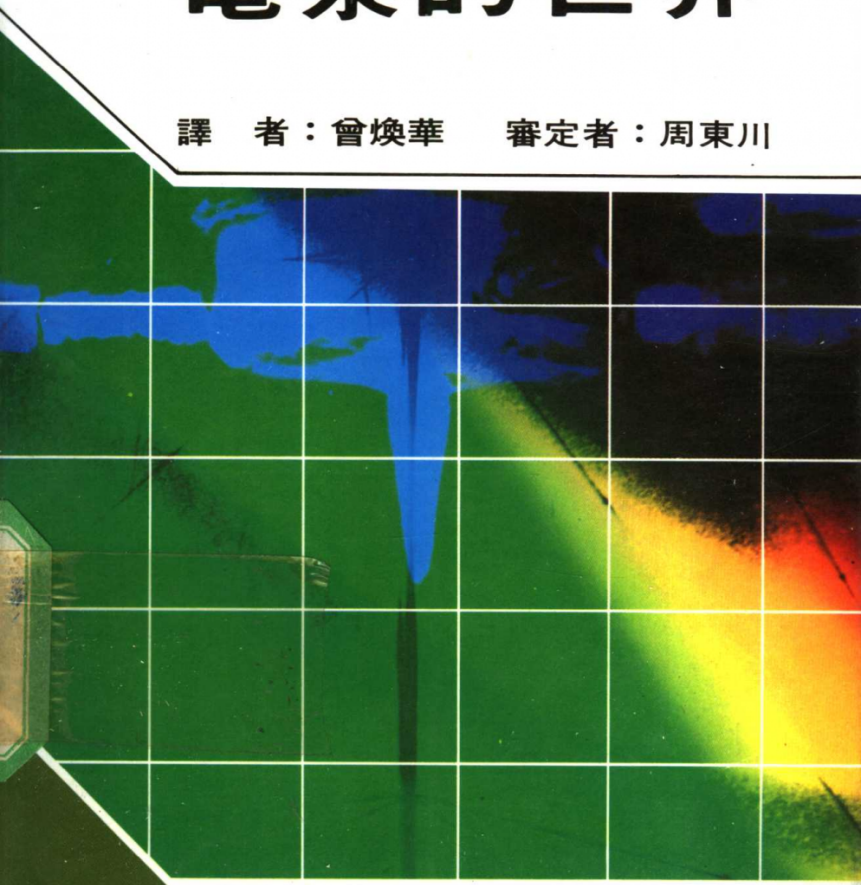


新世紀叢書

探討物質的第四個狀態

# 電漿的世界

譯者：曾煥華 審定者：周東川



銀禾文化事業有限公司

## 內容小介

一般而言，物質有三態——固體、液體和氣體。可是當溫度升至很高，物質內原子分離成電子和離子而相處一起，即謂之電漿。其實對整個宇宙而言，大部分是處於電漿狀態。本書介紹電漿的來源、性質和應用，譬如電離層、閃電、極光、太陽、核融合、工業應用等都有詳盡的說明。



085

新世紀叢書

# 電漿的世界

銀禾文化事業公司 印行



085  
新世紀叢書

# 電漿的世界

主 編：新世紀編輯小組

審定者：周東川

譯 者：曾煥華

出版者：銀禾文化事業有限公司

發行人：陳俊安

地 址：台北市和平東路2段96巷  
3-1號

電 話：7335575・7335576

郵 撥：0736622-3

定 價：新台幣100元

新聞局登記證局版台業字第3292號

1987年7月初版

■版權所有・不准翻印■

# 序

在科學進步，知識爆發的現代世界中，一個國家民族的興衰取決於全體國民是否擁有現代化的知識。一個國家即使擁有很多進步的科學機器，但是人民的思想、觀念仍停留在幾十年前的舊巢中，那將是滿清時代所追求的「船堅礮利」翻版而已，完全無補於事，因此普及全民知識是一件刻不容緩之事。

本公司有鑑於此，特成立新世紀編輯小組，無論就自然科學或社會科學，選定重要題目編輯成一系列叢書，逐冊推出，並且以普及版方式印製，希望這一系列的叢書能提供給國人一連串新的知識與觀念。

一件事情的成功，固然是要在事前有妥善規劃與謹慎的執行，而一套叢書發行的成功除了要有上述的要件外，更需要有廣大讀者的支持和批評。希望讀者們能在閱讀本書後給我們寶貴的意見，做為我們編列這套書的參考，謝謝！

陳俊宏

於一九八五年十一月

---

## 目 錄

---

|     |            |     |
|-----|------------|-----|
| 第一章 | 何謂電漿？      | 1   |
| 第二章 | 地球附近的電漿狀態  | 17  |
| 第三章 | 巨大的電漿球——太陽 | 87  |
| 第四章 | 熱核融合爐的研究   | 133 |
| 第五章 | 電漿的實用化     | 191 |

---

# 第一章 何謂電漿？



爲電漿命名的蘭古默亞（1881～1957）

### 1. 何謂電漿？

#### 電漿的世界

近年來，可能很少像「電漿 (plasma)」這個名詞迅速引起大家注意的名詞。最近在報紙、電視甚至兒童讀物上也時常出現。電漿到底是什麼？

聽不慣「電漿」這個名詞的人，如果聽說晚上在街上發出美麗光彩的霓虹燈的內部，或發出艷光燃燒的高溫火炎，或夏天在天空上拖着美麗線條的閃電等都處於電漿狀態，即含有切身的感覺吧！又，耀眼的太陽以及發亮的恒星也處於電漿狀態，據說宇宙的物質有 99.9% 以上都處於此種電漿狀態。

此種不斷地繼續發生龐大能量的太陽或恒星的能源，是在其核心的高溫部（一千幾百萬度以上）進行的原子核反應；在實驗室內製造此種狀態，藉此取得無盡的能源，這就是被稱為「氫彈的和平利用」的熱核融合反應的嘗試。我們期待，藉此根本解決日益嚴重的能量資源問題。

本來最初在近代科學上出現電漿這個名詞的不是物理學，在醫學或生物學上早在上一個世紀就使用它，在英文中稱為 plasma。本書上所談的物理學上的電漿，是 1928 年開始在物理學上使用，而它特別引起大家注意



則在第二次世界大戰以後。如此迅速引起注意，可能是基於可能產生無盡之能源的熱核融合反應的可能性，也可以說，以此為契機使大家重新認識了電漿本身的魅力吧！

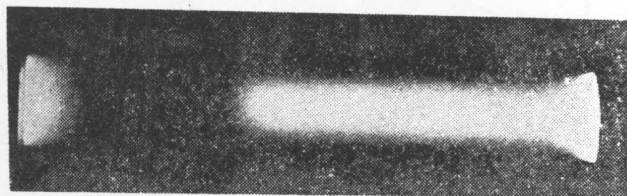
### 電漿的意義

物理學上的電漿，是 1928 年由蘭古默亞 (Irving Langmuir) 開始說的。例如霓虹燈內放電時放電狀態氣體就是電漿，在離電極微小距離處而叫做「陽光柱」的部分，電子及離子的密度分布幾乎相同，於是平均起來到處都呈電中性，保持很大的均勻性。

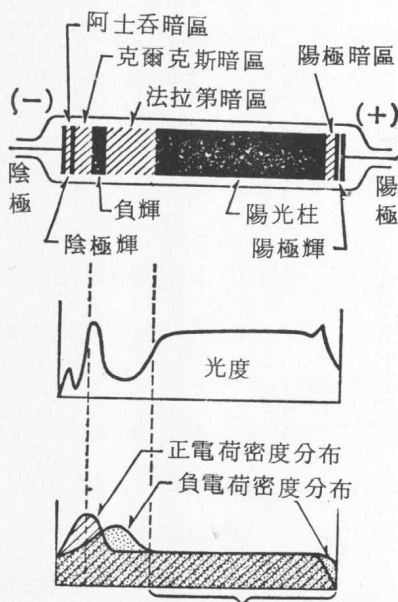
因為這個部分具有普通氣體缺少的很有趣性質，蘭古默亞因此決定用特別的名稱稱呼它，提倡採用「電漿」這個名詞。不久之後，在物理學上開始以此種意義廣泛使用電漿這個名詞。

電漿這個名詞如此的出現於物理學上，但是，現在不僅對於真空放電時的電離氣體，且在同樣狀態時也一般的使用。即是可以說「把帶正電的粒子與帶負電的電子以大致一樣的密度，亦即在電性上大致保持中性分布的粒子集團，稱為電漿。」此時中性粒子（不含電離的原子或分子）摻入其中也可以。

此種帶電粒子集團如何具有有趣性質、具有重要意



陽光柱電漿（低氣壓氣體放電管）



正負彼此抵消而平均起來成為中性

圖 1 最初利用技術製造的電漿狀態：陽光柱電漿

義，將在下章以後漸漸明瞭，寧可說本書的目的在於解明這些事項。

### 被新的物質狀態迷住

1922年，有一位壯年的研究人員，活躍於美國的通用電氣公司研究所。他在德國哥丁根大學的尼隆史特教授的門下研究化學獲得學位的物理化學的研究人員，回國後在該研究所從事活性氫或鎢燈泡等問題的研究工作獲得優秀成果，開發了所謂界面化學的領域。他特別喜好物理學或數學，據說他喜好數學是受了在哥丁根大學時聽了費立克·克萊恩教授卓越的講課的影響。

克萊因的講課，可能是脫離了定形的特殊數學領域而相當自由的，據說他後來也一直很稱讚及感謝克萊因的講課。從克萊恩接受的數學教育的經驗，對於他一生的研究給了難得的自信。他對於複雜的物理問題，毫不畏怯的應用數學，得以導出了豐碩的結果。

當時他正在調查水銀電弧整流器，但對於此種放電現象很有興趣，被迷住似的開始這方面的研究。事實上，在放電管內發光的氣體的確壯觀，非常迷人。它具有單純的靜態現象在本質上所缺少的魅力，其美麗、多樣性、神秘性格外吸引了人們的心。

雖然許多物理學家，基於其中的現象過分複雜，認

定可能無法分析它，但被它迷住的他，勇敢的面對未知的世界，有意解明此狀態的基本性質。首先，爲了詳細調查放電體內的電性質，想到在各地方插入針做電性上的測定。因爲插針後電子集在其表面而與附近的電位不同，故想出了考慮此點適當修正後測定電量或電位的方法。

如此詳細測定後知道，明亮的、美麗的地方大多在電性上保持中性，到了 1928 年，更在理論上查明發生高頻率的獨特振動一事。在這些研究，可以說受克萊恩所喚醒的數學才華發揮了很大的效果。

在這次研究以後，許多研究人員調查放電體的基本研究，不久之後明白此種物質狀態對於宇宙或人生都存有極重要的意義，被視爲開拓未來的新的研究領域，引起了大家的注目。這就是「電漿」，而發動其研究的正是蘭古默亞。

## 2. 電漿的語言

### 希臘文中的電漿

電漿一詞起源於希臘文。

在古代希臘文，有 *plassein* 一詞。這是指「製造有形狀的東西（即是要成形）」，不論是空手或使用工具或模。其語幹爲 *plas*，而 *plasma*（成形的東西）或 *pla-*

stikos（能形成的東西）等都是由它衍生的。

這二個希臘文詞之中，plastikos 現在仍然按照原來的意思使用，例如英文裡的 plastic art（造形藝術）、plastic surgery（整形外科）、plastics（塑膠材料或其製品）等，是由此意思衍生的詞句。

另一方面，plasma 則經過了稍微複雜的過程。就中世教會用語來說，是用於指由造物主而非人所製成的物，似乎帶了人工無法製造的而具有神秘性的創造物的意味。

### 在生物學、醫學上的電漿

電漿這一詞最初出現於近代科學，是在生物學上。1893 年，有叫做 Purkynie 的人把細胞內經營生命活動的部分命名為 proto - plasma 為其開始。proto 具有「最初、原來」的意味，由於指原來就有造形的東西而譯成為「原形質」。後來，原形質尤其其中成為生命活動之舞台的半流動性細胞質簡稱為 plasma。

可能在與此前後的時期，在醫學上也對於血漿或淋巴液使用 plasma 這一詞。這可能是指在人體內像細胞質一樣做生命活動的神秘的流動物。如此，plasma 這個詞句，似乎開始帶有「具有神秘性的半流動物」的意味了。

## 在物理學上的電漿

如前所述，在物理學上把放電管內的電離氣體稱為電漿。但在提倡把它稱為電漿時，蘭古默亞沒有說明任何理由。因此我們只好憑想像，但由於據傳蘭古默亞是被放電體的奇妙性迷住而一心一意研究它，故他或許是基於感覺到一種神秘性認為那是奇妙的流動性，而聯想到電漿這個名詞吧！

關於這個詞句的意義還有各種推測，但已經明確的是下列的經緯。因為知道個電漿狀態的電離氣體會發生高頻率的獨特振動，蘭古默亞因此命名它為「電漿振動」。此現象引起了許多研究人員很大的興趣，故首先普及電漿振動這個詞句，然後電漿這個名詞也隨之普及。

## 3. 物質的第四種狀態

### 電離氣體及物質的第四種狀態

放電管內的電離氣體，具有普通氣體缺少的顯著性質，此種放電氣體是法拉第在 1835 年左右首先製成的，它是最初在實驗室內製成的壽命長且穩定的電漿狀態。

確認此電離氣體具有很有魅力之性質的是克爾克斯，是在法拉第製造它後將近 50 年的 1879 年左右的事。克爾克斯強調放電氣體為具有很顯著性質的新狀態，把放電氣體的狀態比喻為次於物質之三態的「物質的第四種

狀態」。

克爾克斯是在蘭古默亞的約50年前使用「物質的第四種狀態」這個說法，當時還沒有電漿這個名詞。即是，這兩個詞句是在相距50年的不同時間，由兩人分別給予命名的。它們是彼此獨立的表現，在「電漿」此詞句，並沒有「第四個東西」或「過去沒有的新東西」這種意味。

### 恩貝特克利的四元說

若把此種固體、液體、氣體、電漿的四個狀態與古代希臘人恩貝特克利（Empedoklēs，西元前490～435年）的四元說比較，則顯得有趣。古代的自然哲學家考慮了，認為世界是由幾個要素成立的各種學說。

其中，恩貝特克利的四元說主張，形成世界的四個基本要素為地、水、空氣、火，適當混會活用後形成世界。事實上，高溫的火炎呈電漿狀態，故此四個基本要素與固體、液體、氣體、電漿非常一致。

### 電漿狀態

與最初三個狀態（固體、液體、氣體）相比，電漿狀態的發現慢得多了，到了19世紀才發現，其原因在那裡？因為，在像地球那樣冷卻的行星，物質以高密度的結合狀態存在，必須給予很大能量，才能產生電漿狀態。

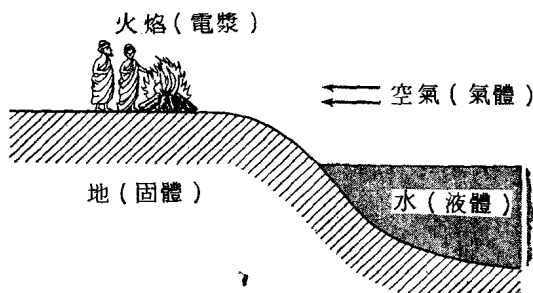


圖2 與恩貝特克利的四元說的比較

例如在把固體加熱熔化時，給予每一個分子平均0.01電子伏特（一電子伏特為表示  $1.6 \times 10^{-19}$  焦耳之能量的單位，簡記為 eV）程度的能量即可。若想把液體加熱變成氣體，則給予大約相等程度的能量即可。但是，若想把在電性上中性的原子分離為電子及離子，則需要一個原子平均  $1 \sim 30$  電子伏特的能量，這遠比前二者大。

相反的，在像太陽或恒星的高溫天體，物體都是電漿狀態。因此認為，如前所述整個宇宙的物質之99.9%電離成為電漿狀態。在其中，地球被比喻為浮在電漿大海裡的泡沫。

即是，地球是在太陽外氣延伸的高溫電漿中，以地球磁場遮蔽它，形成帶電粒子少的低溫領域，安居於其中。我們生物因此得以在地球上生存。

又，電漿狀態的性質依溫度及密度而相差很大，茲就各種重要的電漿狀態，表示溫度及密度的範圍於圖4。



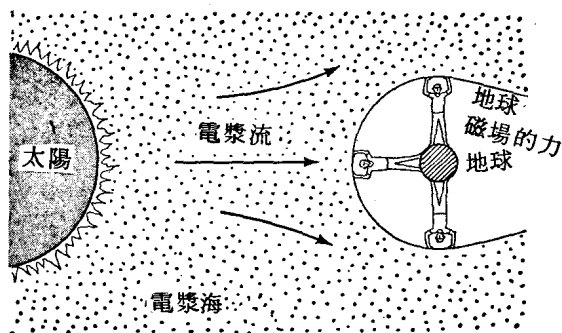


圖 3 地球是浮在電漿大海的泡沫

#### 4. 電漿物理學的發端

##### 電漿振動的發現

電漿物理學的發端為電漿振動的發現。在1925年前後，當調查放電電離氣體時，陸續發現了就當時的常識來說屬於異常的現象。例如，電子的能量很高，發生高度的放射現象，產生高頻率的放射等等。

雖然對於這些現象都嘗試了各種說明，但都不能解決。其中，狄特馬(Ditmer)在1926年最初想到或許是在電離子氣體內發生強烈振動所引起的。1929年，頓克斯(Tonks)與蘭克默亞證明實際上在電離氣體內可能發生強烈振動，提示了若假定它此種振動則過去發現的異狀現象都能得到合理的解釋。