

從古典物理學到量子力學

朱 洪 元



中華全國科學技術普及協會出版

從古典物理學到量子力學

朱 洪 元

中華全國科學技術普及協會出版

一九五五年·北京

科 普 小 冊 子

- | | | |
|-------------------|---------------------|------|
| 原子能通俗講話 | 原子能通俗講座組織委員會著 | 1角6分 |
| 原子能及其應用 | И.А. 納烏明柯著 | 2角 |
| 原子和原子能 | A. 布亞諾夫著 | 1角4分 |
| 原子能 | 趙忠堯著 | 9分 |
| 物質的一般性質 | 陳文熙著 | 1角2分 |
| 物質的放射性 | K.B. 扎波連科著 | 2角3分 |
| 放射性同位素在工業上的應用 | M.B. 聶依芒著 | 1角1分 |
| 超聲波及其應用 | Л.Д. 羅森別爾格著 | 1角6分 |
| 太陽能的利用 | B.B. 別圖霍夫著 | 1角3分 |
| 土工物理學(用於水利工程的物理學) | | |
| | Г.И. 波克洛夫斯基著 | 1角6分 |
| 催化作用和化學工業 | Л.А. 尼科拉耶夫著 | 1角6分 |
| 煤的地下氣化 | И.Л. 法爾別羅夫 P.H. 比爾著 | 1角1分 |

出版編號: 158

從古典物理學到量子力學

著 者: 朱 洪

責任編輯: 莫

出 版 者: 中華全國科學技術

(北京市文津街三號)

北京市書刊出版營業許可證

發 行 者: 新 華 書

印 刷 者: 北 京 市 印 刷

(北京市西便門大街乙一號)

開本: 31×43

印張: 1

字數: 20,000

一九五五年五月第一版

印數: 9,500

一九五五年五月第一次印刷

定價: 1角3分

本書提要

一切科學都不斷地發展着，更新着，物理學也是這樣。

從十六世紀到十九世紀，舊物理學也就是古典物理學發展到很高的境地，解決了許多自然科學和技術科學中的問題，人們以為物理學已經發展到了頂點。

但是古典物理學在空腔輻射，光電效應，氣體比熱等問題的研究中遇到了困難。經過許多物理學家的努力，克服了這些困難，發現了微觀世界中，物質普遍地具有着粒子和波動的兩重性的量子論。在這基礎上，創造了量子力學。

從發現量子力學的年代起，直到現在，時間不過三十年，量子力學在研究原子和分子的構造，研究電子、原子和分子的運動，研究原子核的構造和運動上，都得到很大的成就。它還可以解釋固體的導電性，導磁性，光學性質以及其他許多性質。爲了研究宏觀物體的性質，物理學家發展了量子統計力學。

對所有從古典物理學到量子力學發展中的重要環節，在這本小冊子裏都作了概括的介紹。適合於具有高中以上科學水平的幹部閱讀。

出版者的話

這本小冊子所談的問題比較抽象，因此，希望讀者作較多的思索。在物理學中的許多規律，常常用數學的形式來表達。用數學的好處，是表達得不但簡單，而且精確。但是，對不熟悉數學的讀者說來，用數學來表達的規律是難於理解的。我們在這本小冊子裏將儘量不用數學。可是，那些最重要的規律，還用數學方程式和公式來表達。我們並且將那十分重要而又複雜的公式，放在附註裏，以備讀者參閱。這不是希望讀者理解規律的數學技術性的細節，而是爲了敘述的方便。我們將在書中講清這些方程式和公式所包含的實際意義，也祇希望讀者能懂得這些意義，因此建議讀者在達到數學方程式和公式的時候，不必多化時間去研究那些數學符號的意義，而要注意文中所敘述的那些方程式和公式的實際內容。

目 次

什麼是「古典物理學」和「量子力學」.....	1
古典物理學的主要內容.....	3
古典力學	
古典電磁學	
分子運動論和古典統計力學	
古典物理學的成就	
古典物理學的困難.....	9
空窖輻射	
光電效應	
氣體比熱	
量子論的興起.....	13
蒲朗克的假設	
光子	
量子論的意義	
物質的波動性	
物質的粒子和波動兩重性的意義	
本章討論的結論	
量子力學的發現.....	17
光線的意義	
薛定諤的波動方程式	
量子力學的實質.....	22
力學量、本徵值和微觀世界的量子性	
態和微觀世界的統計性	
本徵態和測不準關係	
態如何隨時間而改變	
量子力學的成就、困難和發展前途.....	28
量子力學的成就	
量子力學的困難和發展前途	

什麼是「古典物理學」和「量子力學」

大家都知道有「物理學」這樣一門學問，但是，未必知道什麼叫「古典物理學」和「量子力學」。有些人雖然知道古典物理學和量子力學這二個名詞，却不知道這二門學問討論的是些什麼問題。因此，在看到這本小冊子的時候，首先會問：什麼是古典物理學呢？什麼是量子力學呢？

我們日常所接觸到的物體，都是由原子構成的，而原子又是由原子核和電子構成的。原子、原子核、電子都非常小。將原子放大一百萬萬倍，才有人那麼大。而原子核則要放大一百萬萬萬倍，才能和人的大小差不多。通常我們將我們的感覺器官所不能直接感覺到的微小的物體和現象叫做「微觀物體」和「微觀現象」，而將這些物體和現象的總體叫做「微觀世界」。我們又將我們的感覺器官所能直接感覺到的比較大的物體和現象，叫做「宏觀物體」和「宏觀現象」，而將這些物體和現象的總體叫做「宏觀世界」。我們不能直接感覺到電子、原子、分子等微粒以及這種微粒的運動，因此，這些都是屬於微觀世

界的。在我們日常生活中所接觸的事物，例如：椅子、花草、太陽照耀、植物生長等等，都是屬於宏觀世界的。

人們最先研究的對象，常常是自己在日常生活中所接觸到的事物。換句話說：人們最先研究的，常常是宏觀世界的各種現象。物理學也是這樣。譬如：在中學物理教科書上所說到的槓桿、磁石、摩擦生電等，都是日常生活中看到的事物。從遠古起，人們已經研究這種宏觀世界裏的物理現象，物理知識便逐漸累積起來。但是，物理知識的迅速增長，並成爲一門科學，還是十六世紀以後的事，從那時起，三百多年來，物理學發展成爲一套相當完整的理論。用這套理論來解釋宏觀世界中的許多物理現象，取得了很大的成就。我們現在稱這一套理論爲「古典物理學」。在中學裏所學的物理，主要就是古典物理學。古典物理學對推進生產的發展起了很大的作用。無論機械、電機、無線電、航空等工程學，都以古典物理學爲其主要基礎之一。在十九世紀末，許多物理家曾爲古典物理學的煌輝成就所迷惑，他們都認爲：古典物理學是一切物理現象所服從的規律，物理學已經發展到了頂點。

但是，自然遠比人們的想像能力豐富而深刻。隨着生產技術的提高，儀器也日益改進，人們能够研究的範圍，也一天比一天擴大。以前無法研究的電子、原子、分子也可以研究了。因此，人們不久就發現：古典物理學並沒有把所有的物理原理都包括了進去，也不是所有的物理現象全都服從古典物理學的規律。首先，微觀世界中的物理現象就不服從古典物理學的規律。舉個例來說罷：月亮繞地球運行是服從古典物理學的規律的，飛機的飛行是服從古典物理學的規律的，但是，電子在原子

中運行，並不服從古典物理學的規律。經過幾十年的研究，人們發現了微觀世界中物理現象的規律。這規律叫做「量子力學」。

古典物理學的主要內容

中學物理教科書的內容通常包括力學、熱學、電磁學、聲學和光學五個部份，這五個部份也就是古典物理學的基本內容。這些部份還可以合併而總結成為三個方面：

- 1) 古典力學
- 2) 古典電磁學
- 3) 分子運動論和古典統計力學

這三個方面的理論，主要討論些什麼呢？

古典力學

古典力學討論的，是關於物體的機械運動的理論，這個理論是英國人牛頓在十七世紀總結並發展了前人的工作，而明確地提出來的。什麼叫做機械運動呢？輪子旋轉是機械運動，槍彈破空而過是機械運動，月亮繞地球運行是機械運動，水在河裏流也是機械運動。總起來說：物體在空間變更它的位置和方向的運動，都叫做機械運動。我們在日常生活中，無時無刻不看到這種形式的運動。這是一切運動中最低級形式的運動，也是自然界最普遍的運動。古典力學就是討論這種最普遍的運動的理論，就是關於物體在力的作用下，在空間如何變更它的位置和方向的理論。

牛頓首先認為：假使物體不受外力作用，那末它那重心的速度就不會改變。重心本來靜止的物體，不受外力作用，重心便繼續靜止不動。重心本來以每秒鐘三十公里的速度運動着的

物體，不受外力作用，便一直以三十公里的速度運動着，而且連運動的方向也不會改變。或許有人要問：為什麼石子在地上滾，我們不用力去把它阻擋，它的速度也會愈滾愈慢，終於停止呢？原來人雖然沒有用力去阻擋石子，但是地面上却有摩擦力在那裏阻擋住石子的前進，所以，石子就會愈滾愈慢。假使地面上沒有摩擦力，石子便停不了。例如：冰面上摩擦力很小，石子便可以在冰面上滾得非常遠。

另外，牛頓還認為：假使作用於物體的外力愈大，那末物體的速度也改變得愈快。我們稱速度在一秒鐘內所改變的數量為「加速度」。因此，我們也可以說：外力愈大，物體的加速度也愈大。在另一方面，牛頓認為：假使有質量大小不同的兩個物體，受同樣大小的外力作用，那末質量小的物體的加速度大，質量大的物體的加速度便小了。

以上所說牛頓的理論，可以總結在下面的公式裏：

$$\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}, \quad (1)$$

即 $F = ma$

式中 F 代表外加的力， m 代表物體的質量， a 代表物體重心的加速度。從上面的式子可以看出：加速度和外力成正比，和物體的質量成反比。假使外力等於零，那末加速度也等於零，速度便不會起變化。這就是古典力學的反映機械運動規律的公式。我們知道了一個物體在不同的位置所受到的不同外力，就可以利用這個公式，推導出它的機械運動。

古典電磁學

我們知道，通常的物體是由分子構成的，分子又由原子構成，而原子又由電子和原子核構成。電子和原子核不僅帶電，

而且還具有磁性，就像非常小的磁石。因此，通常的物體包含着無數個非常小的粒子，這些粒子既帶電而又具有磁性。但是，爲什麼在通常的情況下，物體並不顯得帶電和具有磁性呢？這是因爲：一方面，電子帶的陰電和原子核帶的陽電恰巧中和；另一方面，無數電子和原子核的方向各不相同，就像無數個很小的磁石雜亂地放在一起，它們的磁力都相互地抵消了。假使甲乙兩物體互相摩擦，甲物體中的許多電子被乙物體帶走，那末甲物體中所有電子帶的陰電，便比所有原子核帶的陽電少，甲物體便會顯得帶陽電。乙物體中所有電子帶的陰電，也因此比所有原子核帶的陽電多，乙物體便顯得帶陰電。磁鐵具有磁性，是因爲磁鐵裏有許多好像極小的磁石一樣的電子存在，而那些電子的方向很大一部份是相同的，因此磁力沒有完全抵消，所以能表現出磁性來。

通常的物體既然都是由那些帶電的而且具有磁性的微小粒子組成，所以，電磁現象成爲自然界最普遍的現象中的一種，也就毫不足怪了。電磁學就是關於這一種自然界最普遍的現象的理論。經過了許多人長期的研究，古典電磁學終於在十九世紀建立了起來。

關於電磁現象，許多人都知道它同性相斥、異性相吸。但是，產生這種現象的原因在什麼地方呢？隔着一段距離怎麼還能彼此吸引和排斥呢？我們要一個球動可以踢它一脚，但是總得腳踢到了球，球才能動。儘管人怎樣使勁踢，假使腳和球之間老有一段距離，腳沒有踢到球，球是不會動的。當然，人可以接觸羽毛，將羽毛吹得飛起來。但是，雖然人沒有碰着羽毛，人吹出去的空氣却碰着羽毛，將羽毛帶着飛起來。假使沒

有任何東西接觸到羽毛，羽毛是不會動的。但是兩塊磁鐵，即使在真空之中，甚至中間用板子將它們隔開，還能夠相吸、相斥。這是什麼道理呢？

經過許多年研究和討論，人們發現帶電或具有磁性的物體，能夠放出一種物質瀰漫在四圍的空間，也從四周的空間吸收這種物質。物理家稱這種瀰漫在空間的物質為「電磁場」。在通常的情況下，電磁場是看不見，摸不着，嗅不出，聽不到的。好像很多人生活在空氣中而不察覺空氣的存在一樣。但是電磁場碰到帶電或具有磁性的物體，便會以一定的力作用於這些物體上。這樣，人便可以察覺空間有這種電磁場存在。根據這種理論，帶電或具有磁性的物體間雖然隔着一一定的距離，仍然能夠相吸、相斥的道理，也就容易理解了。人通過空氣吹動羽毛。和這情況相像，帶電或具有磁性的物體，通過它們放出或吸收的電磁場，而相互影響，相互作用。

在日日常生活中，我們和電磁場的接觸是非常頻繁的。電磁場這種瀰漫在空間的物質能夠作波浪般的運動。我們稱波動着的電磁場為「電磁波」。無線電波就是這種電磁波。二個波峯之間的距離叫做「波長」。通常無線電波的波長很長，有長到幾百公尺，幾千公尺的，最短的也有十幾公尺。通常眼睛看到的光也是電磁波的一種，不過波長很短，祇有一厘米的二萬分之一左右。X射線也是電磁波，祇是波長比普通光的波長更短而已。

經過許多人長期的研究，人們發現了電磁現象所服從的主要規律。這些主要規律可以總結在兩套數學方程式裏（註一）。這兩套方程式就是帶電的物體、電場和磁場彼此間如何相互聯系和相互制約的規律的數學形式。這些方程式不僅概括了同性

相斥、異性相吸的原理，而且也概括了天線如何放送和接收電磁波的原理，概括了電磁波如何在空間傳播的原理，概括了電動機和發電機的原理。

分子運動論和古典統計力學

微觀世界中的物體，即使小如針尖，都是由大數量的原子和分子構成的。假使我們觀察物體的物理運動的每一個方面，包括它內部每一個分子的運動，那末我們將發現：全部運動是複雜到極點的。讓我們看一看一個小小的乒乓球裏面空氣的運動罷！首先，裏面就有將近十萬萬萬萬萬個氧和氮的分子。這些分子各以不同的速度運動着。而且速度非常大，平均起來每點鐘跑一千五百公里左右。它們不斷地相互碰撞。假使我們跟着一個分子跑，那末我們將發現，一個分子在一秒鐘內大約要和別的分分子碰撞五十萬萬次。和一個乒乓球中的空氣的全部物理運動比較起來，一大窠掉在熱鍋子裏的螞蟻的活動實在太簡單了。別說一個乒乓球內部全部空氣分子的運動不容易弄清楚，即使其中一個分子的運動也是複雜到極點的。

但是在另一方面，宏觀物體却具有明確的、簡單的宏觀物理特性。一定份量的氣體，在一定的溫度和壓力下佔據着一定的容積。一定的物體有一定的比熱、導電率、導磁率……等等物理性質。怎樣從複雜到極點的內部分子運動中，結晶出宏觀物體的一定的宏觀物理性質，就是分子運動論和統計力學的任務。雖然到目前為止，分子運動論還處在很原始的階段，但統計力學在十九世紀末已經發展成爲一套完整的理論。因爲這套理論是以古典力學爲基礎的，所以叫做「古典統計力學」。

許多人更感到難於理解：一個物體內部運動這樣雜亂，甚

至比整整一大窠掉在熱鍋裏的螞蟻還要雜亂得多，怎樣能夠具有完全明確的、簡單的宏觀物理特性呢？仔細想來，其實這也並不太奇怪。在這裏試讓我們來研究一下：乒乓球中的空氣，怎樣能以一定的壓力，作用在乒乓球壳上呢？

乒乓球中的空氣分子既然到處亂撞，那末它的速度一定不斷地變更。假使我們祇觀察其中某一個空氣分子，便會發現它一回快、一回慢、一回向左、一回向右到處亂跑，偶而撞在球壳上，球壳才受到這個分子的一點壓力。這個分子跑得快，撞得重，壓力便大些；跑得慢，撞得輕，壓力便小些；假使這個分子許久祇在別的分間亂撞而沒有撞到球壳，球壳便許久根本不受這個分子的力。所以假使我們祇觀察一個空氣分子的運動，便會覺得球壳經受壓力是偶然的。

假使我們觀察球壳中全部空氣分子，便會發現情況不同了。首先，每秒鐘準有一定數量的分子往球壳上撞。因為個別分子在什麼時候往球壳上撞雖然是偶然的；但就球壳內空氣分子的全部看來，這個分子不撞在壳上，那個分子便會撞在壳上，任何時候總有一定數量的分子往球壳上撞。正如大街上的一家百貨公司，個別顧客買不買東西是偶然的。但是，去查一查這家公司的賬簿，便會發現：這家公司每月總要做一定數量的生意，總有一定數量的顧客上門去買東西。

雖然個別分子撞在壳上的快慢是偶然的，因此，撞的輕重也是偶然的；但是，就全部撞到球壳上的分子看來：這個分子慢，撞得輕，那個分子快，撞得重，平均起來，撞在球壳上的總份量總是一定的。也好像百貨公司裏的顧客，有的買得多，有的買得少，但總起來每月營業額還是差不多的，因此，由於球

壳裏空氣分子多，個別分子運動的偶然性相互抵消，而作用於空氣分子和球壳之間帶有必然性的力學規律便出現了。根據古典力學，可以從空氣分子的質量、空氣分子的平均速率和每秒鐘撞在球壳上的分子的數目，精確地計算出球壳所受的一定的壓力。

分子運動論和統計力學，就是根據作用於個別分子和分子間的物理規律，從億萬個帶有偶然性的個別分子的運動中，推斷出宏觀物體的完全確定的宏觀物理性質。由於日常生活中所接觸到的物體幾乎都是宏觀的物體，最少也由億萬個分子所構成，所以日常生活中所遇見的物理現象幾乎沒有一種不是和分子運動論和統計力學有密切關係的。

古典物理學的成就

在現代生活中，隨處都可以看到古典物理學成就的標誌。從家庭裏用的電燈和收音機，到工廠裏用的蒸氣機和電動機；從天空中飛的飛機到公路上跑的汽車；從照相機到顯微鏡，都是古典物理學成就的標誌。古典物理學將隱藏在宏觀世界中千變萬化，形形色色的物理現象內部的許多最本質的東西發掘了出來，揭露了它們之間的普遍聯系，尋找出它們的運動和發展的規律。人類廣泛的實踐證明了這些古典物理學所發現的本質、聯系和運動及發展的規律，在極大的範圍內具有真理的性質。

古典物理學的困難

但是，古典物理學的勝利是並不完全的。到十九世紀末，已經有許多物理現象，是古典物理學所無法解釋的。根據古典

物理學計算所得和實際情況並不附合。在下面我們舉三個這樣的例子。

空窖輻射

假使將煉鋼的平爐門打開，便可以看到滿爐通紅。即使人站得相當遠，臉也會突然感到熱。根據古典物理學，似乎也不難解釋這種現象。溫度高了，物體內部的電子振動得快了，便放出大量電磁波來。波長短的電磁波就是我們看到的通紅的光。波長長的就是紅外光，眼睛看不見，但是射到皮膚上，皮膚便感到熱。這便是我們的臉突然感到熱的道理。爲了方便，不論眼睛看得見的光也好，紅外光也好，紫外光也好，我們給它們一個總的名稱，叫它們爲「輻射」。在爐子內部的空間充滿了各種波長的輻射。由於爐子的內部像一個空窖，所以我們稱爐子內部空間的電磁波爲「空窖輻射」。

電磁波是物質存在的一種形式，它也具有一定的能量。我們時常看到物體吸收了很多光線，溫度便會上升。這就是因爲蘊藏在光中的能，轉化爲熱能的緣故。因此，空窖輻射必定具有一定的能量。有人使用古典物理學，去計算空窖輻射的能量到底有多大。計算的結果，空窖輻射的能量是無窮大的。這和實際情況完全不符合。根據能量守恒定律，我們知道空窖輻射的能量不會無中生有地產生出來。我們便要問：這無窮大的能量是從那裏來的呢？這問題的回答是顯而易見的。空窖輻射之所以產生是因爲爐子熱。爐子的溫度爲什麼這樣高呢？那是因爲燃料在燃燒。因此，空窖輻射的能量一定是從燃料中所蘊藏的能量轉化來的。但是，將爐子燒到一定高的溫度，祇用了一定數量的燃料，並不需要用無窮大量的燃料。因此空窖輻射的

能量也決不可能無窮大。所以從古典物理學推出來的空窖輻射的能量是無窮大的結論是錯誤的。

光電效應

我們在上一章已經說過：電磁場能以力作用於帶電的物體。光是電磁波，是電磁場的一種形式，當然也能够以力作用於帶電的物體。果然，在十九世紀末和二十世紀初人們發現光照射在物體上，能够將物體中的電子打出來。這個現象叫做「光電效應」。人們仔細地研究了光電效應，發現許多事實，和那些從古典物理學推出的結論相互矛盾着。

根據古典物理學的理論，光愈強，電磁場愈大，作用於物體中電子的力愈大，打出來的電子愈快。但是，實驗結果並不是這樣。事實是：如果照射在物體上的光的波長不改變，不論將光的強度增高到什麼程度，打出來的電子的速度並不改變。祇是打出來的電子的數目，隨着光的強度而增加。如果將波長比較短的光照射在物體上，打出來的電子的速度便增高了。假使光的波長長過某一限度，那末，無論怎樣增加光的強度，都不會打出電子來。古典物理學完全沒有能力來解釋如下面的一些問題：為什麼光的波長很短，打出來的電子的速度便大？為什麼增加光的強度而不改變光的波長，却不能增加被打出來的電子的速度？

氣體比熱

熱是能量的一種形式 所謂物體熱了，其實就是構成物體的分子在那裏運動得更快罷了！試看皮球裏的空氣罷！當皮球熱時顯得硬些，皮球冷時便顯得軟些。原因在什麼地方呢？原來皮球裏的空氣分子在不停地飛跑，不停地旋轉。溫度愈高，