體之分子即由陰極射出，投於玻璃上時，即生出此項現象了。但經詳細研究，知道決非氣體之分子所成。蓋此項射線尚有一種重要的屬性，當其經過磁力場時，能受磁力影響而變方向。圖五所示即是試驗此項現象之器具，其中K為陰極，A為陽極，S為一障片，其上開有一小孔，俾射線祇能由此透過其一小束，而落



第五圖

於其後鈣鎢化合物之圓片P上。當射線至P時,可見P之中心處起有一斑藍色螢光。但若於此試具之外S處置一磁石之極,則即可見此P上之螢光斑移動了,此即是射線受磁力之影響,改變其方向了,并且試將磁極位置向上下左右移動時,此斑點亦隨之移動。從可知陰極射線在磁力影響下其方向之移動與電流受影響時同。又P上之螢光斑受磁力影響後其形亦由圓變成略長,因之,并可知射線內部殊不一,有的能因磁力而有極強的方向變動,有的則甚弱。

由此現象,可知陰極輻射決非氣體之分子所成;蓋氣體



第六圖

分子無電，在磁場中不會受影響。故若假定陰極射現象由微點之運動所成，則此項微點必有陰電者而後可。事實上，陰極射爲由帶有陰電的微點之運動所成，不難直接證明。圖六所示，即是一試驗法；於中 K 爲陰極，A 爲陽極，而 A 同時即爲障物，其中心開一小孔，俾射線祇由此透過一小束，投於 N 點。若於 A 之上近以磁極 S，則射線之透小孔出者不落於 N，而直入 F 管中。此 F 中裝有二金屬筒，其在外層者與 E 相連，通至地，內層者與 P 相接，復由 D 與一量電器 G 相通。當射線入金屬筒時，即可見量電器之葉分開了。如是，足證明陰極射線實帶有電的，并用玻璃棍試後，知是陰電，因而知陰極射線中運動之微點帶有陰電。

陰極射既由帶有陰電的微點所成，於是物理學者即設法測量此項微點運動之速度及其所帶陰電量之多寡。結果，知道其速度雖隨玻璃器內氣體之稀薄不同而異，但總是極大的。在愈稀薄的器內，其速度愈大；尋常其速度總在光之速度五分之一至三分之一間。至其所帶電量，則與玻器內氣體之稀薄與否無關，經物理學者測得，其電量約大於前所述電解方面之游子一千九百倍。因此，起初時假定此項微點所帶物質之原子，其量僅等於氫原子之一千九百分之一，而以爲此現象中發見了一種新物質，較之向來所知最輕的氫原質要輕一千九百倍。然無論玻器中所含氣體是何物質，爲空氣，氫氣或氦，氫等，陰極放射微點之電量均同，故知此項微點所

帶的物質，決非來自氣體，蓋各不同的氣體決不能有同的附帶物質，而僅由此成陰極放射。於是祇能假定陰極放射之微點並不與何種物質點相結合，而是獨立的陰電子本身。從可知陰電子不必與物質之原子相結而能獨立存在的；其質量輕於氫原子約一千八百倍。然經更詳細的研究，知道此項陰電子之質量與氫原子之質量不同，可以證明陰電子實無真質量，其所有質量乃是假的。

這問題較難了。我們欲知道明白，須先一論物理學上普通所謂物體的質量是什麼？質量的觀念，本來根據兩種事實。蓋凡地球上的物體，因受地球吸引，故有重量；因之，地球上物體之質量與重力有關，是乃重的質量。然若假定有一物體能脫離地球之吸引，與重力無關，則此物體再有沒有質量？還是有的。蓋照物理學上的原則，靜止的物體非加以力時不會運動，動的物體非用力止之亦不能再靜（就沒有摩擦的狀況而言），此即是所謂物體之惰性，然亦即是其質量。他方面，電學上曾經法拉第證明，亦有此項現象，即所謂自感應者是。故我們可說電子祇要有電量，則雖不與任何物質結合，亦能有惰性。其理由則因電子之運動既即是電流，故能發生自感應，而使靜的電子動時，須要用力，以及運動以後能繼續進行，與普通物質之惰性相同。電子既有惰性，則照前面所說的意義，不能說其沒有質量了。然此項電子之質量，實與尋常者不同，他是由電量得的，由以太中之磁力影響來的，詳細的研究，可知

其質量與體積爲反比例，故祇能說是偽的質量。

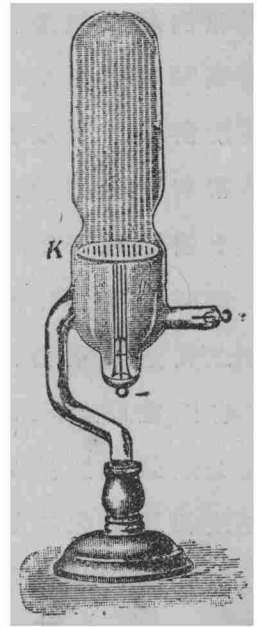
經學者計算，知道我們倘將電子看作球形微點，則其半徑之長爲 $1,9 \times 10^{-13}$ 厘米。我們在前章內曾經說過，一原子半徑之長，其數目位置爲 10^{-8} 。因之，倘將原子放大至地球那樣大，則電子纔不過爲一百二十呎半徑之球而已。電子較原子還要小，幾使我們不能想像，由此可知了。

由前所說，已可知電子之質量是假的，然僅此一端尚不能證明其必然，不能證明電子一定不與物質相結合。事實上，確實證明電子之質量是假者，在此：蓋照物理學者測算，知道電子之質量與其速度有關，在尋常速度較小時，即其速度與光之速度相比爲較小時，電子之質量是不變的。但若電子之速度增加，與光之速度相近，則其質量即亦加大了；并且其速度若與光之速度相等，則其質量直可大至無限。有了這種事實，我們可確定的說電子之質量是假的。

陰電子之存在及其質量前面都證明了。惟此項證法實根據於電解現象及陰極輻射理論的。雖說此項理論可以成立沒有矛盾，然物理學上往往有新現象發見，便可將舊理論推翻，故凡根據於某種理論的論據，都不十分可靠。電子之存在與否，及其電量爲最小的電之單位的問題，實有根本的意義，其證明藉某種理論似不甚妥。因之，學者間每想用一種方法直接證明之，不假何種理論。此項方法，首由湯姆孫 (J. J. Thomson) 提出一種，其後密爾根 (Millikan) 改良而採用之，頗

獲好結果，今述之如下。我們設法作出水，或油，或汞之極小的微點，使其浮於空氣中，則因空氣之摩擦，祇能極遲的向下墜，而我們藉顯微鏡之力，可測定其下墜之速度。一方面，我們倘用樂琴線將其所在內的空氣游子化，則空氣內即有陽游子與陰游子了。此項游子與浮於其中的微點相接觸時，即使其亦帶有電。今再於此空氣處設二電板，使微點在其間，而通以電，上者通以陽電，下者通以陰電，然後觀察其現象。當微點未帶電時，在空氣中祇受重力之影響而下墜，其速度與微點本身之質量及重力之加速相比。及至微點與陰游子相接觸而帶有陰電時，則在電板中間不能不受在上陽電板之吸引而向上運動，其速度與電板之吸引力及微點被地球吸引的力之差相比。電板之吸引力可與微點本身所有電量相比，故我們倘知其質量，則將微點未帶電與已帶電已後之速度相比較，即可推知其所帶之電量。經觀察的結果，可嚴格證明此項微點所帶的電量雖有多寡之分，但總是以前所說過的單位電量之整倍數，即是一電子所帶電之整倍數，從沒有為其部分者。由此，電子論即得了一極有力的證據。用此法測算，可得電子之電量為 $4,774 \times 10^{-10}$ 靜電單位或 $1,591 \times 10^{-19}$ 庫隆，與以前所說者無大異，而前章中所測算得的亞佛加德羅數目及羅斯密特數目亦可由此中推算出，與原得者無異。如是，不獨我們已用獨立的方法證明了電子及電量，並且同時為前此的分子運動論立了有力的證據。

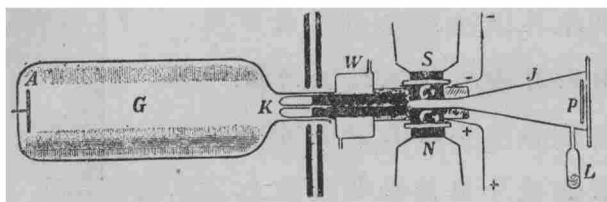
陰極輻射現象已給我們知道陰電子能獨立存在。但陽電，陽電子究是什麼一回事，則尚未明白。自陰極射發見後，學者間對於此方面現象極注意，於是後來又發見了一種輻射，即所謂“孔道射”（Kanalstrahlen）是。如圖七爲一試具，與試陰極射者無異，惟其中所裝陰極K上開有小孔，而陽極則在其下。當通以電時，即可見自陰極上之小孔中放出輻射線，其方向如圖中所示乃是向上的，在空氣中其顏色作深紅，因此由此項小孔中出，故即名之爲孔道輻射。此項孔道輻射，在磁場與電場中其改變方向適與陰極輻射相反，故知其所帶電乃是陽電。同樣，可推知孔道輻射亦由帶有陽電的微粒之飛動所成，



第七圖

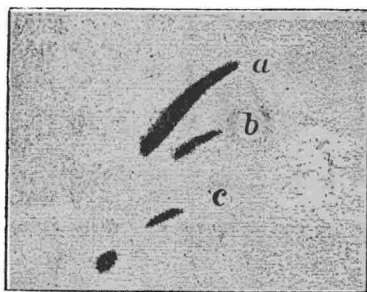
因而於此亦可求其速度及所帶的電量。經測算後，知道此項微粒之速度遠較陰極輻射者爲小，大約等於光速度之五百至一千分之一，而其所帶電量則亦與前此所得於游子者相似，亦較陰極輻射所帶者爲小。因此，可推知孔道輻射中之微粒，非是獨立存在，而與原子相結合者，即是游子。又陰極射方面微粒之電量，與試器中所含氣體無關，任何氣體均同，而孔道輻射即不然，其微粒之電量隨器中所有氣體各不同，故更

可知其為游子。他方面，又知道孔道輻射之微點，無論試器中所含氣體是何者，總不止一種。我們試使孔道輻射同時并受磁力及電力之影響（惟二者相垂直），則即能觀察及此；其法使孔道輻射落於一照相乾片上，即可見與磁力及電力二垂直的影響方向相斜的影，由此，不難推知其微點之電量及速度。如圖八所示，乃是湯姆孫及阿司吞（Aston）二人所用的試



第八圖

器。以試驗此項事實者。G 為玻器，A 為陽極，K 為陰極，作圓筒形，其孔道極微小。K 之前部為鋁所成，後部則為鐵，其前端微尖，具如圖中所示。K 之孔道緊與一玻璃管 J 相接，而 J 中 P 則為一照相片。又，W 為一通過水之器，所以防封處發熱者。S 與 N 為二磁極， C_1 與 C_2 為二電板，當陽極輻射經過磁極及電板處時，一方面因磁力之影響，使其向旁折，他方面又受電力之影響而向上折，於是後面 P 上生出一向

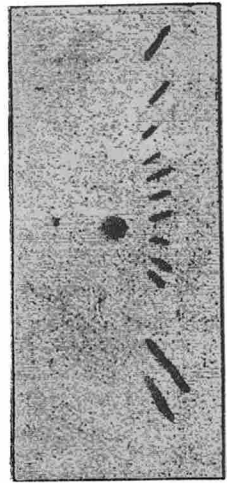


第九圖

上與旁的拋物線。倘孔道輻射內祇有一種微點，帶有陽電者，則得一拋物線；然若其中微點不止一種，則所得片上之拋物線亦不止一種。事實上，如第九圖所示，乃是一得自氫氣的相片，其中可見其有三不同的拋物線，而如第十圖，則為混合的氣體之相片，其拋物線之種類尤多了。

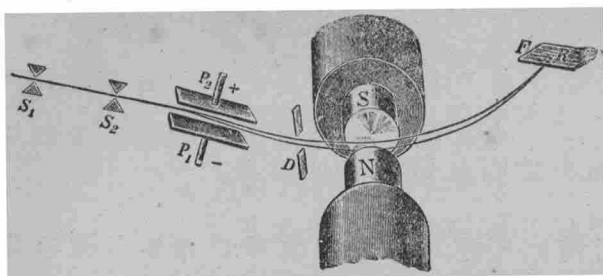
不問試器中所有氣體是何者，孔道輻射中總有各種不同的帶有電的微點。例如氫氣中可得帶有陽電的原子， H^+ ，又有帶有陽電的 H_2^+ ，圖九中拋物線 a

得自 H^+ ，b得自 H_2^+ ；此外看來尚有三原子所成帶有陽電的分子，即 H_3^+ 。經詳細觀察，知孔道輻射中尚有帶有陰電的輻射在，如帶有陰電的 H^- 可觀察得是，而亦有帶有二倍電量者，等等不一。如是，藉此項孔道輻射方面之照相片，可觀察得種種不同的電子與物質之原子及分子之結合，因而極能助化學上之氣體分解；故此項方法即名之為孔道射分析。近年來此方面之研究大有進步，而阿司吞之供獻尤多。因欲使帶有陽電的不同的微點，其質量之差別雖不多時，亦能看出其所留影上之不同，則必須使所落入之輻射極小而後可；然若不使質量同而速度不同的微點合於一處，則折方向的輻射其強度又太弱了。於是阿氏作出一種名為質量測驗器者供



第十圖

應用,其構造的原理如圖十一所示。孔道輻射經由 S_1 , S_2 而入於稍斜置的蓄電器 $P_1 P_2$ 間。我們試研究許多輻射,其電



第十一圖

量同而速度不同者,則速度較速者在 $P_1 P_2$ 中方向改折較小,速度較小者大,於是用 D 取其一束,而使其經過磁力場 S 與 N 兩極,於此輻射折其方向而向上。因速度較遲者其曲折強,較大者曲折弱,故前者所作圓之半徑小於後者,但可使其於一點 R 相遇。今可如圖設照相片 F , 使一種微點之一切輻射均聚於其上一點 R , 而他種微點之一切輻射則聚於其他一點。用此方法,即可測定各氣體之微點之電量或質量。如圖十二 I 所示,乃是阿司吞於試具中盛以氯化炭時所得質量測



第十二圖

驗之結果(惟器中同時并有氫與炭氫化合物)。於此有五點,與分子量 12, 13, 14, 15, 16 相當,而其微點則為 C , CH , CH_2 , CH_3 , CH_4 。而十二圖中 II 所示,則為得自與前磁力不同的測驗者,

可見前所說五點相接近了,而在其右旁較遠處尙有點,與“當量”(Äquivalentgewicht) 24-28 相當,其中較強的點 28,得自 CO,而其他則得自氫之化合物。由此項方法,直接即能測得孔道輻射中微點之質量;並且有許多化學上的原質,亦可用此法以勘定其是否爲真原質抑爲組合成者(關於此問題,下章中將再論)。

總括前面所述,可得結果二條:(1)陽電子沒有獨立存在者,他總是與普通物質之原子相結合。(2)原子之互相結合成分子,以及與電相結合成游子,其關係殊爲複雜,有原子與電相結合者,有原子與數倍電量相結合者,亦有分子與電量相結合者,等等不一而足。

第三章

放射性物質

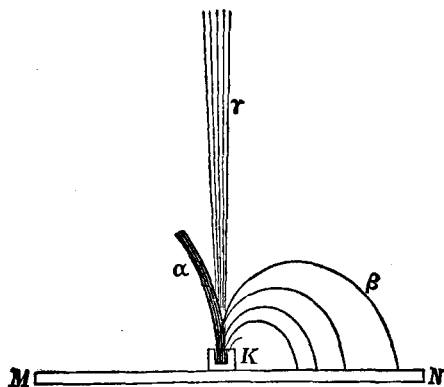
當本世紀之初，柏克勒爾 (Becquerel) 首即發見，繼之即有居禮 (Curie) 及其夫人起而增加，知有幾種化學原質能發出一種特別的放射，即所謂有放射性者是。經學者研究後，發見了許多此項原質及其放射之屬性，於原子論特關重要。

柏克勒爾 最初於鈾方面(作固體金屬狀態或與他原質化合時)發見其能將照相片感光，即用黑紙隔離時亦然，又能使某數種物體發螢光，以及使空氣及其他氣體游子化而能傳電，故有電的物體之旁倘有了鈾，其電即會消失。鈾之此項屬性，其原因係由於其發出一種放射；故即名鈾為放射性物質。然如前所說，鈾之一切化合物均有此屬性，故其來必原於鈾之原子方面。未幾，即發見鈾以外尚有銻，亦具此屬性，且遠較鈾為強；而凡銻之化合物亦均具此，與鈾亦同，故知銻之原子亦必為其放射性之來源。照居禮 夫人測定，知銻之原子量為 226，較之向來所知的原質重得多哩；其後又知鈾之原子量為 238,2，則更重了。後來更發見其他一種原子量為 232,15 的原質，釷，以及釷 (Aktinium) 均有此放射性，惟後者之原子量則尚未測定，想來亦是很重的或當作 230。

由前所說，可知有放射性的原質，其原子量大多是很重

的。經學者將這些放射詳細研究後，知道其殊為混雜，非為一種放射所成，而是由三種所混合成者。倘將此項放射受磁力影響，即可將其中三種放射清楚分開。如圖十三所示，K為一粒銦鹽，由此發出放射，

如將一較強的磁極置其前，則即見放射之一部分向一旁灣曲，其他部分向又一旁曲，而一部分則全不受影響。此中向右曲的一部分名為 β 放射，向左而其曲較弱者名為 α 放射，不



第十三圖

曲者名 γ 放射。此中 γ 放射最為有力，能透過極厚的固體液體及氣體；其屬性下章中當論之。

α 與 β 放射既受磁力影響，則如前面說過，必由帶電的微粒所成無疑。而觀其曲折之方向，可推知 α 放射之微粒帶有陽電， β 放射微粒則帶陰電。於是我們又可研究此項微粒所帶電量及其速度。經測算後，知道 β 微粒之電量約與陰極射者相等，故知其即為陰電子。惟其速度，則各種放射性物不同，有的較陰極射為大，有的則極小。其質量自亦是假的。至於 α 放射之性質，則較可注意了。原來放射性物質所發的放射，其中百分之九十是 α 放射；然此項放射殊為弱，即極薄的紙

張亦透不過去，而在空氣中則不到幾厘遠，即突然的消失。 α 放射自其物質發出後，在幾厘內能使氣體游子化，并使照相片生影響；過此幾厘，即突然消失。 α 微點之速度，經學者測定約為孔道射之五十至百倍；其電量約與電解方面之游子相若。從此可知 α 微點亦與尋常物質相結合，與電解方面之游子及孔道射之微點同；而其當量，則照測算當為二。據我們所知道的，原子之原子量沒有為二者；然於此實先有一假定在，以為原子祇能有一個單位的電量，事實上殊不是如此。其後有對於放射性現象多有供獻的物理學者刺得福德(Rutherford)氏，用方法證明 α 微點實帶二陽電子，其當量須為四。但我們知道氦之當量為四，於是推知 α 微點乃是帶有二陽電子的氦原子；而此項結論則各方面事實所證明者，例如在一封鎖的空間中，起初時并無氦祇有銻存在，到後來可驗得其有氦在，此則明明氦能由銻生出。

在銻發見後不多時，居禮夫人即發見銻之四圍相近的物體都能有放射性了，那自然是暫時的。例如在銻附近的紙片，玻璃，金屬物等，都能發出放射，使空氣游子化，不過經過幾許時以後，又復消失了。此種現象，普通稱為通感的放射性；而其原因則經刺得福德於鈾及銻方面之發見後，已大明白。原來這些物體發出一種氣體似的物質，刺氏名之為“放射氣”，此物有放射性，能使空氣游子化。惟此項放射氣之放射性不能常存，照研究所得，知銻之放射氣，每經三天餘即消失其能

力之半，而鈷之放射氣則祇能經五十四秒，銈之放射氣，祇四秒鐘不到而已。放射氣消失其能力之半的時間，名爲“半值時間或半值期”，無論在什麼狀況下均不變動，故頗有意義。由此，我們可知道放射氣乃是一種有暫時放射性的物體。由感應來的放射性亦如此，經一定的時間即消失，不過沒有一定的半值時間罷了。

自此種很可注意的現象發見之後，知道能有暫時放射性的物體的存在，於是刺氏又創出其“原子崩解論”，以爲放射性物體之原子，不是不變，但是能崩解的。照此說，放射性物體內自有一種力，能將原子之內部崩解而分開之。於是原子不可變不可分之說，終究搖動了。

自銈之原子由放射 α 微點而得一新物質即放射氣之原子，而自此則復由放射 α 微點以得所謂感應放射性之原子。其半值期所以不定之故，則因感應放射并非是簡單的物質，但是由此可得許多不同的物質。尋常，此項由放射氣依次生出的物質，稱之爲銈 A，銈 B，等等，以至於銈 F。其中每一物質之原子，乃是由其前者經放射 α 微點或 β 微點或二者而成。

照近來研究所得，銈之漸次生出此項物質，可用圖十四表之，這圖將放射之種類列出。這裏，銈 A，B，C₁ 之半值期殊小，祇有幾分鐘，故此項物質之消滅亦殊快，幾點鐘後已不能辨別了。但是銈 C₁ 則殊可注意，其原子有的經放射 α 微點而至

放射鈷(Radiothorium)之半值期爲1,905年

鈷 X 之半值期爲3,64日

鈷放射氣之半值期爲54,53點鐘

鈷 A 0,14秒

鈷 B 10,6點鐘

鈷 C₁ 60,8分

鈷 D₁ 3,1分

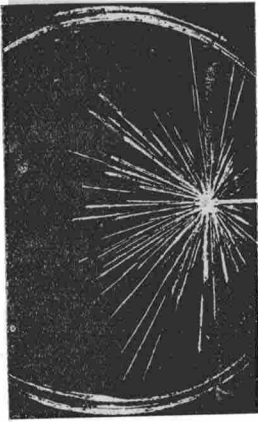
銍之變化次序比較的不重要。所可極注意者，乃是銍爲鈷之直接的產物之事實。經學者研究，知道鈷經過一中間物體鏹 (Ionium) 後即變成爲銍，并知鏹之半值期極大，約爲一百萬年，而銍之半值期則約爲二千年。

這許多物質，即鈷，銍，鈷，銍，及其產物，均放出 α 與 β 放射，他們的放射亦頗相同。例如這些物質所發的 β 放射均爲陰電子所成，惟其速度則各物不一致。而一切 α 放射，亦均爲帶有二陽電子的氦原子所成，其速度則各不同，以及在空氣中經過若干距離後纔消失亦各異。由此事實，已可知鈷，銍，鈷，銍，及其產物之原子中必含有氦原子與陰電子爲成分無疑。然這些物質之原子中究竟是否祇含有氦原子與陰電子，是否以外別無他項原子，則至今尙未能下斷語。

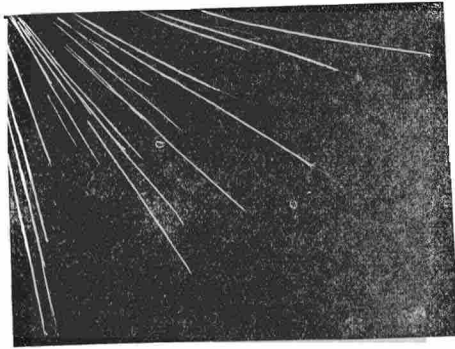
如前說過，放射性物體所發 α , β , γ 諸放射能使空氣游子化，即使其分子分爲陰游子與陽游子。此種現象，好久以來即爲物理學者所利用，以研究放射性現象。其尤關重要者，乃是

這些游子有此屬性，能爲“凝霧心核”。我們知道，一含有空氣的器具(封鎖的)內倘少盛以水，則其中發出水蒸氣雜在空氣內，而其多寡，則隨此器具之溫度而異。故器具內水蒸氣之量與器具之溫度及體積相當的。今如突然將器具之溫度減低，則因前述關係，器中水氣必須減少，而其一部分凝成霧點沈下。事實上，如將器中空氣澄濾過使無微塵點在內則凝霧較爲不易，須多降低溫度纔行；然如空氣中雜有微塵，則祇須溫度稍爲減低，即能凝結了。原因在微塵能爲霧點凝縮之心核。同樣，氣體之游子亦有此作用；凡空氣中有游子時，水氣亦較易凝縮爲霧點。

因氣體之游子有此屬性，於是物理學者威爾遜(Wilson)即利用之以作試驗，使 α 與 β 微點所經的軌道能直接看得見并可攝其影。其法使 α 微點射入含有水蒸氣的器具，即將其中空氣游子化了，而在其所經軌道上又作出許多游子。今若將溫度突然低下，則游子所在處立即現出一條白霧，是即 α 微點之軌道無疑，而在此霧條突然發光的時候，則并可攝得其影。圖十六與十七所示，即是威爾遜所攝 α 微點軌道之影，由銚所發出者。如此所攝得的影，與用他法所得的圖完全相似。每一 α 放射祇經一定的軌道，即突然消失，亦容易見出。經詳細觀察後，又可見此中有幾條 α 放射有一種屬性，頗爲重要。由十七圖，可見諸 α 放射中有幾條於末梢處突然彎曲，其直線折成一鈍角。此項現象，并非一切 α 放射均如此，僅其

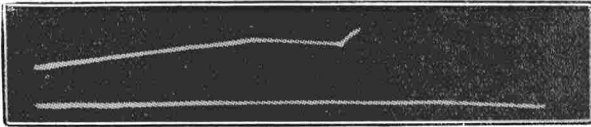


第十六圖



第十七圖

中數條而已。如圖十八所示，乃是十七圖中二 α 放射之放大形，其中一條無彎曲，一條有彎曲。原來 α 微點之能力極大，普通在空氣中與其微點相撞時，不會折其進行方向，然則前述



第十八圖

的折曲現象，原因何在？

一方面，我們還要觀察其他現象之與此有關者。當一 α 微點透過一極薄的金屬片時，他的軌道尋常總須稍改變方向，因而一小束 α 放射經金屬片時，可見其略有分散。這層理由不難推知，蓋 α 微點乃是帶有二陽電的氦原子，而金屬片之原子亦含有陽電與陰電，故當其透過此時，不免受些影響而稍改其方向，且或則傾此，或則傾彼不一。照計算所得，這樣

的傾折大約均不過 $\frac{1}{200}$ 度，乃是極小的。然有時卻發見很大的角度，竟有至九十度者，且其發見已極多，似非偶然的事實。於是不能不使人想到 α 微點有時能直接為金屬片之原子所反射。此項現象，不僅於金屬片為然，在氣體內亦見之，且有時屈折方向之角度亦異常大。因之，看來此項現象與前圖十七及十八中所示者實相同，於後者中當亦是 α 微點為原子直接反射所致。

對於此項現象之解釋，刺得福德以其原因在於所透過的物質之原子組織方面。其極大的改折方向之程度，與所透過的物質之原子量有關；凡原子量愈大，則其改折至異常大之程度亦因而強。由此可知此項現象之來源，因於 α 微點透過原子所致。如是，則每一原子內必有漏孔存在無疑，而原子決不是將其所占空間完全填滿的。

α 微點方面這許多現象，如經過一定軌道後即消失，能分散及改折其方向等，照刺氏意見，以為如果我們假定每一原子其構造由一極小的帶有陽電的心核及圍此心核而與之相距（其距離約與原子之半徑相等）的陰電子所成，則不難解釋了。詳言之，原子之構造，略與一太陽系相同；中心處是帶有陽電的心核，為一太陽，圍繞此心核者為陰電子（陰電子與心核之距離，約為原子之半徑），猶太陽四圍之行星，尋常陰電與陽電適相消，故原子是中和的。當 α 微點穿過原子內心核與陰電子間之空處時，一方面受心核之排斥，他方面受陰

電子之吸引,故不能不折其方向,然因 α 微點當穿過時與心核及陰電子相距頗遠,所以受影響亦極小。不過有時 α 微點亦能恰撞在陰電子或陽電的心核上;如是,倘撞在陰電子上時,即與之相結合,而原有的陽電,因之即消去一半,而成爲單陽電的氦原子了,此後如再與一陰電子撞一次,則所有的電全抵消而成爲沒有電的原子。此種與陰電子相撞的事實,遲早必遇到。 α 微點成爲中性無電時,其所有屬性即消失,故即突然不能放射了。

至 α 微點與心核相遇之事實,則極少,因心核是極小的。然當其與心核相遇時,則因二者所帶同爲陽電,故相排斥,因之 α 微點之軌道不能不大變其方向了。如是, α 微點之二種現象,經此假設全能說明了。

α 微點透過原子時,其受心核之影響,自與心核所帶電之多寡有關,故由此項影響上,可測算得心核所帶電之量。由計算,可知如將氫原子作爲單位時,則各種原子心核之電量,大約等於其原子量之半;例如氦之原子量爲4,故其心核電量爲二,炭之原子量爲12,即其心核電量爲6,等等。

此種結果殊爲可驚。蓋我們如將化學原子依其原子量排列之,則其所在位置恰等於其原子心核電量之數;今將前列數原質列之如下:

1 氫, 2 氦, 3 鋰, 4 鋅, 5 硼, 6 炭, 7 氧, 8 氮, 9 氟, 10 氬, 11 鈉, 等等。

如是,可知原質在週期系統中之位置及原質之原子量,

均由其原子心核之電量所決定。由此，并得一極可驚的研究方法，即是，原子之質量既由其心核之電量所決定，則此質量亦是假的，不是真的了。從此所得的結果，極為可驚：蓋我們向來所認為實在的物質之質量，不意乃是假的而非實在的。雖然，物質之質量，其作用固亦明明在，不能否認者，不過我們應該知道，質量須待電量而有，不能電量以外別有個獨立的質量在，就是了。

如用以前所得數目計算，則可知一氫原子之心核，其半徑為 $1,0 \times 10^{-16}$ 厘米，此即是小於陰電子之半徑約二千倍。我們倘仍如前將一原子設想作地球那樣大，則氫原子之心核，其大僅如兒童所玩的小球，半徑長六厘米而已，而陰電子則却是一半徑長二百幾十里的大球。

倘假定一切原子，即至於最重者，祇含有一心核，則其半徑亦不難推算而得；蓋原子所帶電量之數決定於其週期系統中之位置，而其質量則決定於其原子量。然如極重的原子，若銻，釷，鈾等者，至少須承認其含有氦心核，故於這些原子及其他大多數原子，祇得假定其含有這些心核，而他方面也許并含有氫心核。

既假定重的原子之心核乃是由數個心核所合成，則尚有一事須顧及；蓋心核之電均為陽電，同性的電相排斥，故數個心核決不能無條件相聚合。從可知若數個心核聚合為一，則其中必有陰電子在而後可。於是我們不能不假定放射性

物質及其他重的原子，其心核由簡單的陽心核及陰電子相結合而成。然心核中有一陰電子，則陽電量即減少其一，故陽心核必如其原質之原子數 (atomic number) 有多餘而後可。例如鈾之原子數為92，倘其原子由氫原子所成，則須有46氫心核，然既欲相聚合，則必須再有許多陰電子在，於是如有二陰電子，則氫心核須為47，有4陰電子，則氫心核須有483等等。一方面，又知鈾之原子量為238.2，氫之原子量為4，故至多祇能有59氫心核及26陰電子在鈾之心核中。然究竟所含者是多少，則自須仔細測定。

照此種新見解，可知原子必有一陽心核。氫原子之心核，帶有一陽電量，氫原子之心核，則有二陽電量。而繞此心核，則有陰電子在那裏運動，其軌道作圓或橢圓，惟此項環繞心核的陰電子，則并非心核之成分。假如一個氫的心核沒有此項陰電子，則照新見解，乃是一個陽的氫游子 H^+ ，此即是一心核；如有一陰電子，即謂之中性氫原子 H ；若有二陰電子，則說是陰的氫游子 H^- 。同樣，氫原子亦可分為帶有二陽電量者及有陰電子祇帶一陽電量，或中性，或陰氫原子等等。

如是，於極重的複合的原子方面，須將陰電子分為二種，其一在心核中者，名為“心核陰電子”，所以使心核與心核能結合，其二則在心核之外，繞之而運動。後者的陰電子如有變動，於原子無關，原質亦不受影響。蓋原質乃是由其原子心核之陽電所決定，故陰電子變動的時候不受若何影響，然如心

核陰電子變動，則原質即隨之而變。用此見解以觀放射性物質之變化，則可知於重的原子方面，即其心核中有陰電子者，有的觀念不能不改變，我們須知二個原子其化學上屬性相同者，其原子量儘可不同。惟此項見解，與向來之原子觀恰衝突；蓋向來我們用以分別原子者，祇是其原子量而已。

一種原質發出一 α 放射微點後，則其心核電量即減少二單位。反之，若放射出一 β 微點（一心核陰電子），則其陽心核反增加一單位電量。故一原質放射出一 α 微點後，若再放射二 β 微點，則仍與初時無異，惟其原子量，則原來的原質與放射去微點後不同了。後者之原子量小於前者四單位。此項原質，化學上屬性相同而原子量不同者，名為“同位質” (Isotope)，蓋因其在週期系統上之位置相同。此種事實，原來以前早即發見，惟其解釋，則直至這裏的原子之心核理論成立後始得到。

今再引一例於此。鈾(即鈾 I)之原子量為 238,2, 其心核電量為 92(見下章), 放射一 α 微點後, 其原子量即減少四, 心核電量減少二, 再放射 β 微點後, 原子量沒有變動, 而心核電量則增加一單位。如前已說過, 鈾之變化經鏷後即成為銻, 故即得下表:

變化次序.....	鈾 I $\rightarrow \alpha$	鈾 X ₁ $\beta \rightarrow$	鈾 X ₂ $\beta \rightarrow$	鈾 II $\alpha \rightarrow$	銻 $\alpha \rightarrow$
心核電量.....	92	90	91	92	90
原子量.....	238,2	234	234	234	230

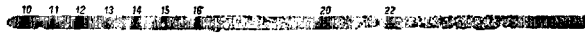
變化次序.....	銻 ^a →	銻流出物 ^a →	銻 A ^a →	銻 B ^a →
心核電量.....	88	86	84	82
原子量.....	226	222	218	214
變化次序.....	銻 C ₁ ^{a,β} →	銻 D ^a →	銻 E ^a →	銻 F ^a → (銻 G)→
心核電量.....	83	82	83	84
原子量.....	214	210	210	206

觀此可知銻 A 與銻 F, 銻 C₁ 與銻 E, 銻 B 銻 D 與未知的產物(銻 G), 均是同位質。至最後的產物(銻 G), 許久以來即料其當為鉛, 蓋鉛之心核量為 82, 而原子量則為 207.2。但銻 B 與銻 D 與銻 G 同位, 則此二者亦必為鉛, 或與鉛祇有原子量上之差別, 化學屬性全相同。於是即不能不承認有數種原子量不同的鉛存在, 即得自銻 D, 銻 G 等者。事實上, 此項結果經罕尼斯密特(Hönigschmidt) 用嚴格的試驗證實了。又若把其他放射性物質之變化次序一併研究, 則知銻 B, 銻 D 等以外尚有釷 B 及釷 B 亦與鉛同位。不過關於此方面之研究, 尚未能完全, 蓋因放射性物之變化次序, 多有未能明確觀察者。

然他方面除放射性物質外, 尋常原質中自亦能有同位質, 此項原質化學上全同性, 惟原子量不同。設如有二種此項原質, 則我們於化學上全無法將其分開, 而由此二原質所合成的物質, 其原子量當在二原質之間。因此, 原子量往往有不能為整數者, 其原因或即在此。

二同位質之化學屬性既全同, 故欲化學的將其分開, 自不可能; 惟其原子量不同, 則亦可利用之以物理的方法分開

之。事實上，至少於氣體的同位質，可藉物理上之方法以識別之。我們在含有此項氣體的試具內作孔道射，則其比電量自與同位質有關，於是可用孔道射分析術（見前章 26 頁）以識別之，蓋不同的物質之孔道射，其折向必不同。此種方法，於決定此問題上，至為有效。阿司吞 (Aston) 用質量測驗器（見前章 25 頁）曾測定有許多看似單純的物質，實則由數同位質所合成。他最初測得者是氦，其原子量為 20.2，實則此原質乃由兩個合成的，其一之原子量為 20，其他則為 22。如圖十九所示，乃



第十九圖

是阿氏之一孔道射的攝影，由前十二圖之氯化炭中再加以百分之二十氦而得。此二者中一較弱一較強，此則成分有多寡之所致。用此方法，阿氏并測得氦原質亦由二同位質合成，其一之原子量為 35，其他則為 37，而其二成分之組合亦多寡不同。他如氟，磷，砒，則沒有同位質；而硫之有無同位質，則尚在疑似之間。此外，尚測得許多原質有同位質者，今將其原子量列表於下，以為第一章中所附表之修正：

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
He 4.0	Li 6.7	Be 9	B 10.11	C 12	N 14	O 16	F 19	
Ne 20.22	Na 23	Mg 24.25.26		Si 28.29.30	P 31	S 32	Cl 35.37	
A 40.36	K 39.41	Ca 40.44	Se 45	Ti 48	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56(54) Co 59 Ni 58.60
	Cu 63.65	Zn 64.66. 68.70	Ga 69.71	Ge 70.72.74	As 75	Se 80.78.76 82.77.74	Br 79.81	
Kr 84.86.82 83.80.73	Rb 85.87	Sr 88	Y 89					
	Ag 107.109			Sn 116.117. 118.119. 120.122. 124	Sb 121.123		J 127	
X 129.131. 132.134. 135.124. 126.128. 130	Cs 133							
		Hg 199.202. 204		Pb 206.210. 214				

(按表中各格所示,上爲原質之符號,下列數目爲其原子量。如原質爲數同位質所合成,則各將其原子量之數目列出。例如氦爲二同位質所成,其一之原子量爲20,其他爲22,故Ne下列二數目;餘類推。)

以前所不明白的道理,原子量每有不是整數者,現在不難解決了。

第四章

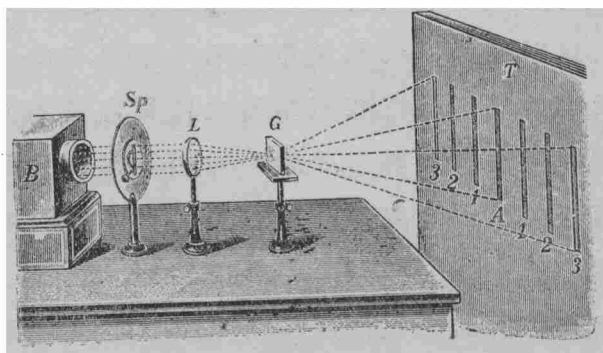
變琴線與心核理論

原子心核之理論已略如前述，而其有力的證據，則實得自近年來變琴線（即 X 線）之研究。原來變琴線自發見以來即有人研究其性質，惟總沒有多大進步。向來所知道的，變琴線有多種，強弱各不同。強弱之分，則在其透過物體時被吸收之多少以爲別。惟每一試器所作出的變琴線，多由強弱不同者數種所成，故頗不整齊。此項輻射之性質，究竟若何，是物質所成，抑係一種波動如尋常光線一般，頗不易決定。雖然看來後者較爲近似，惟變琴線與尋常光線之間不同點尙多，未能無有疑慮。

原來尋常的光是由波動所成，其在空間中進行的速度，爲一秒鐘 300,000 杆。光波很短，各種不同的顏色又各不同。紅色光波，其長約爲一耗之百萬分之 760，紫色的則約爲一耗之百萬分之 380。或用翁斯特棱單位制（Ångström-Einheit，簡作 A. E.），以千萬分之一耗爲單位表出之，則得紅光之波長爲 7600 A. E.，紫光爲 3800 A. E.。

光爲波動所成，初看來似不合；蓋光由光源發出，其進行的輻射，完全是直線的，不能循阻礙物，此與別的波動頗有不同處。例如水之波動或空氣之波動，遇障礙物時，仍能出其後

繼續進行，惟光即不然，遇到不透明物體時，即全被阻礙。但事實上，殊不是如此，光亦能循障物之邊角以進，其直線的方向多少亦受折，不過因光波極短，故不容易察得，非藉精密試驗，難以證實而已。光學上應用所謂“折射格”，以試驗之。最簡單的方法，是用極精緻的機器於玻片上作極細的條紋。倘能每耗有一百或二百條時，則已可見透過光時其軌道受折了。又如圖二十所示，乃是一極普通的試驗方法，以顯明折射現象



第 二 十 圖

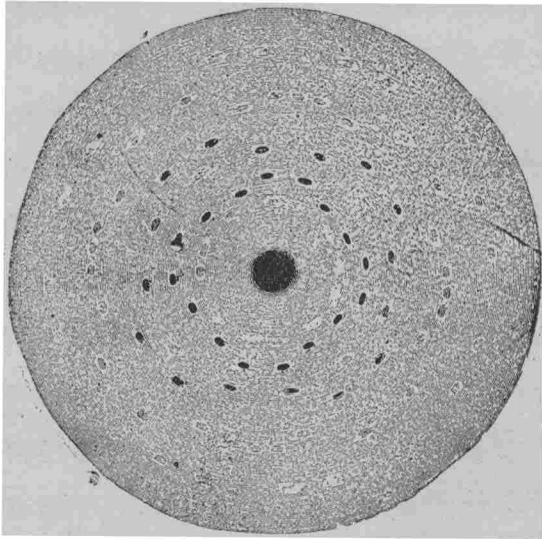
者。B 爲一光源，由此所發的光（用一紅玻璃使其祇有一色）通過一極狹的隙 Sp ，中間置一鏡 L 使透過這裏的光落於後面 T 上成一明的紅條 A 。今於 L 與 T 之間置一折射格 G ，則可見 T 上除了 A 以外，尚現出側旁的 $1, 2, 3$ 數帶。由此可證明光透過 G 以後不僅直線進行，兼亦向左右折其方向了。 T 上不能全見有光而祇有 $1, 2, 3$ 數條者，因透過 G 時受影響，許多光波均相干涉而抵消，祇存 $1, 2, 3$ 處則相加強而顯明了。此項在

兩旁的光帶，隨光波之長而異，光波愈長時，其相距亦愈遠。故若不用紅光而用各色合成的白光，即能够將其各色分開。試用日光或燈光驗之，則各帶處所得爲光系。

折射現象實爲證明光之波動性質之有力證據，蓋任何波動有二特點：其一，於某種狀況下其波能相消；其二，遇障物時能循之折其方向；此二種現象今均於此證明了。

今如欲證明樂琴線亦爲波動所成，則亦須指出其折射現象而後可。曾經有人用極精細的折射格，每耗內所作條至一千七百之多，結果尙不能察得其方向有任何變動。惟此種結果，不得謂是樂琴線非由波動所成之證，或者原於此項光波異常短小所致。故若欲於樂琴線方面觀察此現象，則所用的折射格亦務必極小纔行。假如樂琴線之波短於光中紫波千倍，則以前所用的折射格實已太大了。但欲製一極精的折射格，如每耗可有一百萬條者又無方法；因之，此問題頗不易解決。

直至近年，始有物理學者勞 (v. Laue) 氏想出一種極妙的方法。他不再如前之設法用人功去製造此項非常細的格子，他直接利用天然的東西去代替。原來結晶體的原子，其構造排列有作方塊格形的，原子與原子間所有間隙約 8×10^{-8} 厘米，即是 8 A. E.，其大小恰是所需要者。勞氏此種理想，完全成功，試驗之結果確將樂琴線之折射現象證實。如圖二十一所示，即是將樂琴線通過一閃鋅礦結晶體時，所得折射現象

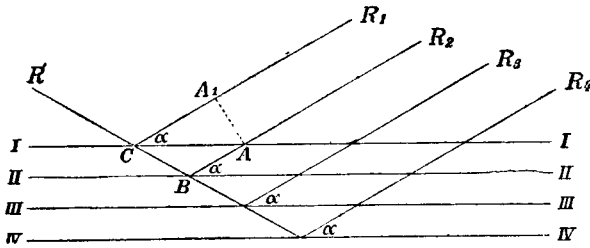


第二十一圖

之攝影。中間之大黑斑，乃是所通過的光線直接所成，此外圍於其四旁之較小的黑斑，則由折射所成。此項斑點之分配，與所用的結晶體之構造有關，其相稱性與結晶體之面相同。原來閃鋅礦結晶體於光線所進行的方向有所謂“四數”軸，即是，我們如執此軸而旋之，則每轉九十度後與原來位置等值，故一轉間可得四等值位置。此項屬性於圖中明白可見，故觀於此圖并可知道結晶體之構造。於是因研究樂琴線之波動性質，無意中發見一種極重要的方法，供結晶學研究結晶體構造之用。他方面，由此圖上亦可推算得所用的樂琴線之波長。圖中各斑，由各種不同的波長所成，經計算後，知所用樂琴線中大小不同的波長，自 $0,3$ 至 $1,5 \text{ \AA}$ 。如是樂琴線之波長，

較之現在所能測量的白光中紫色部分還要小 600 至 1000 倍。

此種干涉現象，物理學者布刺格(Bragg)氏曾用一極簡單的方法解釋之。原來結晶體由許多載有原子的平面相交而成，其中一列平行平面，其載原子之方式與他列各不同。圖二十二中 I, II, III, IV 乃是結晶體之一列平行平面， R_1, R_2, R_3, R_4 爲一束平行樂琴線，其波長爲 λ ，以 α 角投於此列平面



第二十二圖

上。其由此項投落點發出的光線，普通均因干涉而互相抵消，惟如所投光線之波長與 α 角有一定關係時，始不會抵消而且互相加強，而其一束以 R 方向由結晶平面出發，若 R_1 至 R_4 光束直接由 I 至 IV 平面所反射的那樣。不抵消而加強之條件，須是二相繼的光線，如 R_1 與 R_2 ，其軌道之差乃是整的波長。例如 R_1 與 R_2 軌道之差爲 $AB + BC - A_1C$ ，此數必等於波長而後可。由此，倘以 α 角投入之光束，其中不均一，不止一種波長，則 R 方向祇能有一光線其波長恰爲 λ 者射出。若光束中無有如此波長的光線，則在此 α 角下，此列平面對於所投入

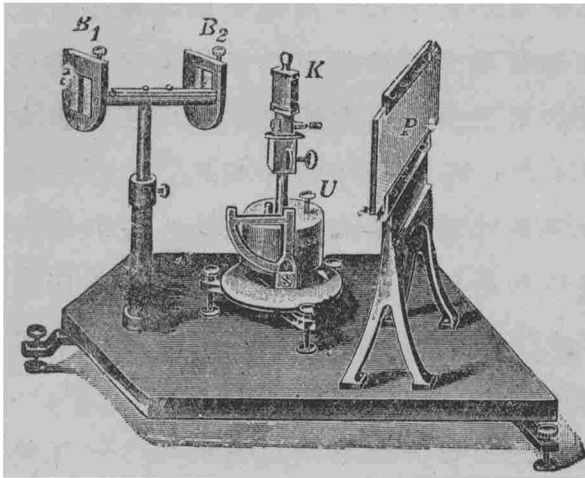
的光束全無反射。此卽是結晶體於某種 α 角下能於所投入的光束中，祇選其中一定波長的光線反射出來。

觀於此圖解，可知若所投入的光非爲平行束，而其中波長亦各不同，則結晶體自能將其向各不同的方向反射出來。如是，結晶體能將所投入的光束分散成爲光系，每一方向之光線屬於一定波長者。此與尋常白光通過三稜鏡時將其所含波長不同的各種顏色分散而成爲光系同樣。

如是，我們得到一種“欒琴分光術”了，此術不僅能將波長不同的光線分開，并能測定其波長。我們祇要先於結晶學方面測得結晶體平行平面之距離，卽能計算其投入的角度，於是推知其波長。

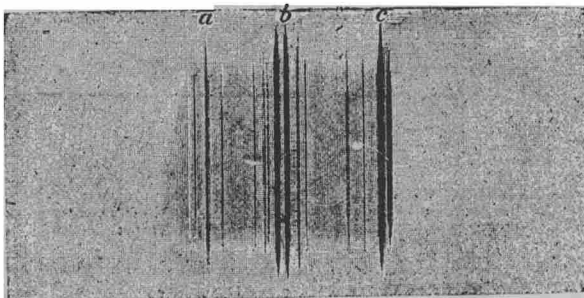
用此方法，曾經測得任何一次試具內所發的欒琴線，其中所含各光線之波長總不一致；并能設法得一光系，將各種可能的波長盡包在內。此外，光系中并可見有各個極強的光線，顯係得自一定的波長者。經研究後，知道此項一定波長所成的較強的光線，與試具內所裝置的對陰極（卽陰極射觸於其上而發生欒琴線的金屬片）之性質有關，故卽名爲該金屬之特殊線，而於我們的研究上頗有重要關係。

作上項測驗時，最好不要將結晶體靜止着不動，俾反射面上之不規則性不致發生影響。如圖二十三所示，乃是一種試驗方法。 B_1 與 B_2 爲二屏，由鉛所成，其上之長條的空氣能放大或縮小，欒琴線卽由此以達結晶體 K 。此 K 之下裝有一



第二十三圖

機件U,使K徐徐旋轉。由K反射出的光系落於P處所裝置的照相片上。圖二十四所示,即是用此法所攝得的一光系之照片,於此所用對陰極乃是白金所成,故此片上之數條極強的線,實即為白金的特殊線。



第二十四圖

此項特殊線之波長,隨試器內所裝置之對陰極為何種

金屬而異；試驗的結果，知道所用金屬之原子量愈大，則其波長愈短，而在諸較為輕的原質，自鈉以至於鋁，其線之構造均相同，普通即名之為K線或K光系，其中所含線有五，即稱為 K_{α_1} , K_{α_2} , K_{β_1} , K_{β_2} , K_{γ} 。而此五線中以 K_{α_1} , K_{α_2} 二者為最強，位置亦相接。 β 線亦為二緊相接的線，而在有的原質方面，則 γ 線亦為雙線。如陰極為銅與鋅之化合物青銅所成，則其線可并現於片上。又如對陰極上祇塗以金屬鹽，例如氫化鉀，即亦現出氫與鉀之線。

在較重的原質方面，自銅以上，則可見除了前述的線以外，還有諸線可看見，與前者相分開，而其波極長。此項線名為L線，或L光系，共有十至十四條，其中最強者稱為 L_{α_1} 線。L光系方面其波長亦隨原子量而減少；自鋁至鈾之極重的原質方面，至今祇發見L光系，K光系尚未見。而自銩至鈾之最重的原質方面，又發見有更長的光系，名為M光系者，共含有三至五條線，有的是雙線。此外，則銻，鈦，鈾三者尚有更長波的光系，N光系。

茲將有數種原質之 K_{α_1} 線之波長列表於下，并將其原子數及原子量亦一併列出：

原子數	原質	原子量	波長(以 A. E. 計)
11	鈉	23,	11,8836
15	磷	31,04	6,1417
20	鈣	40,07	3,3517

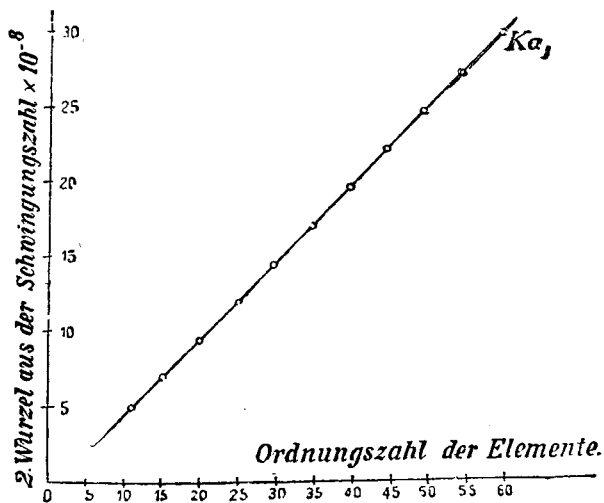
25	錳	54,98	2,0973
30	鋅	65,37	1,4329
35	溴	79,92	1,0377
40	銻	90,6	,7841
45	鎳	102,9	,6120
50	錫	118,7	,4894
55	鏷	132,81	,398
60	鋨	144,8	,330

倘不用波長而用振動數列表，則更為明白。如前表所示，原子量增加時 K_{α_1} 線之波長即減小，此即是其振動數增加。由觀察所得，看來振動數之平方根差不多與原子量一同增加。惟經物理學者摩茲力 (Moseley) 之研究，知道簡單的關係不在振動數與原子量之間，而在振動數(其平方根)與原質之原子數之間。今再將前面所述諸原質 K_{α_1} 線之振動數列表於下：

原 子 數	原 質	原 子 量	K_{α_1} 之 振 動 數	振 動 數 之 平 方 根
11	鈉	23,	$0,2524 \times 10^{18}$	$5,024 \times 10^8$
15	磷	31,04	$0,4885 \times 10^{18}$	$6,989 \times 10^8$
20	鈣	40,07	$0,8971 \times 10^{18}$	$9,472 \times 10^8$
25	錳	54,98	$1,4304 \times 10^{18}$	$11,961 \times 10^8$
30	鋅	65,37	$2,0950 \times 10^{18}$	$14,474 \times 10^8$
35	溴	79,92	$2,8910 \times 10^{18}$	$17,003 \times 10^8$
40	銻	90,6	$3,8261 \times 10^{18}$	$19,560 \times 10^8$
45	鎳	102,9	$4,9120 \times 10^{18}$	$22,140 \times 10^8$

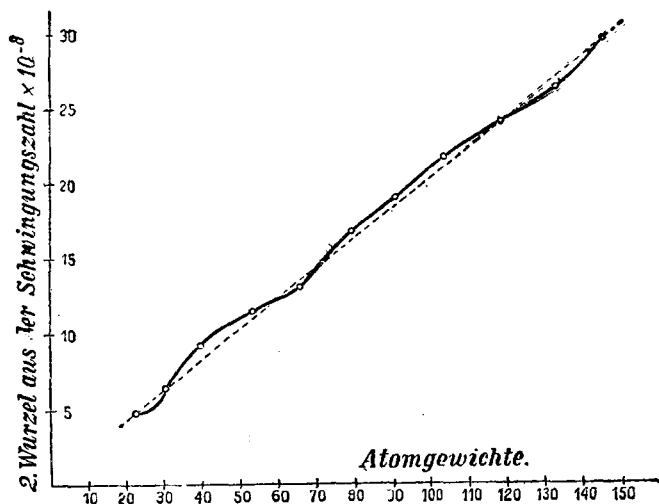
50	錫	118,7	$6,1800 \times 10^{18}$	$24,759 \times 10^8$
55	錳	132,81	$7,537 \times 10^{18}$	$27,450 \times 10^8$
63	銻	144,3	$9,090 \times 10^{18}$	$30,150 \times 10^8$

振動數與原子數間之簡單關係,可用圖二十五表之;於



第二十五圖

此,橫軸爲原子數,縱軸則爲振動數之平方根,可見所得諸點恰恰在一直線上。此卽是:振動數之平方根與原質之原子數間有線的關係在。圖二十六所表,則爲振動數之平方根與原子量之關係,此中橫軸爲原子量,縱軸則爲振動數之平方根;於此可見其關係不如前圖之簡單了。因之,我們得此結論:變琴線振動數之平方根,簡單的直接與原質之原子數有關,而不與其原子量有關。



第二十六圖

事實上,此項定律不僅適用於K線,且較弱的L線亦是如此。今將幾種原質之 L_{α_1} 線之波長等一併列下:

原子數	原質	原子量	L_{α_1} 波長	振動數	其平方根
30	鋅	65,37	$12,222 \times 10^{-8}$	$0,2454 \times 10^{18}$	$4,954 \times 10^8$
35	溴	79,92	$8,357 \times 10^{-8}$	$,3590 \times 10^{18}$	$5,991 \times 10^8$
40	鎳	90,6	$6,056 \times 10^{-8}$	$,4954 \times 10^{18}$	$7,038 \times 10^8$
45	鈹	102,9	$4,588 \times 10^{-8}$	$,6539 \times 10^{18}$	$8,086 \times 10^8$
50	錫	118,7	$3,592 \times 10^{-8}$	$,8352 \times 10^{18}$	$9,139 \times 10^8$
55	鎳	132,81	$2,886 \times 10^{-8}$	$1,039 \times 10^{18}$	$10,20 \times 10^8$
60	銻	144,3	$2,365 \times 10^{-8}$	$1,269 \times 10^{18}$	$11,26 \times 10^8$
74	鎢	184,	$1,473 \times 10^{-8}$	$2,040 \times 10^{18}$	$14,28 \times 10^8$
80	汞	200,6	$1,238 \times 10^{-8}$	$2,423 \times 10^{18}$	$15,57 \times 10^8$

82	鉛	207,2	$1,172 \times 10^{-8}$	$2,554 \times 10^{18}$	$15,98 \times 10^8$
88	銻	226,0	$1,010 \times 10^{-8}$	$2,970 \times 10^{18}$	$17,23 \times 10^8$
90	釷	232,15	$0,953 \times 10^{-8}$	$3,148 \times 10^{18}$	$17,74 \times 10^8$
92	鈾	238,2	$0,908 \times 10^{-8}$	$3,304 \times 10^{18}$	$18,18 \times 10^8$

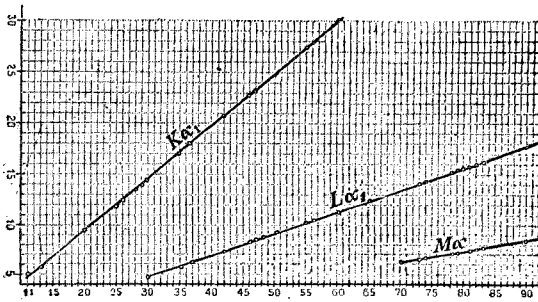
又,更弱的 M 線方面,亦適用此定律。今將數種原質之 M_{α} 線亦仿前列表於下:

原子數	原質	原子量	M_{α} 波長	振動數	其平方根
66	銻	162,5	$9,599 \times 10^{-8}$	$,3155 \times 10^{18}$	$5,617 \times 10^8$
70	鐳	173,8	$8,125 \times 10^{-8}$	$,3692 \times 10^{18}$	$6,076 \times 10^8$
74	鎢	184,	$6,973 \times 10^{-8}$	$,4302 \times 10^{18}$	$6,559 \times 10^8$
79	金	197,2	$5,831 \times 10^{-8}$	$,5145 \times 10^{18}$	$7,173 \times 10^8$
82	鉛	207,1	$5,273 \times 10^{-8}$	$,5389 \times 10^{18}$	$7,543 \times 10^8$
90	釷	232,4	$4,129 \times 10^{-8}$	$,7266 \times 10^{18}$	$8,525 \times 10^8$
92	鈾	238,5	$3,901 \times 10^{-8}$	$,7690 \times 10^{18}$	$8,769 \times 10^8$

摩氏所發見的這項定律,尋常即名之爲“高次光系上之摩氏定律”;而此中“高次”二字,則因樂琴光系之振動次數極多,故名。用數學上之術語,此定律可如是說法:“振動數之平方根乃是原質之原子數之線的函數。”倘以 ν 表振動數, N 爲原質之原子數, a 與 c 爲二常數,則得一簡單公式如下:

$$\sqrt{\nu} = c(N - a) \quad (c \text{ 及 } a \text{ 二常數於 } K, L, M \text{ 線各不同}).$$

倘如前用圖表 K, L, M 三線,則即得圖二十七,於中 K_{α_1} 之直線已見前圖,其旁則爲表 L_{α_1} 與 M_{α} 之直線(圖中仍以橫



第二十七圖

軸表原質之原子數,縱軸表振動數之平方根)。

此項事實,實為刺得福德氏原子心核理論之有力證據,由此可知樂琴線之振動數與原質之原子數,即是與其心核有關係,振動數與心核電量一同增加,但於此振動數方面,不如化學屬性方面那樣有週期性,從此可推知化學屬性方面之週期性與心核電量無關,祇與其外面的電子之排列有關。

他方面,我們於此得了一種極可靠的方法,藉此可定週期系統中原質之次序,又可確定其中所有遺漏未發見的原質,以前週期表中所有極大的遺漏,在 Ce 至 Ta 中間者,能藉此填滿了。

關於原質之次序,以前曾經說過有的處所不能照原子量排列,例如鐵,鈷,鎳照其化學屬性列之,當是如此,但其原子量則為 55,84; 58, 97; 58, 68,若照原子量排列,則鎳當在鈷之前了。經測量其 $K\alpha_1$ 之波長,則知鐵之振動數平方根為 $12,46 \times 10^5$; 鈷為 12,96; 鎳為 13,46,故確知鎳之心核電量較鈷者多

一。如是，可知原質之次序不能照其原子量列之。其他處所亦有此項次序顛倒之事實，經測量 K_{α} 之振動數得糾正其前此之不合。

以前雖知在 Ce 與 Ta 之間有遺漏，但不能斷定所缺者是幾種。經測量 L 光系後，知道其中當有十四種，蓋 Ce 之原子

	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
I H	2 He	3 Li*	4 Be	5 B*	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne*	11 Na	12 Mg*	13 Al	14 Si*	15 P	16 S	17 Cl*	18 Ar*	19 K*	20 Ca*	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe*	27 Co	28 Ni*	29 Cu*	30 Zn*	31 Ga*	32 Ge*	33 As*	34 Se*	35 Br*	36 Kr*	37 Rb*	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43	44 Ru	45 Rh	46 Pd																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	1.008	4.00	6.94	11.0	12.00	14.01	16.00	19.0	20.2	23.0	24.32	27.1	28.3	31.04	32.06	35.46	39.10	40.07	48.01	45.1	63.55	65.37	69.9	72.5	74.96	79.92	85.84	87.62	91.22	92.91	98.91	101.07	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.75	127.3	132.92	137.37	138.91	140.91	144.3	146.9	150.4	152.0	157.3	158.91	162.57	164.93	167.27	170.24	173.04	175.07	178.49	180.95	183.85	186.90	188.91	191.22	193.08	195.08	197.04	198.91	200.94	203.07	205.07	207.03	208.98	210.99	212.91	214.90	216.99	218.90	220.91	222.91	224.91	226.97	228.91	230.91	232.91	234.91	236.91	238.91	240.91	242.91	244.91	246.91	248.91	250.91	252.91	254.91	256.91	258.91	260.91	262.91	264.91	266.91	268.91	270.91	272.91	274.91	276.91	278.91	280.91	282.91	284.91	286.91	288.91	290.91	292.91	294.91	296.91	298.91	300.91	302.91	304.91	306.91	308.91	310.91	312.91	314.91	316.91	318.91	320.91	322.91	324.91	326.91	328.91	330.91	332.91	334.91	336.91	338.91	340.91	342.91	344.91	346.91	348.91	350.91	352.91	354.91	356.91	358.91	360.91	362.91	364.91	366.91	368.91	370.91	372.91	374.91	376.91	378.91	380.91	382.91	384.91	386.91	388.91	390.91	392.91	394.91	396.91	398.91	400.91	402.91	404.91	406.91	408.91	410.91	412.91	414.91	416.91	418.91	420.91	422.91	424.91	426.91	428.91	430.91	432.91	434.91	436.91	438.91	440.91	442.91	444.91	446.91	448.91	450.91	452.91	454.91	456.91	458.91	460.91	462.91	464.91	466.91	468.91	470.91	472.91	474.91	476.91	478.91	480.91	482.91	484.91	486.91	488.91	490.91	492.91	494.91	496.91	498.91	500.91	502.91	504.91	506.91	508.91	510.91	512.91	514.91	516.91	518.91	520.91	522.91	524.91	526.91	528.91	530.91	532.91	534.91	536.91	538.91	540.91	542.91	544.91	546.91	548.91	550.91	552.91	554.91	556.91	558.91	560.91	562.91	564.91	566.91	568.91	570.91	572.91	574.91	576.91	578.91	580.91	582.91	584.91	586.91	588.91	590.91	592.91	594.91	596.91	598.91	600.91	602.91	604.91	606.91	608.91	610.91	612.91	614.91	616.91	618.91	620.91	622.91	624.91	626.91	628.91	630.91	632.91	634.91	636.91	638.91	640.91	642.91	644.91	646.91	648.91	650.91	652.91	654.91	656.91	658.91	660.91	662.91	664.91	666.91	668.91	670.91	672.91	674.91	676.91	678.91	680.91	682.91	684.91	686.91	688.91	690.91	692.91	694.91	696.91	698.91	700.91	702.91	704.91	706.91	708.91	710.91	712.91	714.91	716.91	718.91	720.91	722.91	724.91	726.91	728.91	730.91	732.91	734.91	736.91	738.91	740.91	742.91	744.91	746.91	748.91	750.91	752.91	754.91	756.91	758.91	760.91	762.91	764.91	766.91	768.91	770.91	772.91	774.91	776.91	778.91	780.91	782.91	784.91	786.91	788.91	790.91	792.91	794.91	796.91	798.91	800.91	802.91	804.91	806.91	808.91	810.91	812.91	814.91	816.91	818.91	820.91	822.91	824.91	826.91	828.91	830.91	832.91	834.91	836.91	838.91	840.91	842.91	844.91	846.91	848.91	850.91	852.91	854.91	856.91	858.91	860.91	862.91	864.91	866.91	868.91	870.91	872.91	874.91	876.91	878.91	880.91	882.91	884.91	886.91	888.91	890.91	892.91	894.91	896.91	898.91	900.91	902.91	904.91	906.91	908.91	910.91	912.91	914.91	916.91	918.91	920.91	922.91	924.91	926.91	928.91	930.91	932.91	934.91	936.91	938.91	940.91	942.91	944.91	946.91	948.91	950.91	952.91	954.91	956.91	958.91	960.91	962.91	964.91	966.91	968.91	970.91	972.91	974.91	976.91	978.91	980.91	982.91	984.91	986.91	988.91	990.91	992.91	994.91	996.91	998.91	1000.91

爲58, Ta之原子數則爲73,此中鏷,銨等八種早已發見,鎢,鉭等四種後來亦發見,一時尚未發見者爲原子數61與72之二種。原質第72於1923年亦發見了,並且其屬性曾經物理學者波耳(Bohr)預先說出,因其預言求之而得者。爲表示不忘波耳之功,卽以其家鄉之名名此原質爲鎳(Hafnium),簡作Hf。

由此乃確定自氫至鈾,共有92種原質,惟同位質未計,蓋其心核電量相同,在週期表中自無別。但將這些原質排列時,諸希有土族原質頗有些不能合式處,故週期系統之九縱列中0與VIII爲簡單者,其餘均須再分爲二。今特再將各原質列爲一表;於此除61處原質尙未發見外,還有43, 75, 85, 87諸處亦均未發見。至表中附有星點★之原質,則已經觀察得其同位質。原子之心核理論既經此項事實給以有力的證明,於是乃可再深入的將此理論研究。如前所說,一原子當其心核電量之數與其外面電子之數適相同時,則此原子成爲中性無電者。如是,一中性的氫原子當有一陰電子,一中性的氦原子當有二陰電子,乃至鈾原子當有92陰電子等等。但一原子亦可有較多或較少陰電子;如較少則此原子卽成爲一陽游子,較多則成爲陰游子。而他方面我們自原子價的事實上,卽原子有一價,二價,三價等等者,可推知此項在外面的陰電子,其情形亦有不同,普通在尋常的狀況下,大多數均與心核緊相關,惟其中有的陰電子(在一價的原子有一個,二價的有二個,等等),則較活動,稍易與心核分開或稍易加入。蓋原子之

結合成爲分子,以此項原子價的電子。例如一銅游子爲陽的二價者,故可假定其所有陰電子不如在中性時候之29個,而祇有27個,且所缺少的兩個電子,即決其價爲二。反之,如陰的二價的氯游子,則於尋常中性時所有8電子外,尚有二陰電子。不過關於此項環於心核外之電子,其安排究是如何,則由這些事實上尙不能得到若何結論。

至於原子之心核陽電,則頗有可研究處。氫原子之心核陽電,其體積極小,半徑長約 10^{-16} 厘米,含有一陽電量。照刺得福德之意,則以爲此氫原子之心核實即是陽電子本身;因之,他提議即名之爲陽原 (Proton)。如是,一切原質之原子,其心核均是由此項氫核及陰電子所合成。事實上,此項見解實無異於第一章中所提及過的普牢特之假設。自同位質的事實發見後,原子量與整數相差之問題亦解決了。不過極小的與整數相差,實際上亦不能免,而自今日之眼光觀之,氫核與陰電子之質量既均爲假的,則由此所得的原子量欲求其精確合於整數,亦無甚意義了。如環心核的陰電子不是靜的而是動的,其運動之速度又極大,則其質量亦隨之而大,於是與整數之相差亦能因之而更大了。又,氫核之質量既是假的,故其旁有無陰電量或陽電,其質量即能因之增減。一氫原子當其爲原子數較高的心核之部分時,其旁有陰電子與氫核在,其質量即不如獨立時的氫原子那樣大。因之,原子量往往有不能無相差時,其理亦不難明了。

但在他方面,氫核即是陽電子之假設,并且以爲陽電子祇有一種,都是我們隨意假定的,初未有若何根據。照此,則如氦心核,其原子量爲4,并有二陽電量,應由四氫核及二陰電子所成。而其半徑於是非爲 10^{-16} 而是 10^{-13} 。除氫原質外,凡心核之體積至少須與陰電子一樣大。事實上,氫核含於其他心核中,而氦心核之大小與前說者相同,曾經證明,此當於後論之。

第五章

線光系與波氏原子觀

物理學上所有一種最敏銳的方法，用之可辨別化學原質并發見許多新原質者，乃是“分光術”。其法使光通過三稜鏡而觀其光系，則可見固體物所發光之光系，自紅色以至紫色全備，而氣體物者則不如是，祇有數條有色線，即所謂“線光系”。

因此項色線於各種化學原質各殊，故觀於此即可推知所用氣體中含有什麼原質。尋常為求精確，故每不用三稜鏡而用前章內所說過的折射格，以得其折射光系，於是設法推算其有色線之波長。

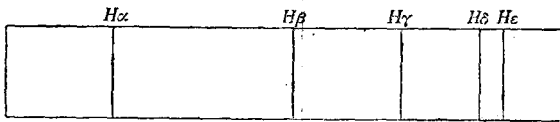
此項有色線之波長，都是極小的；以下提及之時，均用前章中所用過的 A. E. 單位制表之。

尋常氣體所發之線光系中，總有數條線特為明顯，因而即視為該原質之線。惟經精密研究，則知此外尚有許多較弱的線，并且有些線以前看作是單純線者，實為數條線合成的。此項光系之外觀，與發此光的氣體之熱度以及如何使之發光的方法均有關係。

我們知道，一光系除可見的部分（自波長 7600 A. E. 之紅色至波長 3800 A. E. 之紫色線）外，其兩旁還有線，我們的肉眼

固不能見,但在物理上則仍可供研究。在紅色線以外者名爲紅外波,曾經設法測得其波長有至三分之一耗者(即三百萬 A. E.);而在紫色線以外,則有紫外波,用方法測量,可知其波長有至 1000 A. E. 者。

如圖二十八所示,乃是氫原質之主要線光系,於此普通

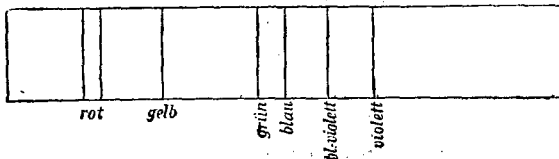


第二十八圖

有四線,然若將氣體相當稀薄時,可見有五線,即名之爲 H_{α} , H_{β} , H_{γ} , H_{δ} , H_{ϵ} ,而其波長如下表:

線	色	波長(以 A. E. 計)
H_{α}	紅	6563
H_{β}	藍	4861
H_{γ}	深青	4341
H_{δ}	紫	4102
H_{ϵ}	紫	3970

又如二十九圖則爲氦之主要線光系,於中有七條明顯



第二十九圖

的線,其色與波長亦列表如下:

色	波長(以 A. E. 計)
紅	7065
紅	6678
黃	5876
藍	5016
青	4923
紫	4713
紫	4471

如是可見各種不同的原質,其線光系中線之多寡亦不同。比較上其光系極簡單者乃是週期表中第一縱列中 a 類原質,至此列中 b 類原質已較前者為複雜,惟在原質中尚是極簡單者。其他原質普通均是異常複雜。

各原質之光系既各不同,則此項光系自必與原質之原子有關;而光系中各線之振動數既有定,則可知原子內必有一定之週期運動。因之,自光系之現象上,不難推知原子之構造并不簡單,乃是由數部分所合成,而此項部分則能作種種週期的運動。

在聲浪的現象方面,我們知物體都能作種種不同的振動;前述原子之各部分能作種種不同運動,或者與此相類。然稍經研究,即知原子內部的運動,決不能與聲浪方面之現象相比。例如一氣管或一絃線所發之音,其振動數總不止一種,乃是由多種所合成,故此項音并非是單純的音,而是數音合

成的複音。倘將此項複音解析，則知其中有一種音其振動數為最小者，普通名為基本音，因在此複音中最強。而其他音之振動數，則總是此基本音振動數之整倍數。如是，倘線光系方面現象亦是如此，則各線之振動數亦必如前者那樣，其相差有定。然事實上並不如此，故知線光系現象決不能與聲浪相比。

線光系方面，其線之排列上之規律性，最初於氫原質方面發見。發見此者為物理學者巴爾麥 (Balmer) 氏，其所用方法乃完全特經驗求得的。

如以前表中所示， H_α 至 H_ϵ 各線之波長不一，經計算後，可另用一法表出之如下：

線	波長
H_α	$6563 = 3646,13 \times \frac{9}{9-4}$
H_β	$4861 = 3646,13 \times \frac{16}{16-4}$
H_γ	$4341 = 3646,13 \times \frac{25}{25-4}$
H_δ	$4102 = 3646,13 \times \frac{36}{36-4}$
H_ϵ	$3970 = 3646,13 \times \frac{49}{49-4}$

於此可見各線之波長均是以 3646,13 乘一其他數目，而此數目之構造亦有一定格式，其分子與分母均是平方，分母為二平方數之差。為明白計，將各線之數列下：

$$\frac{3^2}{3^2-2^2}, \frac{4^2}{4^2-2^2}, \frac{5^2}{5^2-2^2}, \frac{6^2}{6^2-2^2}, \frac{7^2}{7^2-2^2}.$$

此項規律性，不僅於可見的 H_a 至 H_e 五線上證實，并知其於紫外波方面亦可用。於是我們可以公式表出此規律性：

$$\lambda = 3646,13 \times \frac{m^2}{m^2 - 2^2},$$

於中 m 自 3 以至於 31， λ 爲波長，而此公式即名爲巴爾麥氏式。此二十九條線可用此公式表之者，總名爲一“氫原質光系”。

倘將巴爾麥公式內波長 λ 易以振動數 ν ，則可將此式改作（其計算法從略）：

$$\nu = 3,291 \times 10^{15} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

尙有可注意者，在紅外波方面，氫原質另有二線發見，其振動數爲下式：

$$3,291 \times 10^{15} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right), \quad 3,291 \times 10^{15} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right),$$

如是，可見此二線振動數之括弧中非如前之 $\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}$ ，而爲 $\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2}$ ，與前巴爾麥公式稍異，故不屬於前系中；惟由此二者所成之系，其所循定律亦相似耳。後來又有勒德堡（Rydberg）氏發見巴氏公式內之 $3,291 \times 10^{15}$ 一數不僅於氫原質之光系適用，兼且於一切光系均合用。因之，即將此數名爲勒德堡常數，而用 R 一字母表之。

總以上的事實，我們可將前面所得氫原質振動數公式推廣作

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

於此 R 爲勒氏常數, n 之值爲 2, 5, 3, m 之值自 3 以上計, 惟 n 爲 3 則自 4 起, n 取一值而將 m 之值迭計時所得諸線, 名爲一系。

又, 爲便於計算, 亦有不用振動數 ν 而用特定距離中之波浪數 ν' 者; 是即波長之倒數, 例如於 H_α 線, 其波長爲 6563×10^{-8} , 故其波浪數爲

$$\nu' = 109705,4 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right).$$

此中 109705,4 一數, 尋常仍名之爲勒氏波浪數。

自巴氏發見其公式後, 物理學者曾試將此式并應用於其他光系方面, 但是不可能。在氫原質以外之其他光系方面, 此項簡單的定律全不能用, 惟有許多線, 則亦能將其綜成爲一系。尋常一系中的線與他系的線均嚴相分開。

各系所循定律雖不同, 然大致均相同, 蓋其振動數均可如前巴氏公式中那樣用二數目之差表之; 且其第一數目均可不變, 祇須將第二數中一數變動, 即得各振動數。勒德堡并發見, 在有許多光系方面, 此第二數目非如巴氏公式中之 $\frac{R}{m^2}$ 而是 $\frac{R}{(m+a)^2}$, 於此, a 在各系均不同, 且在大多數方面不是常數, 而與 m 同變。

後來在鈉之光系中又發見有線系, 其振動數之第一數目亦非不變者。因此, 這種線系可用下式表之:

$$\nu = \frac{R}{(n+b)^2} - \frac{R}{(m+a)^2},$$

於此，第一數目中 b 爲一常數， n 則迭取 1, 2, 3 等值，第二數中 a 亦爲常數， m 則仍變動。由此式可知任何二數目之差，總是一光系中之線之波浪數。此事實首由黎茲 (Ritz) 所發見，故即名之爲黎氏原則。自巴爾麥發見其定律後，光系方面之研究，如欲求其相關的線，以及求其規律性等，殊多困難之處。例如前二十九圖所示，氦之七條主要線并非屬於一系而是屬於諸不同的系者，近來此方面之研究雖極有進步，但仍未能臻於完全。

觀於上面所說種種事實，可知光系方面之現象，殊不容易用一種簡單的週期運動解釋之，因而對於原子內部之構造，其中有何運動，均不能得若何確切的觀念。晚近來物理學者與數學者於此已費了不少的心力想求其解，迄未有什麼效果。直至 1913 年，始有丹麥物理學者波耳 (N. Bohr) 氏對於原子之構造作出一種新的理論，能解釋前面所說過的事實。此新理論尙不免有困難處，惟其能與事實相應，則不能不承認其有相當的真理。

在未述波耳新見解以前，有一些觀念不能不先提出一說。原來物理學上的兩個基本觀念是物質與能力。物質的構造，如本書前幾節所述的，乃是由原子電子所合成，故物質不是連續的。物質無連續性，此是向來所已知道；至於能力，則物理學者自來即視爲連續的，不是由甚麼微點所合成。但照近年來物理學者研究熱學方面及放射問題的結果，知道能力

連續的觀念，實有改變之必要，我們亦須將能力看作由一種名為“能子”者所合成。此項見解曾於原子之振動等方面應用頗見效果。照此則原子振動所發出的能力，終是此項能子之整倍數，不能為其分數。不過此項能子不是於一切振動方面同樣大，但是隨振動數而異，振動數大則能子亦大。故能子之大與其振動數之關係乃是一常數。此常數於物理學上近來非常重要，故即以發見者之名名之為蒲郎克氏常數 (Plancksche Konstante, 按蒲郎克即為能子論之創始者，係當今德國有名物理學者)，或亦名“效子” (Wirkungquantum)，而於糧克秒制中其值為 $6,52 \times 10^{-12}$ 。今將各振動數之能子列表於下：

振動類別	紅	紫	極紫	樂琴線
波長	7610×10^{-8}	3800×10^{-8}	1000×10^{-8}	1×10^{-8}
振動數	$0,04 \times 10^{16}$	$0,08 \times 10^{16}$	$0,3 \times 10^{16}$	330×10^{16}
能子	$0,26 \times 10^{-11}$	$0,52 \times 10^{-11}$	$1,95 \times 10^{-11}$	1950×10^{-11}

此項效子之來歷如何，何以原子所發振動能力均是作微點者，至今尙未能明白。不過由經驗上證明，知道這是事實罷了。

向來所有能力連續的觀念既變，乃可一說波耳之原子理論，蓋波氏之見解中，此能子實占重要地位，他乃是以能子理論應用於以前之原子論上而已。

照波氏的理論，一原子之構造與一太陽系之構造同。原子之中心為一陽電心核，體積極小，其所有陽電量與該原質

之原子數等。環繞此心核者有陰電子在那裏運動，其軌道作圓或橢圓，與行星之繞太陽一般。使此項陰電子不離其軌道的向心力，即是陽電與陰電間之吸引力，而其離心力則與向心力相等。

在太陽系方面，繞日運動的行星其距離太陽的遠近各不同，其速度亦不等，而此項距離亦無甚規律支配之。但在原子中之陰電子，其關係卻不然；這些陰電子與心核之距離，完全有定，其在各軌道上之速度亦有一定，而其距離則均為整數。此項軌道，可名之為穩固軌道。

今試以氫原質原子為例，於此其心核祇有一陽電量，環繞之者祇有一陰電子，而其軌道圓之半徑及運動之速度則未知。在此二未知數之間，有二種關係，可得二個方程：一，陽電子與陰電子間之吸引力與其離心相等；二，電子之質量與其速度及繞心核之軌道相乘之積必與一“效子”之整倍數相等。由第一種關係，可知一陰電子在一穩固軌道上之速度之平方，等於心核及陰電子所有電量之平方為陰電子之質量及軌道之半徑所除。由第二種關係，則可知陰電子之速度等於一效子之整倍數為電子之質量及軌道之半徑所除。因此，我們如知道陰電子及心核之電量，陰電子之質量及效子，則不難用以前所得二關係以推知其軌道之半徑及其速度。我們并可照其與一效子，二效子或三效子相等，而說此陰電子在一效子的，二效子的或三效子的軌道上運動。

以此方法，曾經測得氫原子中最靠心核的一效子軌道，其半徑為 $0,55 \times 10^{-8}$ 厘米；其第二者第三者均可仿此算出。又可算出一效子的軌道上其電子之速度為 $2,172 \times 10^8$ 厘米/秒，約為光速度之一百三十八分之一。其以下各軌道上之速度均較為遲；愈與心核相距遠，即亦愈遲。

因陰電子與心核間有吸引力，故欲使陰電子脫離心核，則必費工作；且如前所說，陰電子所循軌道與心核愈近者，其所費工作亦必愈大，因此項工作等於陰電子之質量乘其速度之平方之半。使陰電子由第一軌道脫離心核所用工作，可名之為“脫離工作”；而由以前所得結果，其值可算得為 $21,71 \times 10^{-12}$ Erg（此為氫原子中陰電子之脫離工作）。

各軌道上之速度不等，其距心核愈遠者則愈遲，而其比則為 $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4}$ 等等。由此故可知欲將其餘軌道上之電子與心核脫離，則所費工作亦較少而其與脫離工作之比，則為 $1 : \frac{1}{2^2} : \frac{1}{3^2} : \frac{1}{4^2}$ 等等。

今如有許多氫原子之心核與陰電子於此，均在不規則的運動中。陰電子經撞擊後，或則入於一穩固軌道運動，或則由穩固軌道逸出與心核距離較近或較遠而再入一其他穩固軌道。倘由一較遠的軌道入一較近心核的軌道，則有能力發出，例如一陰電子由第三軌道入第二軌道時，其所發出的能力等於

$$\text{脫離工作} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right),$$

由第四軌道入第二軌道時，所發能力為

$$\text{脫離工作} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right),$$

餘可類推。照能子論的見解，此項所發出的能力必為能力之元素，而對於此項每一能力元素，有一定的振動數與之相當；他方面，此項振動數亦即決定由所發出的能力所成的光線之顏色。然振動數等於能力元素為效子所除，故知一陰電子由第三軌道入於第二軌道時，其所發出的振動數為

$$\frac{\text{脫離工作}}{\text{效子}} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right),$$

其他可類推。將這裏所得式與巴爾麥公式比較，即可看出其相同。且事實上，經學者計算，知道脫離工作被效子除後之商為 $3,329 \times 10^{15}$ ，此即是以前所得的勒德堡常數了。如是，可知一陰電子由第 m 軌道入於第二軌道時，則發生一振動，其振動數 ν 為

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

此即是巴爾麥氏公式。

用能子論的見解既可將巴氏公式推得，從可知此項見解實含有真理了。并且以前所不明白的事實得此可以解釋清楚，實不能不說是物理學上之一大獲得。

我們倘將一立方厘氫氣研究，則以前所說線光系現象

即不難明白。蓋一立方厘米中所有氫原子之心核及陰電子，其數多至不可計算，於中陰電子之運動，自各種方式俱備，例如陰電子由第三軌道入於第二軌道，及由第四或第五軌道入於第二軌道等事必亦極多，結果乃有線光系現象發生了。

但是這裏可有一問題：何以氫氣方面獨多陰電子入於第二軌道的事實？何以不見由第四五軌道入於第三軌道或由第三軌道入於第一軌道所發生的線光系？對於此問題之簡單答覆是：由第四五軌道入於第三或由第三入於第一之事實自亦極多，但其所發生的線光系不能為我們所見，並不是沒有。蓋由第二第三或第四第五軌道入於第一軌道時，所發生的線光系，其波長至短，在紫色之外，實不容易觀察。但事實上，一九一六年時物理學者來曼 (Lyman) 亦曾將其中三線觀察得，他方面，由第四五或第六七軌道入於第三軌道時之線，在紅外範圍內，亦非普通所能察得，但其中有二線，如前說過，已曾經觀察得。

他如由第五軌道入第四時所發光亦不能見，故我們所見者祇是由其他軌道入第二軌道時所生的線光系。照巴氏公式，可知至遠的，尚有第三十一軌道在。然事實上，電子在較遠的軌道上，如第十以上者，普通不多遇見，祇於特種狀況下纔如此。蓋此項較遠的軌道，在普通試器的壓力下，其距心核已較之二心核間之距離為遠，故若一陰電子在較遠的軌道上運動時，繞其他心核了。因之，我們用試器研究巴氏線系時，

氫原子之紫外線祇能見十二條。事實上，確是如此。其餘的線，普通在試器中不能窺見，惟於星霧之光系中見之，因其密度極稀。這與波氏之觀念恰相合。

在尋常的壓力下氫原子祇能有五軌道，故光系中只能有三根線 H_{α} , H_{β} , H_{γ} 。

我們倘設想將一氫原子放大至地球那樣大，則其心核之大約與一兒童所玩的皮球等，而陰電子則為一半徑至120呎的大球；陰電子在第一軌道上與心核之距離，約為地球半徑之半，三千餘呎。由此可知一原子中之空間，還多空的地方，其為物質所占者，祇一小部分而已。

他方面，可知一原子所占空間之體積實無一定，隨此物體之密度而異。在極稀薄的星霧中，一原子之半徑其大約為第一軌道距離心核之千倍。由此可知陰電子與心核間之吸引力，雖離如此遠尚還生作用。

最穩固的狀態，是陰電子在第一軌道上運動，即是在與心核相距最近的軌道上。這時候，原子之半徑祇為其有效範圍者之四分之一。

諸原子中，其構造最簡單者，自莫如氫原子。其次則氦原子亦頗簡單，其心核有二陽電量，環繞之者有二陰電子。但在這裏陰電子之位置已不止一種方式為可能了。然若論其特例，當氦原子失去一陰電子而為游子時，則其狀況亦必較簡單，略與氫原子相同。惟氦心核之電量大於氫心核一倍，故環

之運動的電子其速度亦必大一倍，而其任何穩固軌道上之動力則大於氫電子四倍。由此可推知其所發出的振動數亦可用巴爾麥公式表之，惟於此其勒德堡常數 R 須用4乘之。事實上，物理學者否勒(Fowler)氏曾發見過這樣的線光系，而以前向視為氫原質方面者，自波氏理論出，乃知其屬於氦游子者。

此外，在其他原質方面所發見的線光系，亦都可推算得有勒德堡常數；因此，可知此勒德堡常數實是線光系振動方面之基本常數。而照波氏理論，則實應該如此。但在他方面，由經驗所推算得的常數雖與勒氏常數十分逼近，但終不能無差。此項事實以波氏理論觀之，亦不難明白。由此種種，益足見波氏理論之價值。

如前所說，原子中電子由較遠的軌道入於較近的時，能有光線放出，則反之，電子自較近的軌道入於較遠的時，亦與光線之吸收有關。前面已說過，將一電子自最近心核的軌道脫離心核，必須用工作，即所謂脫離工作，是須加入能力。事實上，將一原子游子化，即是將其電子脫離心核。故我們可用脫離工作以計算游子化所需電力，而觀其是否與實驗上所得者相似。用此方法，曾經算得氫原質游子化所需電量與實驗上所測得者極相似；此亦是波氏理論可用之一證。

波氏的理論雖於最簡單的氫原子及氦游子方面極有成績，然欲應用之於其他複雜的原子方面，則困難殊多，頗感

不易了。原子數大的原質之原子，其所有環繞心核的陰電子數目極多，與心核之距離遠近頗不一，而其軌道亦非爲圓或簡單的橢圓，乃是極複雜者，欲純粹理論的測定其屬性，實爲不可能的事。

但在他方面，前章內所說過的摩氏高次振動數定律，卻頗易由此理論明白。蓋振動之來源在於電子由一種狀況入於他種狀況所致。例如陰極放射觸於反陰極上，則因其微點將原子之電子撞擊使其出離原來之軌道，而入於更近的軌道，於是發生變琴線了，電子之能力既與原子中電量之平方有關，故振動數之平方根必與此項電量相比。由此，即不難推得摩氏之定律了。

以上種種事實：線光系之解釋；勒德堡常數之推算以及解明摩氏定律，都是波氏原子論之成績。此外則磁場電場對於線光系之影響等，均不難用波氏理論解釋之。因之，波氏理論之可靠，似無可懷疑了。不過將此理論應用至氫原子以外之原質，則殊不容易。於是不得不推廣見解，假定電子之軌道作橢圓而非圓者。然實際上，僅此一些推廣，還不足以解釋其他原子方面之現象。故必須還從其他方面入手。

原來原質之光系，可分爲二種，其一爲弧光系，其二爲閃光系。普通於試器中或弧光中所觀察的光系，謂之弧光系，而於放電之閃光所觀察得者名爲閃光系。前面第75頁上所說的氫之線光系，乃是閃光方面者；而前63頁上所說者，則爲弧

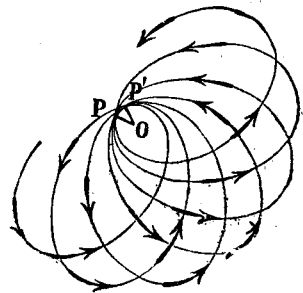
光者。

氦之閃光系方面，如前說過，亦可用巴氏公式，但其弧光系，則較為複雜了；其原因蓋由於這裏有二陰電子運動。我們如名與心核相距最遠的陰電子為最末原子，其次者為次末原子等等，則可見氦之閃光系方面，其次末電子與氫之最末電子相似。而在鋰方面，其三末電子與氫之最末電子相似。反之，單層游子化的鋰方面，其次末及三末電子之運動與未游子化的氦相同，此即是單層游子化的鋰之閃光系必與氦之弧光系相似。廣之，任何一單層游子化的原子之閃光系，必與位置上在其前的原子之弧光系相似。此種推論，未能於事實上得普遍的證據，蓋有些原質之閃光系尚未能得；惟在有些原質方面，則已得其證明，知其無誤。

在波氏的原子模方面，有二點至為重要。其一，一陰電子在穩固軌道上運動，與放射線光系全無關係；祇當陰電子由一穩固軌道至其他穩固軌道時，乃能有射出光線的現象。此種見解，與向來物理學上所有觀念衝突。蓋照向來物理上之見解，一電子之運動，能引起以太中之振動，此振動之週期與電子運動之週期相同。以前的理論，則均採用此見解。波氏理論既不用此，則必於此找得一個解釋，俾舊時理論與新見解得以融洽。於是波氏立一原則，即所謂“相當原則” (Korrespondenzprinzip) 者以為解。照此原則，電子於其穩固軌道上之運動，對於由一軌道入他軌道時所發生之以太振動有影

響生出,而其影響則在於此,倘電子之運動爲單層週期者,則所發生的光系中祇有一能子數目,如其運動有二週期,則光系中亦有二數目。事實上,原子數大的原子方面之光系確是如此。

波氏理論中之第二重要點,則是所發生的光線的振動數(以效子 h 乘之),總可以用電子自一軌道至他軌道時能力之差表之。前 68 頁上已說過黎茲原則,其所表事實,實即是此。但在氫原子方面,此能力雖祇與能子數 n 有關,而在其他原質方面,則除 n 以外,尙與一其他常數 a 或 b 有關;此於前 68 頁上已提及過。因之,波氏於此將能子數分爲二,其一名爲主要數,其二名爲附帶數。照前面所說“相當原則”,祇當一電子之運動爲二重週期時,乃能有二能子數。事實上,電子之運動普通是如此。蓋我們可將電子繞心核與行星繞太陽相較;倘祇有一行星繞太陽,則照刻卜勒(Kepler)定律,其軌道不變,因而爲單重週期的,然若不止一行星,則因其間發生相擾,於是其軌道不能不移動,而近日點亦移動了。如圖三十所示,即是一行星所作軌道之移動,於中 P 及 P' 并爲近日點,其移動可見。太陽系中如此,原子中亦然,故電子之運動,其軌道亦有移動,因而其週期非爲單重的,而其能力與二能

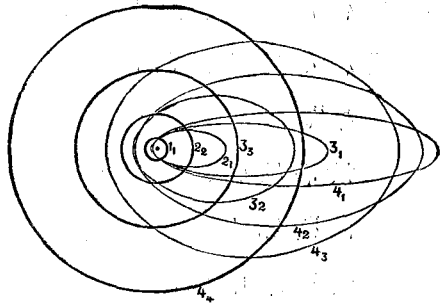


第三十圖

子數目有關。

然氫原子中雖祇有一心核及一電子，而實際上電子之軌道亦有移動，其原因則在電子之質量與速度有關而實是假的。因之，我們不能用以前所說那樣簡單的圓軌道，而於每一主要數目有幾個不同的軌道，或為圓的或為橢圓的。第三十一圖中，將各可能的軌道完全作出，惟其移動則未作出。於此，軌道之二數目，一表主

要數目，一表附帶數。而此中 $1_1, 2_2, 3_3, 4_4$ 為圓軌道，為以前所說過者。此外，屬於主要數目 2 者尚有一橢圓 2_1 ，其大軸等於 2_2 之徑；屬於主要數目 3 者尚有



第三十一圖

3_1 與 3_2 二橢圓，其大軸等於 3_3 之徑等等。因各軌道上之能力，不能相等，故一電子由 $3_1, 3_2$ ，或 3_3 入 2_2 ，其所發能力亦不能同，於是其光系亦遂不能不有別了。前所說氫原子線光系方面之微細構造，其原由蓋即在此。其他原子數高的原質，自亦同其理，並且也許還能有更複雜者，其運動之週期有三重等不一。

以前所說，是波氏原子論之大要而已，關於此問題尚多，目前造詣殊還少，但即此一些，已足見其價值了。

第六章

餘論

以前曾經提及過，大多數原子之心核，亦是組合成的。在放射性原質方面，我們已知道其心核由氦心核及陰電子合成；在其他原質方面，類此者當復不少。因之，原子論上更發生研究心核如何組成的問題了。此項研究，我們可名之為“心核物理學”。

對於心核物理學方面近年來最有供獻的，實為刺得福德氏。他的研究大都自放射性物體方面入手，結果很好。

如第三章中已說過，銦或銦 A, B, C 所放出的 α 微點，是氦心核所成，經 3 至 7 纏軌道後即失效，但經詳細研究，則知事實上其失效并不如是之近；蓋可發見其效力有至 29 纏者，不過較遠時即極弱罷了。再詳細考察，又可知較遠距離之效，並非若 α 微點所發生者，而當為氫心核所作出。此種見解，初為刺氏所假設，其後經種種研究，證實其無誤，知道實在是氫心核，其速度較 α 微點約大 1.6 倍，而其有效距離，則大 4 倍。

對於此現象最初的解釋，自然是假定此項氫心核亦為銦之成分。不過欲證明此假設，亦殊有未能；蓋此項氫心核也許來自空氣中水分，或自他處來均無不可。又經測算知十萬 α 微點（其軌道至 7 纏者）中祇有一氫心核，而其放出，則祇當

α 微點與氫原子十分接近時纔如此。

刺氏又曾細心研究 α 微點入純粹氫氣或純粹氫氣中所發生的現象，結果，發見氫氣中并無什麼，而氫氣中則有顯著的現象發生。原來 α 微點入純粹的氫氣後，即有極多軌道頗長的心核發生，其數目出於意料之外。在純粹的氫氣或純粹氫化炭中，因有水分的關係，亦發生氫心核，惟其數如前說的那樣有限制。氫氣中此項心核既多，而與氫氣本身之乾燥度或濕度無關，故可知其決非由水分中來。於是我們祇能如此解釋，氫原子之心核中亦含有此項心核，其有效軌道極長，而經 α 微點將氫心核撞擊破裂後，此項心核纔放出。不過這些心核是否即是氫心核，尚不易斷定，僅由其軌道之長，決不能即推及其性質，因任何單層電量的微點，不問其質量為 2, 3, 或 4, 與 α 微點相撞後之速度大約均是如此。故欲決定其性質，祇有測量其在磁力場中曲折的程度。經刺氏審慎的試驗後，測得此項心核之曲折較 α 微點者為大，故用精密計算後，知道此項心核實係氫心核。

前面已知道極重的原子，如放射性物質的原子，其心核是組合成者，但照這裏所說，則知不獨極重的原子為然，即不很重的氫原子亦是如此的了。氫原子方面雖不能測得其有氫心核，但我們須知氫之原子量為 16，則其中或者恰含四氫心核，故無氫心核了，惟氫之原子量為 14，則自不能全由氫心核所成，而可含有氫心核。此種結果，實是心核物理學上之一

大獲得。

刺氏將他的方法更加精密，復深為研究，知道由氫原子方面所放的氫心核，其軌道遠較得自氫原子本質或水分中者為長。後者之軌道，如前已說過，可至29纏，前者則可至40纏。因此，我們可推知倘將 α 微點放射至物質上而發生心核，其軌道長於29纏時，則此項心核必非來自水分而來自該物質。緣此道理，於是研究上更多便利了；他隨即將 α 微點施於其他不甚重的原質如鋰，鋇，硼，炭，氫，鈉，等等方面，而觀其影響。然試驗的結果，鋰，鋇，炭等并無甚麼發見，硼，氫，鈉等則殊出意外，其軌道有極長者；今列表如下：

原	質	軌	道	長	原	質	軌	道	長
	硼			58 纏		鈉			58 纏
	氫			40 纏		鉛			91 纏
	氫			65 纏		磷			65 纏

此中鉛最可注意，故曾極詳研究之，而所得結果亦頗可異，蓋曾發見其所放出的心核不限於 α 微點射入之方向，各方向均有，且有時與 α 微點恰相反對之方向亦有之。然再經詳細考察，則知不獨鉛為然，前面所說六原質都如此。而用磁力場試驗，則知其曲折與氫心核等，故可決定其為氫心核。此項現象，曾於鋰及氫二原質方面亦試驗過，但未發見。

由其軌道之長，可推知其速度大，而經測算，不難知此項心核之能力實較 α 微點之能力為大。因之，可明白此項氫心

核之放出并非簡單由 α 微點之撞擊所致,而其能力,一部分實得自原子本身。然必須 α 微點相接近時纔放出者,則因如此纔能使原子破裂之故。

觀於此,可知炭之原子量爲12,氮爲16,鎂爲24,矽爲28,硫爲32,都是4之倍數,故不必含有氫心核,而可純由氦合成。而如硼之原子量爲11,氫爲14,氟爲19,鈉爲23,鋁爲27,磷爲31,則必含有氫心核在內。惟鋰之原子量爲7,氫之原子量爲35,而亦無氫心核,則可異耳。也許此二原質亦有之,惟其結合特固,不易分開,亦未可知。

我們既發見了原子之心核有可由氫心核氫心核及陰電子所合成,則自亦可有心核僅由氫心核及陰電子所合成者,例如由二氫心核或三氫心核與一陰電子所成,而前者當爲氫的同位質,而後者則與氦同位。此外,自亦可有由一氫心核及一陰電子所合成,而其陰電子則與心核之距離極近,因而成爲中性無電者。此項組合常作線形,在磁力或電力場中其方向有定。於是有人以爲物理學上向所名爲“以太”者即由此成。而有時氫原子能由以太發生,有時則氫原子消成以太。此種見解,自難斷定是否,不過亦是一種可注意的意見而已。

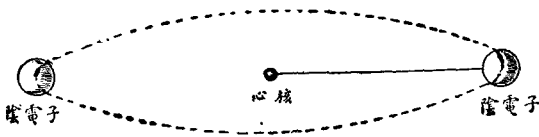
以上種種是心核物理學方面之獲得;至關於原子之構造,則新發見殊少,不過對於前此之觀念略有所增益改良而已。於原子方面所已確知無疑者,則凡中性無電原子,其中環繞心核的陰電子之數必等於其心核所有陽電量。然我們已

知道原子不必中性無電者，亦可成爲帶有電的游子，此項游子，其所有陰電子與中性原子自不同多寡了。例如較中性原子少一，二，或三陰電子，則成爲帶一電量，二電量或三電量的陽游子了。反之，如多一，二或三陰電子則成爲帶有一，二或三電量的陰游子了。

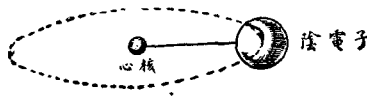
氫原質之中心原子，恰爲一心核一陰電子所成。在最穩固的狀況下，即當陰電子在第一軌道上時，陰電子與心核之距離爲 $0,55 \times 10^{-8}$ 厘，每秒鐘繞心核 $6,5 \times 10^{15}$ 次。圖三十二所示，即是一氫原質之中性原子。倘繞此的電子失去，則即是前所說過的氫心核了。倘繞氫心核者有二陰電子，其距離心核較中性原子爲大，則即得一陰氫游子。此項游子之陰電子距離心核遠於中性氫原子，惟其繞心核之速度則亦較小。圖三十三所示，即是此項氫陰游子。至帶有三陰電子的氫心核，即



第三十二圖



第三十三圖



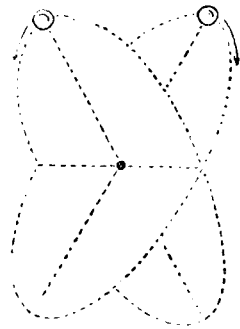
第三十四圖

帶有二陰電量的氫原子，則不能有，事實上亦未遇見過。

至氦之心核，則帶有二陽電量，此即是放射性物質所發出的 α 微點。倘有一陰電子圍繞此心核運動，則所得者為帶有一陽電量的氦游子。惟如三十四圖所示，陰電子與心核之距離，祇為氫原子中陰電子與心核之距離之半，而陰電繞心核之速度則大於氫原子四倍。

至中性氦原子之構造，已不易決定其形式；蓋環繞心核的陰電子有二，此二陰電子可在同一圓軌道上，亦可在不同的圓軌道上運動等等，其可能性殊不一。

經測算其能力關係後，知道最穩固的軌道當為二橢圓其平面以 120° 相傾斜，如第三十五圖所示。不過這亦不是十分可靠者，於此亦頗有問題可發生。



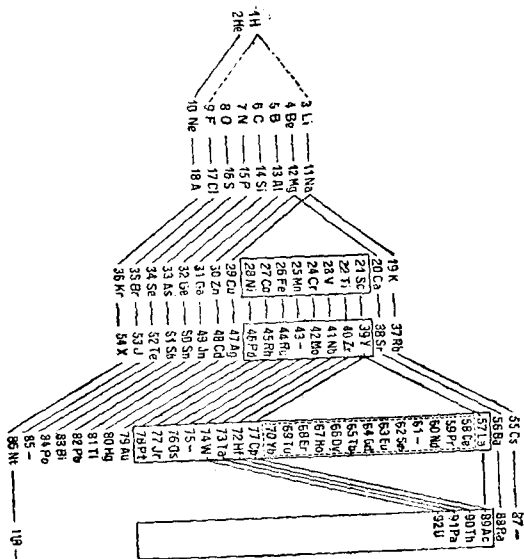
第三十五圖

此外其他原子量稍大的原質，如鋰，鋇等等，環繞心核之陰電子既多，其軌道之可能性自亦更繁，殊無法為之臆測了，

因之，其餘原子之構造如何，至今尚無法勘定。關於此，前面所說過的原質之週期性，或可供我們將來研究上之一下手處。由前58頁上所列表，可見原質每隔八位，其屬性又相似，此即是其原子構造又復相似。而每縱列內相似原質，其原子數之相差為8, 8, 18, 18, 32。反之，在a與b二列內相繼的原質之差，則為10或24。又，原質之原子價，亦頗可供研究，蓋此項原子價於

每八原質中其升降有定，總是自0至4，然後復由4至0。原子價之現象，可如此解釋，即由於環繞心核之陰電子中有數個與心核之結合不甚固，因而其原子能與他原子結合。照此，則有數種零價的原子，無此項結合極弱的陰電子，而一切陰電子與心核之結合的均極固。

然零價的氣體原質在週期系統中實有極可注意的地位。倘將所有原質分類排列之，而每類以一零價氣體原質為終，則即易見其地位。波耳氏曾將各原質如此排列，如圖三十六中所示即是。此圖內將原質分為七週，每週終以一零價氣體原質；第一週祇有二原質，氫與氦；第二週有8原質，以氮終，

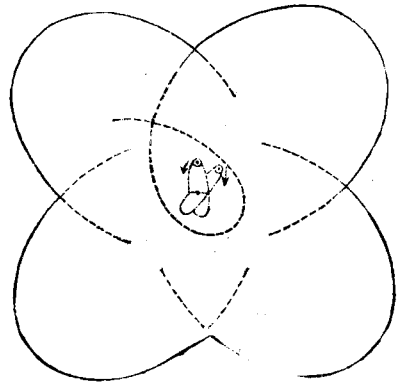


第三十六圖

第三週亦8原質，以氫終等等，惟第七週尚缺原質，當以118爲終。圖中所作線將諸原質相聯結者，係示其間之關係；例如鋰與鈉，鉀等有關，在58頁之表上，乃屬Ia縱列內者，其餘可以此類推。表中有圍入線中者，亦別有意義，後當論之。

由此表上所直接可見者，即原質72與40爲相關者，事實上，前59頁內已提及過，確是如此，72可得自鋳類礦物。因此，看來很或然，其餘二未知原質43與75當與錳有關，而85則當與氫、溴、碘有關。

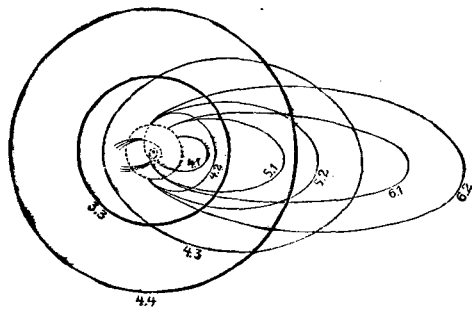
原質之如此分類，於其原子之構造問題，實大有所啓示。波氏研究原子之漸次構成法，多與此相關。原來原子之構成，在於心核之漸得陰電子。一心核最初所有二電子於第一軌道上運動，如圖三十五所示；此即第一週告終了。如有第三電子，則不能再入第一軌道而於第二軌道上運動，但第二軌道如前所說有二，即 2_1 與 2_2 一爲橢圓，一則爲圓。自第三電子直至第十電子（至氫始有之），總共八個，均在第二軌道上運動，其如何分配法，可由研究光系上測之。例如炭，有二電子在第一軌道上，四電子則在第二軌道上，於此第一軌道有二，第二軌道有四，如圖三十七中所示。惟此四第



第三十七圖

二軌道,各有移動,圖中所示祇表其大略而已。觀於此圖,炭之原子價爲四,蓋已不難索解。至第二週之末一原質氦,則可假定第二軌道 2_1 與 2_2 各有四。此後第三週之原質,則第二軌道以外并有第三軌道了,而第三軌道之多寡,則亦漸次增加,至氫,則 3_1 與 3_2 各有四。第四週之首一原質爲鉀,較氫又多一第十九電子;於此,其構成較前不同了。此第十九電子初在較遠的軌道上,例如第六軌道,由此入於第五軌道,再由此入於第四軌道,并可再入於第三軌道之 3_3 上。惟因在第四軌道 4_1 上較在 3_3 上更穩固,故此第十九電子即留在此 4_1 上,而不入於 3_3 。波氏曾將此項關係作爲圖,如圖三十八所示。此圖中凡構成第三週之電子均

在虛線之圓線內;由此可見 4_1 軌道較之 3_3 近於虛線故不會由 4_1 入於 3_3 。然在此後,其關係又變。在第21原質,其 3_3 軌道又



第三十八圖

較 4_1 爲穩固了。自此以下,一直第三軌道爲多,至第28原質,第三軌道 $3_1, 3_2, 3_3$ 各有6。第三軌道至此,實已極完備了。於是自29起,復多第四軌道。前圖三十六中第21至28各原質特用線圍之者,即表明在這些原質內,第三軌道漸臻乎完備。此項分類法,能將初時週期表中所有不適合處說明,實爲一大進步。

至圖三十六中他類內所有用線圍入的原質，其關係亦如前，不過非爲第三軌道而是其他軌道而已。

觀此分類法，則前此週期表中第八縱列之所以特別者，可以明白了，而稀有原質之特性，亦不難得解。

總括前面所說，週期表中第 0 列與第 1 列原質所有各軌道上之電子數目，可列二表如下：

週期表中第 0 列原質

軌道	第一	第二	第三	第四	第五	第六
氦	2 電子	—	—	—	—	—
氖	2 電子	8 電子	—	—	—	—
氬	2 電子	8 電子	18 電子	8 電子	—	—
氙	2 電子	8 電子	18 電子	18 電子	8 電子	—
放射氣	2 電子	8 電子	18 電子	32 電子	18 電子	8 電子

週期表中第 1 列原質

軌道	第一	第二	第三	第四	第五	第六
鋰	2	1	—	—	—	—
鈉	2	8	1	—	—	—
鉀	2	8	8	1	—	—
銣	2	8	18	8	1	—
鐳	2	8	18	18	8	1
銅	2	8	18	1	—	—
銀	2	8	18	18	1	—
金	2	8	18	32	18	1

波氏此項理論，半得之於光系之研究，半則為將能子論應用至原子論上之結果。其中所含假設固多，然就事實看來，似亦極妥；例如前所說的說明週期表中之不合處，并能預言新原質之所在等，均足為其證。

原子的構造，大略如上所說。至如何由原子構成分子，則尚是問題。分子的狀況與原子不同，在這裏其心核不若原子之祇有一個，乃是至少有二個在。例如一中性氫分子由二心核及二陰電子所成。波氏最初的見解以為氫分子之二電子於同一軌道上繞連二心核之軸旋轉運動。然以其穩固性論之，則此項見解殊不能用。不過原子之結合成分子，其各心核須有相當的結合，此是一定者。關於此方面，至今尚不能有可靠一定的見解。

最近原子論上之新見解本書內大略已敘述了；總括其結果，可得數條如下：

1. 化學的現象，大多起於原子之最外層的電子。原子合成為分子，亦多藉此項電子。

2. 凡極高的溫度及電的作用，能影響原子之外層電子，使其離心核較遠，而當重復入其軌道時，即發生光系。然弧光系來自最末電子，而閃光系則來自次末電子。

3. 發生樂琴線的電子之爆發，實影響原子之內層使其分裂；樂琴光系中之K, L, 與M線之發生，其原因即在於此。

4. 放射性物質方面之現象，來自原子心核之本身，即極

重的原子之心核自然分裂而放出 α 與 β 放射。至其 γ 放射，則即爲其變琴線。一方面， α 微點又能影響其他原質如氫，氟等之心核，使其破裂。

此外，原子論上問題尙多，其結果如何，須待將來之研究了。