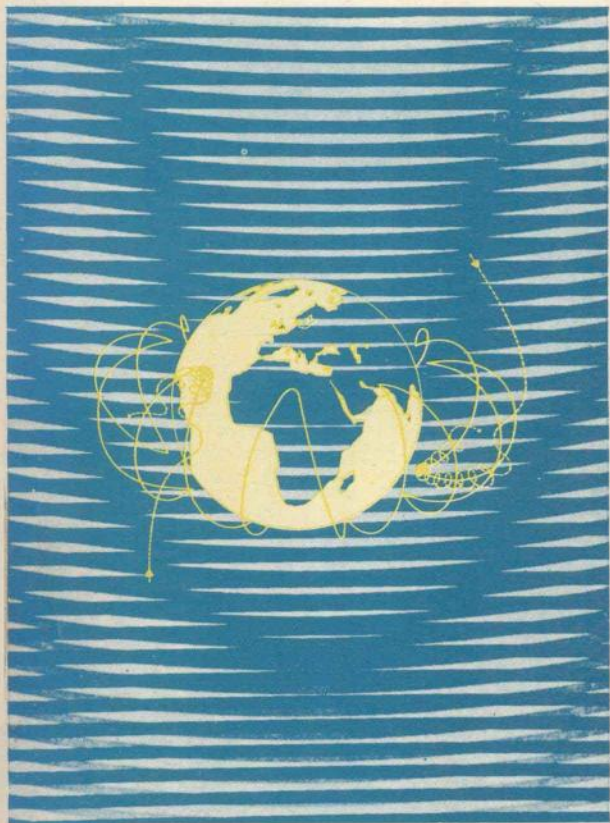


知識小文庫

奇妙的等離子體

薛思新編著·真知出版社出版



THE
PLASMA

奇 妙 的 等 離 子 體

薛思新編著

真知出版社出版

奇妙的等離子體

編著者：薛 思 新

出版者：真知出版社

香港北角馬寶道66號二樓

承印者：劭華文化服務社

九龍官塘偉業街一一六號聯邦工業大廈二樓

定價：港幣三元八角

版權所有 * 不准翻印

(一九七八年三月版)

前 言

許多人都知道，在自然界中的物質，有固體、液體和氣體三種形態，稱爲物質三態。其實，物質不只有三態，依照目前所知，還有第四態、第五態。將來說不定還會發現第六態呢！

物質第五態是什麼？人們稱之爲超固體狀態。這種超固體狀態有一個特點，就是比普通固體物質的重量重得多，一塊像火柴一樣大小的超固體物質，其重量可能達幾公噸。試想，如果將來人們能夠利用這種物質，至少將使到工業建設方面大爲改觀。

同樣，對物質第四態的利用，人類科學技術的發展也將創造新的紀元。

第五態物質尚未爲人們所利用。第四態物質的利用却已經在研究之中。

第四態物質是什麼呢？人們稱之爲等離子體。這種物質似氣體而非氣體，故又稱爲超氣體。它和氣體主要不同的地方是：氣體中的每個原子都是完整的，每個原子都有一個原子核和圍繞着原子核而

運動的若干電子。而等離子體中的所有或大部分原子，則是原子核與電子互相分離。電子是帶負電荷的，而原子核却是帶正電荷。這些帶電的粒子，我們就叫它做離子。正因為這樣，等離子體和一般氣體另一個不同的地方就是：前者會導電而後者不導電。

這就是對於物質第四態——等離子體最簡單的解說。

目前，專家們對於等離子體的研究，主要是如何利用它來發電，如何利用它作為太空火箭的動力，以及利用它進行熱核聚變，讓核子能作為和平用途。如果研究成功，人類不但能夠飛出太陽系，從事星際航行，而且可以解決未來的能源問題。

這個小冊子是蒐集最新資料，對於等離子體的特性、用途和目前各國對這物質研究的情況，作了簡要的介紹。這對於愛好科學的讀者，相信是有所幫助的。

不過，筆者水平有限，編寫時可能有不少差錯，希望讀者指正是幸。

薛思新

一九七八年春於香港

目 次

前 言	1
一、物質第四態	1
分子和物質三態	2
氣體中的電子與等離子體	8
電離作用和等離子體	11
等離子體與宇宙	17
二、等離子體發電	22
磁流發電機的性質	24
磁流發電機的效率	28
磁流發電廠	35
磁流發電研究工作的新發展	40
三、等離子體與太空飛行	45
重返大氣的問題	46
太空飛行中的防輻射問題	50
火箭的電力推進問題	54
高功率等離子火箭	63
四、利用等離子體進行熱核聚變	67

熱核聚變的過程.....	69
聚變反應的實驗及其設備.....	75
熱核聚變發電及其他.....	85

一、物質第四態

許多物理教科書在談到物質形態 (States of matter) 時都說物質只有三態，那就是固態 (Solids)、液態 (Liquids) 和氣態 (Gases)。其實不然，這種說法在目前看來已經不確切並且是過時的。實際上物質除以這三種形態存在以外，還有其他形態。照目前所發現的，還有等離子 (Plasma) 形態和超固體 (Supersolid) 形態。特別是等離子體是現代工業中很重要的物質，本書就是介紹這種物質。

人們把等離子體稱為物質第四態。這物質第四態究竟有什麼特點呢？它和固體、液體及氣體之間到底有什麼分別呢？

等離子體看起來像氣體一樣，而其作用在許多方面也和氣體相似，但等離子體比氣體稀薄得多，而它們之間的主要區別在於等離子體是一種導電的氣體。

乍看起來，這種差別似乎無關緊要。但且慢下此結論，關係大得很呢！整個宇宙正是由這些物質建立起來的。我們熟悉的太陽就是一個巨大的等離

子球。在浩瀚無邊的宇宙中，類似的等離子集合體是不計其數的，而且它們實際上是宇宙的主要成分。

等離子體和人類的未來息息相關。它們將給人類帶來取用不盡的能源，發電、核聚變 (Nuclear fusion)、太空航行等等都將在很大程度上依賴等離子體。這些並非憑空胡言，本書的主要目的就是簡單介紹世界等離子體研究的初步成果。當然這項研究的歷史不長，成果仍然寥寥可數。但等離子體的重大意義卻已在研究中逐漸顯示出來。

要了解等離子體的性質，那就得從物質的其他三態談起，從組成這三種物態的各種粒子，如分子、原子、電子、質子、中子等談起。

分子和物質三態

如所周知，一切物質都由原子 (Atom) 組成，原子組合而成較大的單位，則稱為分子 (Molecule)。最簡單的分子有氧 (Oxygen) 或氮 (Nitrogen) 的雙原子組合。但有的分子則非常複雜，如脫氧核糖核酸 (Deoxyribonucleic acid DNA) 分子的雙螺旋 (Double helix) 結構，裏面含有成百萬個原子；不過這種結構卻是地球上一切生物最基本的結構。

在固體裏，分子固定排列在稱為晶格 (Lattice)

的一種晶體結構中，它們能夠振動，但仍留在原晶格裏不移動。這種情況恰如坐滿學生的教室一樣，學生們都坐着聽課，做作業，雖有個別學生坐立不安，但卻沒有人離開座位。

以固體冰作為例子，它被加熱後溶解成水，原來的晶體結構在液態中已不復存在，所有分子四處移動。這就好像上述那個教室的桌椅已搬出室外而學生們在自由走動一樣。

把水繼續加熱時，水蒸發而成蒸汽，這種氣體中的分子各自獨立活動，向四面八方擴散。分子之間除了碰撞以外互不影響。再運用上述比喻，這就好像學生放學後紛紛湧出教室，各自回家一樣。

由冰變水及水變蒸汽的例子中，我們可以注意到，要把固體變液體或把液體變氣體必須有個先決條件，那就是要有能 (Energy) 在其中起作用。這裏的能是以熱 (Heat) 的形式存在的。熱能是最容易產生並利用的能源形式之一。

古人相信宇宙由泥土、水、空氣和火等四種物質組成。古代科學家亞里士多德 (Aristotle) 試用一種簡明淺顯的方式描述宇宙。他把這四種物質由下至上循序排列，最重而流動性最小的泥土在底部，接着是流動性依次增大的水和空氣。空氣上方是「火」，其中有耀眼的陽光、閃電和微弱的星光等。

這種排列基本上符合科學邏輯，因為固體、液

體和氣體都已正確按照能的含量次序排列。當時不知有等離子體，但亞里士多德所指的「火」基本上可以算是等離子體。

直到十九世紀末，科學家才開始想到可能存在着第四種物態，即等離子體。他們先掌握了兩種知識才能了解等離子體，首先是普通氣體物理學(Gas physics)，其次是電磁力學 (Electromagnetics)，例如在閃電的研究上，等離子物理學就把氣體物理學和電磁學結合起來。

氣體物理學的研究像其他物理學一樣，從十七世紀開始。當時一位科學家證明氣體如同固體和液體一樣是有重量的。這種論點在那時是不可思議的。這位科學家是伊萬克里斯達·多里西利 (Evangelista Torricelli)，他根據這個理論發明了氣壓計(Barometer)，它至今仍是氣象預報的基本工具。

十九世紀以後，科學家才創立了氣體動力學說(Kinetic theory of gases)，它的論點可歸納為四個方面：

第一個論點是氣體由非常大量的質點或粒子(Particles)組成。以前大多數人相信，氣體是由變幻無常的毫無內部結構的物質組成的。表面上看來，氣體的確不像是由粒子組成的，因為它們沒有粒狀的感覺。然而從羅伯特·博伊爾 (Robert Boyle 1627~1691) 的有關實驗開始，科學家漸能證明，氣體確有大量極其微小的粒子組成。在攝氏零度和

一大氣壓下，每立方厘米空氣中就有二千四百五十億億（即 2.45×10^{19} ）個分子。

大多數普通氣體由分子組成。而氦(Helium)、氖(Neon)和氬(Argon)等少數氣體則由原子組成，這些惰性(Inert)氣體非在特殊條件下不會形成分子，因此也叫做原子氣體(Atomic gases)。

空氣是許多元素和化合物的混合體。它含有約80%的氮(N_2)、近20%的氧(O_2)、數量不定的水蒸汽(H_2O)，以及少量二氧化碳(CO_2)及氫(A)、氖(Ne)和氙(Krypton(Kr))等惰性氣體。

第二個論點是：氣體中的分子不規則地永恆運動着，而這種運動可用牛頓(Newton)定律說明。對此作了最引人注目證明的是蘇格蘭植物學家羅伯特·布朗(Robert Brown 1773~1858)。1827年他用顯微鏡觀察花粉的微小孢子時，發現它們在不停運動着。他起初以為有某種內在生命力在攪動孢子，但後來他又發現灰塵微粒和煙灰也在不停運動。

其實在這種情況下，孢子正被那些在顯微鏡下見不到的氣體分子推來擠去，這種運動就稱為「布朗運動(Brown Motion)」。

氣體中的分子都在不停猛烈運動。在攝氏零度下的空氣中，分子的運動時速高達一千六百公里。一個分子在與鄰近分子相撞前它似乎寸步不移。可是在每立方厘米有二千四百億億個以上的分子的情

況下，即使非常微小的粒子必然也會不停相撞而移動。

在攝氏零度和一大氣壓標準情況下，分子間的平均間隔只有 3.34×10^{-7} 厘米左右。一秒鐘內一個分子會同鄰近分子發生五十億次相撞。它們只平均移動 10^{-5} 厘米就相撞了。分子在兩次相撞之間移動的平均距離稱為分子的平均自由行程（Mean free path）。

雖然一個分子在猛烈碰撞的運動中可能移動不遠，但所有分子運行的總距離卻非常驚人。在一秒鐘內，一立方厘米空氣中的所有分子總共運行了將近一千三百億億（ 1.3×10^{19} ）公里，這大約比太陽與隔鄰的恆星之間的距離遠了三十萬倍。

第三個論點是：分子都極小，因此所有分子所佔的實際容積只是該氣體所佔空間的一小部分。拿氧來做例子，氧在地球上的普通情況下是一種氣體，但如果把它冷凍到攝氏零下 183 度時，氧就會變成液體。即使兩者的分子數量相同，但液氧容積比氧氣容積少了將近八百倍。

氧分子的直徑是 2.4×10^{-8} 厘米。假設你能用一部超級相機攝下一張閃電式的氧氣照片，你就會見到成十億計的分子懸浮在空間中，它們之間空無一物。但因為分子猛烈運動，氣體所佔的空間更要大得多。

第四個論點是：氣體中的分子好像彈性皮球一

樣，除碰撞外，它們之間沒有吸引力或排斥力。能 (Energy) 在分子碰撞時可從一分子移到另一分子上，但運動能量並無損失。

當兩分子碰撞時，它們之間的總能量在碰撞前後都保持一樣，但在碰撞後能量在它們間的分配可能有所改變，一個本來運行快速的分子在碰撞後可能放慢，而另一分子則反而加速。儘管如此，總能量始終一樣。當分子撞到氣體容器的壁時，能量也絲毫沒有損失。分子以跟碰撞前相同的能量彈離容器壁。這種碰撞稱為全彈性碰撞。

概括地說，根據氣體動力學說，氣體內部像一個混亂世界，分子朝四面八方飛行，不停相互猛烈碰撞。分子除碰撞外幾乎並無其他相互作用。而碰撞絲毫不會損害氣體分子。

氣體動力學說所描述的氣體只是在理論上才能存在的理想氣體 (Ideal gas)，而它和真正氣體有某種程度的差別。不過這種學說仍然很有效力，工程師們正是根據氣體分子的上述特點設計飛機、吸塵機、空氣調節機以及吊橋等。

氣體中的電子與等離子體

到十九世紀後半葉，科學家開始較深入研討氣體分子和原子的真正結構，而其中卓有成效的一個方面是有關氣體中的電效應(Electrical effects)的研究。

把氣體物理學同電磁學結合起來的主要人物是詹姆斯·克拉克·麥克斯威爾(James clerk maxwell)，事實上「電磁學」這一術語就來自他的研究。他也是氣體動力學說的主要提倡人之一。他為認識電磁力奠定了理論基礎。他證明電和磁是同一種力的兩方面，而光輻射和熱輻射是電磁能的兩種形式。

麥克斯威爾只用鉛筆和紙張之類的簡單工具就揭露了磁場(Magnetic field)和電場(Electric field)的基本性質。

大家都知道，磁鐵的影響超出其本身以外。如果你把一塊磁鐵放得十分接近一小塊鋼鐵(如髮夾等)，即使沒有任何東西接觸髮夾或使它移動，它也會被吸到磁鐵上。拿兩塊磁鐵，並使其北極(或南極)同極相對，然後設法合攏它們，你就會感到一股強力使它們合攏不了。這就是磁力(Magnetic force)的作用。把一張紙鋪在磁鐵上，在紙上撒些鐵屑，由鐵屑顯示的磁場就會從磁鐵兩極(Poles)伸展開來。

電也有電場，其特性和磁場大致相同。當摩擦膠梳使它帶上靜電 (Static electricity) 時，用它吸起紙屑，紙屑就像髮夾朝磁鐵一樣朝梳子移動，這就是一種電場在起作用的緣故。在乾燥日子裏用力摩擦頭髮時，一些頭髮會豎立起來，這是在頭髮中感生的電場使它們抵制地心吸力而朝上豎立。

麥克斯威爾也證明電場和磁場是相互連繫的。每個移動着的電荷都同時產生一個電場和一個磁場，這兩種場通常合稱為一個電磁場 (Electromagnetic field)。

麥克斯威爾也證明電磁波 (Electromagnetic waves) 的存在，電磁波譜中包括無線電波 (Radio waves)、紅外輻射線 (Infrared radiation)、可見光 (Visible light)、紫外輻射線 (Ultraviolet radiation)、X光射線 (X-rays) 以及更短的 γ (三種) 射線 (Gamma rays) 等。電磁波是純能 (Pure energy) 的波，和物理物質 (Physical matter) 無關。我們平常所說的光 (Light) 就是電磁波的一種。

電磁波能通過真空傳播。可見光、無線電波及其他形式的電磁波能從地球上發射，並透過近似完全真空 (Near-perfect vacuum) 傳播到很遠的距離以外。一切電磁波在真空中的傳播速度都是每秒三十萬公里。我們把它叫做「光速」 (Speed of light)。其實這也是無線電波和一切電磁波的速度。

一切電磁力都符合平方反比定律 (Inverse

square rule), 即其強度和傳播距離的平方成反比。如果見到兩盞街燈, 第二盞離開我們的距離是第一盞的兩倍, 那麼其亮度是第一盞燈亮度的四分之一。而離開我們的距離是第一盞的三倍的第三盞街燈, 其亮度就只有第一盞的九分之一。其餘的順此類推。

十九世紀後半葉的物理學家根據麥克斯威爾等人的學說, 開始通過氣體電效應的研究來探討物質的原子結構。氣體通常是不導電的, 而事實上是良好的電絕緣體。假如室溫下的空氣竟然容易導電, 那麼這豈不成了一個極端危險的世界! 不過只有在非常特別條件下, 氣體才能導電。

威廉·克魯克斯(William Crookes 1832~1919) 是第一批研究氣體電效應的科學家之一。他使用一種叫「輝光放電管」(Glow-discharge tube) 的器械。他使它的應用更趨完善, 因此它常稱為克魯克斯放電管(Crookes tube)。輝光放電管和熒光燈(Fluorescent lamp) 很相似。管中氣體用真空泵抽出, 使剩下氣體的壓力降得很低。電流能夠流過這種低壓的稀化氣體。稀化氣體被電能激勵時發出輝光, 而輝光顏色取決於所用的氣體種類。各種氣體都發出各自特有顏色的輝光。目前隨處可見的五彩繽紛的燈光招牌就是根據這一原理製造出來的。

從這個事實, 可以知道等離子體的特點, 除了它會導電之外, 它本身是一種稀化氣體。克魯克斯認識到這種稀化氣體已不再是普通氣態。1879年他