

論 概 質 物

姚啓鈞編著

中 華 書 局 印 行

物質概論

目次

第一章 物質和電的原子性.....1

- 一、緒言 二、物質的原子性 三、電的原子性
四、基元電荷的測定 五、電荷的憑藉物 六、陰極射
線的荷質比 七、電子 八、陽射線的荷質比，質子
九、陽子

第二章 能量的量子性.....23

- 一、輻射定律 二、量子說 三、光電效應 四、X
光 五、光譜線系 六、吸收光譜 七、原子能量階級
八、原子的激發

第三章 原子構造(上)——核外電子.....42

- 一、原子的可分性 二、原子構造概況 三、Bohr
氏原子模型 四、氫原子 五、氫的連續光譜 六、原
子的游離 七、類似氫光譜 八、多電子的 Bohr 氏原
子模型 九、核外電子層 十、元素的週期性 十一、X
光譜和原子序數

第四章 原子構造(下)——原子核.....69

一、同位元素 二、放射元素 三、中子 四、人工
的原子核變換 五、人工放射現象 六、原子核構造

第五章 分子構造.....88

一、游子分子(異極分子) 二、原子分子(同極分子)
三、晶體分子 四、轉動振動光譜 五、帶狀光譜

第六章 質量和能量.....100

一、質量和能量的基本關係 二、原子構造問題的回顧
三、放射現象的回顧 四、宇宙射線 五、宇宙的演變

第七章 質點和波動.....111

一、光電效應的回顧 二、光子的質量和動量
三、Compton 氏效應 四、幾何光學、波動光學和量子光學
五、物質的波動性 六、波動力學和量子力學

附錄

一、週期表 二、原子常數表.....123

物質概論

第一章 物質和電的原子性

一 緒言 物質的原子性學說和電的原子性學說好像是平行着的。這兩種學說的發展史也很有些相似。思想的本身都要追溯到問題的起源。在沒有發展到數量上可以精密測定的方法以前，這兩種學說都不過是些臆說，毫無事實上的根據，當然沒有發揚滋長的希望。物質原子性學說差不多經過了二千年，電的原子性學說也經過了一世紀半，方纔奠定了精密測定的方法。物質和電，以前是認為風馬牛不相及的；從此便使人逐漸注意到它們的相互關係，而且認為或者竟是同一東西的兩種不同的狀態。這樣便又使人回想起古代 Thales 氏的宇宙一體論來了。

二 物質的原子性 宇宙的一切物質都是由於運動不停的原子 (Atom) 所構成。這種觀念，在公元前三四百年，希臘和羅馬的哲學家早已有之。說也奇怪，竟和現在二十世紀的近代物理學家所研究的不相上下。不過前者是憑空的臆度，後者是根據着直接、準確而且定量的觀察和測量的。這裏所謂觀測，不是說人類的眼睛能夠直接察見一個個單獨的原子或分子，這是永遠不可能的。這“不可能”是說我們即使用了顯微鏡來觀

察微小的物體，也有一定的限度；分子和原子都要比這限度小得多，所以是不可能察見的。這種限度並不是由於顯微鏡放大力的不夠，也不是我們眼睛的不適宜，而是由於原理上的缺陷。要觀察分子或原子，當然需要光來照亮的。如果用眼睛看得見的“可見光”，那麼在原理上因為波長不適當，所以不能把它們一個個分別辨認出來；等到用適當波長的光來“照亮”，我們的眼睛又已經不能感覺了（見第121頁）。好在目睹的情形不一定是最可靠的證據。我們有時往往利用心靈的眼睛來觀察某些物理量間的間接合理關係，不過各量都要有可靠的根據，而可以分別準確測量的。照這樣說起來，在物質原子性學說方面，這種合理關係直到公元一八〇〇年方纔完全發見。所以這學說雖然起源於古代，但是近代的原子說不過僅有百年的歷史。我們今日所有關於原子和分子的詳確知識，可以說都是在一八五一年以後逐漸增加的。Joule氏在這一年中首先測定了氣體分子在尋常溫度時的**平均速度**；這可以說是最初一次對於分子狀況的實測。關於分子狀況的第二種數量是它們的運動總不免要相撞的，那麼平均經過了多少距離便要相撞一次？這在物理學上的專名叫做**平均自由徑長**(Mean free path)。Clerk Maxwell氏在一八六〇年第一次測定這自由徑的長度。同年，對於每立方厘米中分子的個數亦開始作準確的估計。這些關於分子狀況的數量，其後又經過再三的實測，更採用了不同的方法，結果都相符合。這纔奠定了物質原子（分子）性學

說的基礎。對於眼睛所看不見的東西，能夠得到這樣準確的數據，在當時可算得是奇妙的了。在今日我們看來，還不失為奇妙；不過更奇妙的，倒是不可捉摸而不知要神祕複雜得許多的光波電磁性學說，在那時早已建立了相當滿意的根據，而有着二千年歷史的原子(分子)運動學說，無論在那一方面說起來，總要比光波學說簡單得許多，為什麼這樣遲晚方纔開始作數量上的推算。

一切物質都是分子或原子構成的。任何化學元素在參加化學變化時，最小的基本成份，仍舊保持着該元素固有的性質的，便是原子。如果再要把一個原子打開來，那麼打開以後的成份，便不再保持着該元素固有的性質了。這可算是元素原子的定義。物質的分子便是元素的原子結合而成的。

三 電的原子性 電荷也有最小的基本成份，而不能夠任意分割。電的原子便是這小得無可再分的基元成份。電的原子說沒有物質原子說的悠久歷史。近代的電子學說還不過是四五十年以來才發展的。一直到 Benjamin Franklin 氏的時代（一七五〇年）還是根本談不到什麼電的學說，不過他已經注意到陰陽電荷總是同時產生而且總是等量的事實。他因為要便於說明這些事實起見，假設有一種沒有重量的流質（稱為電火，Electric fire），存在着一切物質之中；不帶電物質中的電火成份是有一定的標準量的。要是物體中的電火成份超過了這標準量，物體便成陽荷；不及時便成陰荷。不過這樣說來，物

體中所有的全部電火流出體外以後，物體便荷着最强的陰電，所以純粹的物質(不含電火)是應該相斥的。但是這和萬有引力說相反；純粹物質似乎是不能夠單獨存在的了。於是 Symmer 氏(一七五九年)又倡雙流質說(Two fluid theory)：陽電和陰電是兩種沒有重量的流質，物體中含着等量的這二種流質時是不帶電的。陽流質較多時帶陽電，陰流質較多時帶陰電。這樣，電的現象可以自行歸納成爲一類，電力和萬有引力也不致再有衝突了。這學說延續着百年之久。不過這學說也有嚴重的缺點。流質間能生極強的電力，而流質本身是沒有重量的，這究竟是不可思議的事(因爲重量是物質基本特性之一啊!)；而且陰陽二流質同時存在時竟會完全失去了它們的任何物理特性，這可算得極盡抽象之至了。在這方面看起來，單流質說(One fluid theory)和雙流質說是同樣說不通的。它們的區別是雙流質說假定了陽電、陰電和物質三種基本成份，單流質說僅僅假定了 Franklin 氏所稱的物質和電二種基本成份。

在流質說中，電的構造成份是否是粒狀的問題，並沒有提及。但是 Franklin 氏的假設是承認有電的粒子存在的。他是這樣說的：“電這樣東西是不易捉摸的絕小的粒子，因爲這些粒子能夠自由穿過無論怎樣密的普通物質，而絲毫不受阻力的妨礙。”他當然沒有想到電流質的這種最小基元粒子是否可以個別分離出來而加以研究。這也不過是毫無根據的猜想罷了。

直到一八三三年，Faraday 氏建立了電解定律，這似乎可

以算得那電的原子說首次得到了實驗的根據。電解定律是這樣的：

第一定律 因電解而析出的任何一種元素的質量正比於流過電解液中的電量。

第二定律 流過電解液中的電量相同時，析出各元素的質量各自正比於本身的化合當量？

一八八九年，Arrhenius 氏提出了游子導電學說 (Theory of ionic conductivity)，這纔奠定了電的原子說的基礎。所謂游子 (Ion) 者，是帶着電的物質原子或原子集團。電解液的所以能夠導電，是由於游子的移動。

根據這二氏的學說，為什麼便能知道電的原子性呢？現在我們可以簡單地一說。有 Q 的電量流過某電解液時，析出的某元素質量是 M ，它的化合當量是 z 。按照電解定律，

$$M = kzQ,$$

這裏 k 是比率常數。假設 M [克] 的該元素物質中共有 N 個游子，而每個游子所荷的電量是 q ，那麼按照游子導電學說， $Q = Nq$ 。代入上式，得

$$q = \frac{M}{kzN}. \quad (1-1)$$

電解時析出的物質如果是氣體，計算最為簡捷。簡單的氣體每一個原子都是帶電的游子。如果析出的 M [克] 恰是 1 [克原子]， N 便是所謂 Loschmidt 氏常數。不論什麼物質，這數值都是相同的。而 $M/z = n$ 便是該元素的原子價。於是上式可寫

成

$$q = \frac{n}{kN} \quad (1-2)$$

命 $n=1$ 時， $q=e$ ，那麼 $e=1/kN$ ，所以在通常情形中， $q=ne$ 。這便是說至少在電解的情形看來，游子所荷的電量總是某一極小的常定電量 e 的整數倍數。因為原子價 n 不能小於 1，所以 e 是不能再分割的最小電量，這便是電的原子了。

按照 Faraday 氏的電解定律，從實際測量知道每析出一個化合當量的任何元素（例如 1 [克] 的氫，8 [克] 的氧）所需的電量是 96494 [庫侖]。在氣體分子運動論中有所謂 **Brown 運動現象**；觀察這種現象的結果，測得 1 [克分子] 的任何元素中所有的分子個數是 $N=6.065 \times 10^{23}$ （這也就是 Loschmidt 氏常數）。以氫為例，1 [克分子] 是 2 [克]，所以一個 [化合當量] 的氫中含有 $\frac{N}{2}$ 個分子，也就是 N 個原子。於是，每個氫游子所荷的電量是 $96494 / (6.065 \times 10^{23}) = 1.591 \times 10^{-19}$ [庫侖]。

這不過是電解時游子電荷所現的原子性，那麼一切的電荷是否普遍都是原子性的呢？這個問題留待下節再講。總之我們現在已經很有根據可以說電荷也有小得無可再分的最小基元成份，任何電量都是這些電的原子集合起來的。電的原子和物質的原子這二個名稱都不過是表示電量的基元成份和物質的基元成份，這裏暫且不涉及它們之間究竟有沒有關係。不過電的原子確是小得無可再分的基元成份，而物質的原子是可以打開來

的（見第 3 頁）。照這樣說來，電的原子這名稱似乎比較更為合理。通常往往反把物質的原子單稱做原子，而電的原子另外給他名稱（見第 18 頁），以示區別。

四 基元電荷的測定 一八九七年，Townsend 氏首先發動實驗測定基元電荷的嘗試。他所使用的主要原理是先把游離的電荷凝聚在許多球狀小滴上，然後測定一羣已知數目小滴上的總電荷。在他原來的實驗中，這些小滴是電解所發生氣體中的霧狀極細水滴。先測得了霧的總質量和電荷的總量，再估計這些水滴的直徑，從此計算每一水滴的體積。和他的密度相乘，使得該水滴的質量。於是把霧的總質量除以每一水滴的質量，就可算出這羣水滴的數目。假設每一水滴都是荷電的，它所荷的電量便可從此推算。這裏所遇到的各種數值，除水滴的直徑外，都可以直接測出的。要估計水滴的直徑，Townsend 氏利用了流體動力學中關於球體在粘滯性媒質內下落速度的 Stokes 氏定律。這定律可用下式來表示：

$$v = \frac{2}{9} \frac{ga^2(\sigma - \rho)}{\eta} \quad (1-3)$$

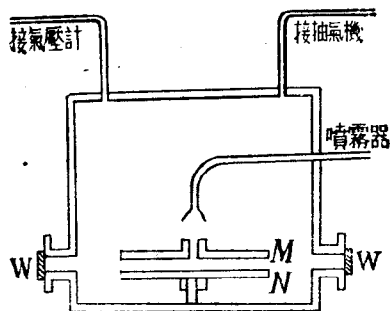
式中的 a 是球體的半徑， σ 是球體的密度， ρ 是媒質的密度， η 是媒質的粘滯係數； v 是球體下落的速度。這速度是常定的，和在真空中下落時的加速運動不同。各水滴的大小是差不多相仿的，所以它們落下時的速度也幾乎相同，霧的頂面是很清楚容易辨認的。祇要測得頂面下降的速度，便是各水滴下降的速度。在 Stokes 氏定律中， v 既已測得， σ 、 ρ 、 η 都是已知

的，所以水滴的半徑 a 便不難算出。Townsend 氏用這個方法，當然是不大精密的，但是以後精密的實測法大都是從此脫胎出來，所以他的主要思想是很重要的。

其後 J. J. Thomson 氏把這方法加以改良。帶電的霧滴改用新的方法來產生。這是根據 C. T. R. Wilson 氏所發見的凝霧現象。就是當塵埃完全除盡的飽和蒸汽容積突然膨脹時，溫度驟行下降，但是水汽因為缺乏凝結所憑藉的核心，所以變成過飽和而並不凝結。倘若其中有游子存在，那麼由於電力的影響，水汽也會凝結成霧的。突然膨脹到原容積的 1.25 倍時，水汽能在陰荷的游子上凝結而成霧，到 1.3 倍時，在陽荷的游子上凝結。J. J. Thomson 氏改用這新的凝霧法，便更有把握可以使每一水滴上都有電荷。他所用測定霧的下降速度的方法也加以改良。

陰荷游子上的凝霧更較陽荷游子上為佳。所以後來 H. A. Wilson 氏又把上法加以改善，完全用陰荷的游子。他所用測定霧的下降速度的方法，起先單獨由於重力的作用，後來改用電場和重力的連合作用。這樣，他所得的結果當然較前更為準確。這樣測得各水滴上的電荷並不每次都是完全相等的，但是最小的電荷總是等於 4.770×10^{-10} [靜電單位]，或 1.591×10^{-19} [庫侖]，從來沒有比這更小的電荷。可見這便是基元電荷。數值和電解的結果（第 6 頁）相同。其他較大的電荷也都是這基元數值的倍數。

一九一〇年，Millikan 氏更把上述的凝霧法中的帶電小滴加以適當強烈的電場使它所受向上的力，和向下的重力相平衡而停留於空間，以便詳加觀察。他所用的儀器如第一圖所示。在一密閉不透空氣的匣中有二塊完全平面的金屬板 M 、 N 、互相平行，固定不能移動。上面一塊 M 板的中心處鑽有五個小孔。噴霧器的噴口恰罩在這小孔上面。沿着匣的周圍開着三個小窗 W 。第一個小窗外面置着強烈的弧光燈，金屬板間的任何物體都可給這強光所照耀着。第二個窗口外面置着 X 光管，當 X 光發射時，恰能射入 M 、 N 二板之間，而使這裏的空氣游離。第三個窗口外面置着短焦距的望遠鏡，可以窺測金屬板間的任何物體。 M 、 N 兩塊金屬板又各用導線接出匣外，使之維持着任何指定的電位差。匣內密閉空氣的溫度和壓力都可任意調節。壓力的調節可用抽氣機，任何時間的壓力可從氣壓計上讀出。溫度的調節可用溫池，圍着匣的外面(圖上並未示出)。



第一圖 Millikan 氏凝霧法裝置

這樣，可以維持着十分常定的已知壓力和溫度。

噴霧器中裝着最佳質的鐘表油，密度先行測定。極細的油沫從噴口噴出，有幾滴偶或穿過M板的小孔而落入兩板間的隔離空氣中。這些油滴上因此往往帶有電荷。兩板間沒有電位差時，油滴便以等速度下落（Stokes 氏定律）。在這裏我們完全可以任意選擇一個油滴而觀測它的下落速度 v_1 。這當然要比較以上諸法僅能觀察霧頂的下降可靠得多了。在這油滴還沒有降落到下板N以前，兩板間施以適當的電位差，使這帶電的油滴停止下落而反行向上運動。這便是說電場的力超過了重力。兩板間的電位差如果是 V ，距離是 d ，那麼電場的強度便是 $E = V/d$ 。油滴的質量是 m ，所帶的電荷是 q ，所以向上的電場力是 qE ，向下的重力是 mg 。這時油滴的向上運動受着 $qE - mg$ 的力的作用。按照 Stokes 氏定律，最後這向上的速度也是常定的。於是再把它數值 v_2 準確測出。

按照流體動力學的實驗，知道在粘滯媒質中運動物體的最後常定速度是正比於作用力的，所以

$$v_1 : v_2 = mg : (qE - mg) \quad (1-4)$$

嚴格說起來， m 是油滴的視質量，那便是說油滴的重力應該減去空氣的浮力，所以

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 (\sigma - \rho). \quad (1-5)$$

這式中 σ 是油滴的密度， ρ 是空氣的密度。油滴的半徑 a 仍舊用 Stokes 氏定律(1-3式)來計算：

$$v_1 = \frac{2}{9} \frac{ga^2(\sigma - \rho)}{\eta}. \quad (1-3)$$

從這三式中消去 m 和 a ，便得

$$q^{\frac{2}{3}} = \frac{9\eta}{2} \left[\frac{16\pi^2(\nu_1 + \nu_2)^2\nu_1}{9F_2g(\sigma - \rho)} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (1-6)$$

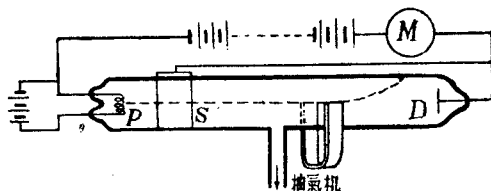
經過無數次精密的實測，所得油滴上的電荷 q 總是 1.591×10^{-19} [庫倫] 的簡單整數倍數。可見這便是基元電荷了。而且油滴有時帶陽電，有時帶陰電，這基元電荷的數值總是相同的。基元電荷通常都用 e 來表示。

這裏油滴上的電荷是由於空氣受到了 X 光照射而游離，和電解液中游子的產生是不同的。但是在這二種不同情形中，基元電荷竟有同樣的數值，這當然不能算是純出偶然。直到今日為止，比 Millikan 氏的方法是再也沒有更直接更精密的了；電的原子性從此得到最明顯的證據。

關於電解液游子和氣體游子的性質，在這裏也可附帶一說。游子是一個原子，或分子，或原子集團，帶着陽電荷或陰電荷 ne (n 是整數， $e = 1.591 \times 10^{-19}$ [庫倫])。通常 n 是小的整數。就電解液游子而言，這是集團的化合價；就氣體游子言，往往 $n=1$ ，很少有超過 3 的。

五 電荷的憑藉物 第二圖中的 P 是鉑絲， D 是金屬板，密封於玻璃管內的兩端。用抽氣機把玻璃管中的空氣抽去，使氣壓降至 1000 [毫米]。鉑絲和適當的電池組相接，電流通過時能使之白熱而發光。絲極和板極之間另接以乾電池組，電壓約為

200 至 300 [伏特]，電池組的陰極和絲極相連在一起。在這電路中插入微安培計 M 以測量電流。這時便見有電流發生，可見玻璃管中必有陰電荷從鉑絲的陰極流向金屬板的陽極，或者有



第 二 圖 陰極射線的彎曲

陽電荷反向流動。加強鉑絲的電流使之溫度增高，或者增加 P 和 D 間的電壓，微安培計 M 所示的電流都會因之增強。從此可知玻璃管內必有某種東西在運輸着電荷，而且這某種東西必定是從白熱的鉑絲上發出，因為它的多寡是取決於絲極的物理狀況（溫度）的。倘若把絲極和電池組的陽極相連在一起，使絲極成為陽極而金屬板成為陰極，那麼無論絲極溫度怎樣高，就不會有電流了。或者鉑絲雖是陰極，但溫度不高，僅成紅熾而並不白熱發光，那電流也會停止的。

要解釋上面所說的現象，最好是假定有陰電荷從陰極的鉑絲發出，由於 P 和 D 間的電場作用，所以從陰極給驅到陽極。這個假設更可用下面的實驗來證實。仍舊用第二圖的玻璃管，在靠近鉑絲 P 處另外裝入兩塊平行的金屬板 S ，中心處各穿一小孔。玻管內的氣壓約在 $\frac{1}{100}$ [毫米]，再作上面的實驗。這時

可見有一縷略帶藍光的射線從S的小孔展延到陽極成一直線。管外如果置有馬蹄形磁鐵，如圖中所示，這一縷藍光便會因之彎曲。彎曲的方向有時向上，有時向下，跟着磁力線的方向而變。

在電磁學中，我們都知道有電流通過的導線置在磁場中時，導線會受到力的作用，這力的方向總是同時垂直於磁力線方向和電流的方向。在上面的實驗中，我們已經知道玻璃管中是有電流的。那一縷藍光的射線既然會給磁鐵的磁場所彎曲，可見這藍光一縷必是流動着的電荷所引起的。而且磁鐵的左邊（向着陰極的一面）未見彎曲，可見電流確是從陰極流向陽極。倘若電流是陽電荷從陽極發出而流向陰極，那麼在沒有到達磁場以前（磁場的右邊），藍光也不應該彎曲，到了磁鐵的左邊，應該有彎曲的部份了。從此我們可以得到結論：鉑絲在高溫度時有陰電荷發出，鉑絲本身是陰極而對方的金屬板是陽極時，這些陰電荷便奔向陽極而成電流（稱為陰極射線）。鉑絲本身是陽極時，發出的陰電荷不能遠離陽極，所以沒有電流。

現在我們可以提出一個問題來：“電荷究竟是憑藉着什麼東西而能在玻璃管中移運的呢？”這憑藉物決不是氣體，因為在第一個實驗中，即使把管中的空氣抽除盡淨，所見的現象還是一樣的。所以要回答這個問題，我們必須把上面的實驗稍加改變，以觀察其它的效應。如果把加熱鉑絲用的電池組撤去，

而增高兩極間的電壓，那麼陰極的溫度雖低，管中也會有電流產生的。譬如說用 20 [厘米] 長的玻管，管中的空氣抽至 $\frac{1}{1000}$ [毫米] 的氣壓，兩極間用感應圈來施以 50 至 100 [仟伏特] 的電壓，便可得若干 [微安培] 的電流。不用鉑絲而改用另一金屬板亦可。這便是 Crookes 氏的真空放電管了。在這管中還可見有他種現象。玻璃會發螢光，尤其在陽極附近更為顯著。管的中央如果裝有屏障，玻璃上的螢光亦現屏影。這影竟和陰極本身是一個發光體時受屏障所遮蔽而成的影完全一樣。玻璃上的螢光是由於陰極射線電荷的憑藉物撞擊玻璃而生。這裏既然也有屏影出現，可見這些電荷的憑藉物必定沿着直線前進；但是遇到外來的磁場時，它們的直線路徑便因受到磁場的力而彎曲。這些電荷的憑藉物在管內還能夠作工。譬如說管內置有小型的風車狀物體，要是它的支持軸很易在架上滾動，那麼當陰極射線照射時，這種電荷的憑藉物竟可打擊在風車的風翼上而使之轉動。

以上的種種實驗，只要假定都是由於陰極上發出無數運動極快的物質小粒，各帶着陰電荷，便可解釋。沒有磁鐵在旁時陰極射線的直線放射是因為這些物質小粒的慣性（Newton 氏第一定律）。受到磁場的作用力時便按照 Newton 氏第二定律而偏向。而小型風翼的轉動可算得是由於物質小粒動量變化所生的反作用力（Newton 氏第三定律）。可見電荷的憑藉物是物質性的小粒。除了這樣假定以外，沒有其它方法可以解釋上