

汪茂泉 著

中学新概念课外读物
科学发现对话集(二)

课余谈 物质第四态

中国科协科普项目专项资助



内容范围:从中学物理推向前沿

科学发现对话集(二)

课余谈物质第四态

汪茂泉 著



安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

课余谈物质第四态. /汪茂泉著. —合肥:安徽科学技术出版社,2005.1

(科学发现对话集二)

ISBN 7-5337-3121-2

I. 课… II. 汪… III. 等离子体-普及读物
IV. 053-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 101832 号

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号新闻出版大厦)

邮政编码:230063

电话号码:(0551)2833431

E-mail: yougoubu@sina.com

yougoubu@hotmail.com

网址: www.ahstp.com.cn

新华书店经销 合肥东方红印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:7 字数:180千

2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

定价:15.50元

(本书如有倒装、缺页等问题,请向本社发行科调换)

前 言

等离子体科学——包括等离子体理论,等离子体应用技术和实验方法是一门比较年轻的学科,兴起于 20 世纪 50 年代。一经兴起,便在很多科学技术领域获得了广泛的应用,而且发展了很多边缘学科,如:天体等离子体物理,等离子体化学,工程等离子体物理等。

等离子体科学之所以发展如此迅速,应用如此广泛,是因为人类生存的空间及至整个宇宙,有 99% 以上的物质处在等离子体状态。因此,等离子体可以说是无处不在,它与人类的生活密切相关,等离子体学科的内容也因此而广泛、丰富。它的研究对象,按温度来说,从上亿度高温的热核聚变等离子体、极高温的脉冲星以及恒星等离子体层到低温固体中的电子气;按密度来说,从极稀薄的恒星际、行星际空间等离子体到白矮星、激光聚变中的极密等离子体。其研究范围之广,各种研究对象差异之大,所采用的理论方法和实验手段之多是任何学科不能比拟的。正因为如此,等离子体学科从其他学科汲取大量的理论和实验方法,形成了上面所说的边缘学科(或叫交叉学科)。

要掌握等离子体科学,必须有基础科学知识,如:基础数学、物理学、天文学、流体力学、电动力学……而从事其他专门学科研究的人员,也必须掌握一定的等离子体知识。因此,等离子体学科将是受到广泛重视的基础学科,除专门研究机构外,很多大学都设置了等离子体专业课程,重视等离子体科学高级人才的培养。

本书的目的是使青少年掌握初步的等离子体知识,对等离子体学科的重要性及其应用的广泛性有所了解。我们用尽可能通俗的语言,讲述有关等离子体科学形成过程的一些“趣事”,介绍等离子体的基本知识和在一些技术领域中的应用,以期使青少年对等离子体科学博大精深有一个初步了解,对等离子体科学产生兴趣。

本书的出版得到安徽科学技术出版社的大力支持,在此向为本书出版付出劳动的有关同志致谢。

目 录

引子 科学发现来自于勇士们的探索 and 追求	1
-------------------------------	---

第一部分 物质的第四态——等离子体

第 1 天对话 奇妙的放电现象	3
第 2 天对话 物质的第四态——等离子体	7
第 3 天对话 物质的第五态	13
第 4 天对话 宇宙是等离子体吗?	20

第二部分 解谜和解密

第 1 天对话 克鲁克斯管和盖斯纳管	30
第 2 天对话 血浆? 等离子体?	44
第 3 天对话 解密的启示	62
第 4 天对话 形形色色的等离子体	76

第三部分 困扰人类生存和发展的两大问题

第 1 天对话 能源枯竭, 环境恶化	92
第 2 天对话 人造太阳: 人类狂想曲	107
第 3 天对话 受控热核聚变	115
第 4 天对话 运用等离子体技术改善人类生存环境	149

第四部分 巨大的应用前景

第 1 天对话 航天技术中的等离子体	154
--------------------------	-----

第 2 天对话	工业技术中的等离子体	178
第 3 天对话	高分子科学中的等离子体	189
第 4 天对话	等离子体技术应用方兴未艾	209

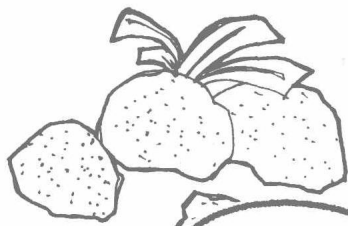
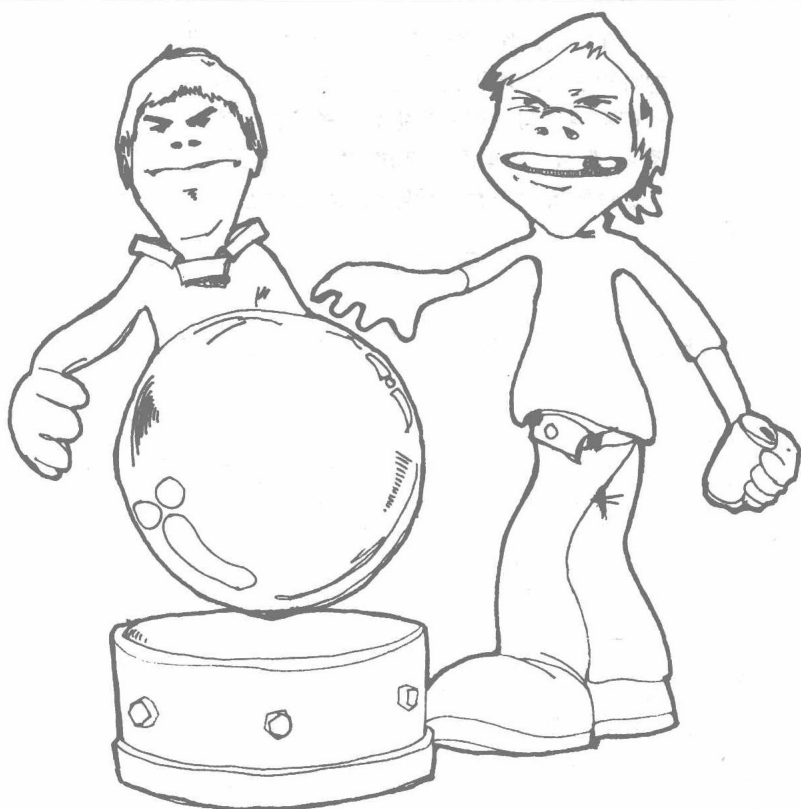


引子
科学发现来自于勇士们
的探索 and 追求

19 世纪一位哲人曾经说过：科学是没有平坦大道可走的。只有那些不畏艰险、勇于攀登的人才能达到顶峰。

是的。考古学家、古生物学家在年复一年地辛勤挖掘、整理、研究探索我们今天世界暧昧的过去。而数学家、物理学家……用公式推演着、描绘着自然界的现在和未来。自然界的现象扑朔迷离，仿佛罩上一层层神秘的面纱，令人难以捉摸。科学勇士们为了认识大自然的奥秘，在科学领地辛勤地耕耘，冷静地思考，付出艰苦的劳动、汗水甚至生命。一层层面纱被揭下，眼界豁然开朗，旧的猜想和观念被扬弃。新的观念又去指导挖掘深层的未知世界。

科学家们善于抓住任何启迪灵感的闪光，去发现新的自然界的奥秘。我们这里将要讲的正是一个灵感的闪光，使人们发现了新的物质世界。在 19 世纪，辉光放电激发了人类智慧的火花，一个新的物质世界：物质第四态——出现在人们的面前。



第一部分 物质的第四态——等离子体

第1天对话

奇妙的放电现象

在今天，等离子体这个名词随处可见，因为等离子体技术正在日益广泛地渗入高科技领域和各种与我们日常生活相关的各个技术领域。但我们对常见的物质的固、液、气三种状态非常熟悉，对物质的第四态却比较陌生。

教授：被称为物质第四态的等离子体，是在 20 世纪初才被人们认识并进行深入研究的一种新的物质状态。对等离子体的认识是与气体放电现象的研究联系在一起的。从气体放电的历史可以追溯到现代科学的起源。19 世纪，许多英国和德国的物理学家致力于低压气体放电特性的研究。他们设计了多种多样的放电管，用以研究物质第四态的奇异特性。下面，我们先看一下一些奇妙的放电现象。

学生：谈到放电，我们想起在科学馆里看到过的辉光球，当把手指触到球面时，则在球内电极和手指之间产生一束辉光。这就是放电现象吗？

教授：是的。玻璃球中充有稀薄（低压）气体，球内电极与高频高压电极连接，当你的手指与球面接触时，高压电极、球内被电离的气体和你的手指、身体形成一个放电回路（图 1.1）。气体在放电时，会发出各种颜色的辉光。辉光

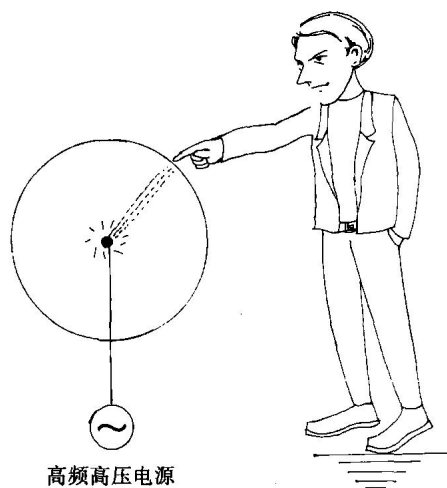


图 1.1 辉光球放电演示

的颜色与气体的种类和气体的浓度(压强)有关。

学生:您的意思是说,不同的气体发出不同颜色的辉光,同一种气体的浓度不同,发出的辉光颜色也不同,是吗?

教授:是的。现在向你们介绍克鲁克斯于 1870 年做的实验。为了演示气体压强对放电的影响,他设计了一种名为“电蛋”的放电管(图 1.2)。当管中的气体压强变化时,放电辉光的大小、形状和颜色都发生了变化。

学生:现在我明白了,为什么会有五颜六色的霓虹灯。

教授:霓虹灯是放电现象最早被应用的一个例子。气体放电现象实际上是五彩缤纷的,受帕邢定律支配。我们来看一下帕邢效应的实验(图 1.3)。两个大玻璃球,下面用两个曲管连通,侧面用短的直管相连。管中充满惰性气体氖或氩。当调节好气体的压强以后,接通电源放电。这时会发生一个奇妙的景象:曲管中发生彩色的辉光,而两个电极之间最接近的短间隙——直管中却没有辉光。

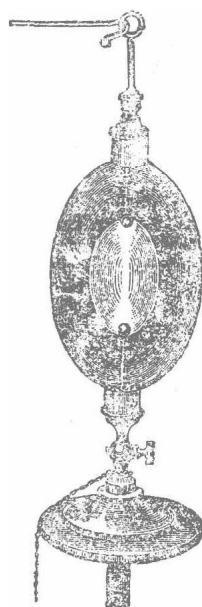


图 1.2 克鲁克斯于 1870 年设计的“电蛋”，用以演示管中气体的压强对放电的影响

学生:为什么只有曲管中产生辉光?

教授:这说明放电发生在长的曲管中,而不是发生在短的间隙中。

学生:一般的常识是,放电走近路,为什么在这里却反其道

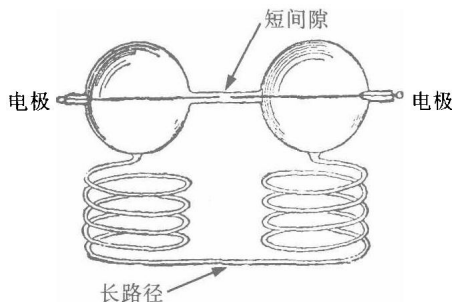


图 1.3 帕邢效应实验装置

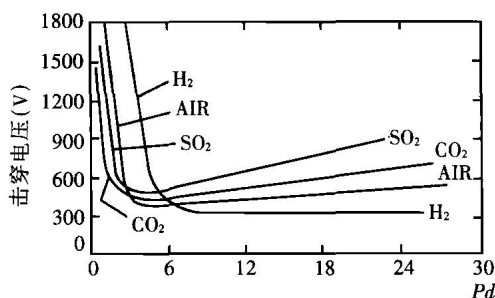


图 1.4 帕邢实验曲线
几种气体放电时的帕邢曲线

而行之？

教授：这就是气体放电的奇妙效应之一，叫帕邢效应。原来，气体的击穿电压 U (即开始放电所必须的电压，也叫着火电压)，是气体压强 P 和电极间距离 d 的函数，即 $U =$

$f(P, d)$ ，图 1.4 是拉若和穆勒所绘制的表示帕邢定律的曲线。任何气体的击穿电压都有一个极小值，对应不同的 Pd 值。若令 d 是长路径（曲管的长度），调节气体压强 P (气体的浓度)，使 Pd 对应该气体击穿电压的极小值，则在长路径（曲管）中发生放电，而不会在短间隙（直管）中发生放电。道理很简单，因为 Pd_1 (d_1 是直管电极间隙的长度) 不对应击穿电压的极小值。

气体放电的奇异现象，引起了很多学者的兴趣。通过对低压气体放电特性的研究发现，放电时气体性质与已知的物质状态（固、液、气态）有着不同的性质，故称这种物质状态为第四态。今天，已经普遍地认同，这所谓的物质第四态就是我们所说的等离子体。



第一部分 物质的第四态——等离子体

第2天对话

物质的第四态——等离子体

学生:那么,什么是等离子体?为什么称它为物质第四态呢?

教授:等离子体是由大量的带正电的粒子(正离子)和带负电的粒子(电子或负离子),有时还有不带电的中性粒子所组成的体系,体系中的正电荷和负电荷相等,即整个体系是电中性的。至于为什么称它为物质第四态,是因为它与其他物质状态有很多截然不同的物理性质,如在电磁场中的特性(等离子体对电磁波的反射特性、等离子体的辐射特性等)以及它本身内部所具有的复杂的集体运动特性等。随着我们对等离子体性质的认识不断深入,会对物质第四态的含义逐渐理解。

学生:我们已经知道了等离子体的组成成分了,关于电子和离子的概念,能再给我们温习一下吗?以加深认识。

教授:好的。关于电子这一概念的形成,有一段漫长的认识过程,将在介绍对物质第四态的认识过程中专门谈到。现在大家都知道,电子是带有基本电荷的粒子,它的质量比氢原子小,是氢原子的 $1/1840$ 。

学生:基本电荷的意思是不是说,它的电量是电荷的最小单位呢?

教授:现阶段可以这么说,任何带电粒子的电荷都是电子所带电荷量的整数倍,元素周期表上的原子序数,就代表该元素原子核的电荷数,即代表电子电荷的倍数。

学生:您说“现阶段可以这么说”是什么意思?

教授:在我们现在所涉及的范围内,如普通物理学、原子物理学、原子核物理学甚至基本粒子物理学,都可把电子的电荷作为电荷的最基本单位。但是,自上个世纪六、七十年代开始,随着对基本粒子的深入研究,又发现有更基本的粒子存在,这些粒子叫“夸克”,夸克所带的电量可以是电子的 $1/3$ 、 $2/3$ 、 $-2/3$,夸克是组成一切粒子的最基本粒子。关于夸克理论尚在深入研究之中,在现阶段,仍可把电子电荷作为基本电荷单位。

离子的概念是法拉第于 1834 年提出的,其意义为“动的粒子”。在研究电解过程时,他将电解液中的两个电极分为“阳

极”——电路的上端,和“阴极”——电路的下端。当电极接通电源时,电解液分解。一些“动的粒子”奔向阴极,叫它们为正离子,有些“动的粒子”奔向阳极,叫它们为负离子。1839年,法拉第在一篇论文中写道:

“我认为将奔向阳极的粒子叫“负离子”,而那些奔向阴极的粒子叫“正离子”,最好以此来区分它们。如果我笼统地称呼它们,则把它们叫做离子……”

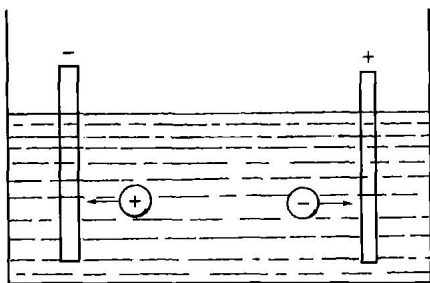


图 1.5 电解过程:正、负离子分别奔向负、正极

从那时起,离子作为能移动的带电粒子,作为一个科学名词被广泛沿用至今。

学生:等离子体是如何产生的?

教授:等离子体是通过物质原子或分子的电离过程产生的。

学生:什么是电离?原子和分子是如何被电离的?

教授:“电离”是1898年克鲁克斯提出的,意思是电荷分离。在介绍电离过程以前,我们先简单回忆一下有关原子结构的知识。1903年,汤姆逊提出一个原子模型:正负电荷均匀地分布在大小等于原子体积的范围内,这就是所谓的“西瓜模型”。把西瓜籽比喻成正负电荷。1912年,汤姆逊的学生卢瑟福提出原子的“核模型”,原子的正电荷和绝大部分质量集中在核心部位,电子在核外封闭的轨道上绕核旋转。核外的电子数与核中正电荷数相等。

学生:这两个模型哪一个是正确的?

教授:实验证明,卢瑟福的模型是正确的。它是现代原子模型的雏形。原子核由中子和质子组成。质子的质量是电子质量的 1840 倍,电荷与电子电荷大小相等符号相反。中子不带电,质量近似与质子相等。原子核外分布着不同的壳层,电子在各个壳层的轨道上旋转。最靠近原子核的壳层上的电子,受核力最强,势能最低;而靠近外层的电子,受核力弱,势能高。所以,外层电子容易摆脱原子核的束缚而逃离原子。失去电子的原子就成为带正电荷的离子。这个过程就叫电离。

电子在核外的分布和运动是十分复杂的,认识它们将涉及量子力学和波动力学的知识,这里不作介绍。

学生:电子怎样才能摆脱原子核的束缚而逃离?

教授:电子必须从外界获得能量才能脱离原子。电子脱离原子所需的能量叫电离能,使电子脱离原子所做的功叫脱出功。

学生:电子如何从外界得到电离能?

教授:关于电子如何从外界获取电离能以及如何脱离原子等详细过程,将涉及许多经典理论、原子理论以及原子的微过程和—些其他的复杂因素。这里只介绍—些使原子电离的方法。—种就是通过气体放电,如上所述。再—种是通过加热,增加粒子间的相互碰撞而使电子被“碰”出原子,叫做碰撞电离,因此,气体经加热到—定的温度,就变成物质第四态。还有—种方法是射线辐照法,即用各种射线照射,使原子电离。自然界中的太阳辐射及各种宇宙射线使大气电离就属于这种电离机制。此外尚有光致电离,电弧放电……不——介绍了。

学生:分子如何电离?

教授:分子,尤其是复杂分子,是由分子团(也叫官能团)通过化学键结合在一起,若将化学键打开,则分解成带正负电荷的官能团,如电解时,物质在媒质(电解液)中被分解成正负离子。

学生:为什么将等离子体与其他三态并列而称它为物质第四态呢?

教授:这可以从两方面来说明。一是它们之间可以互相转化。固体加热到一定温度变成液体,液体加热到一定温度变成气体,气体加热到一定程度变成等离子体。按顺序,等离子体被称为第四态。二是它们之间只是物理状态不同、化学性质并未改变,等离子体是与固、液、气三态同一层次的物质状态。我们都很熟悉固、液、气三态具有不同的物理性质。而等离子体具有一些特殊的、其他三态所没有的物理特性,如等离子体的行为受外界电磁场的影响;又由于它是由带电粒子组成的,系统内部表现出一些复杂的集体运动特性,比如,一个粒子的运动会牵动很多其他粒子的运动等。这些物理特性是其他物质三态所不具备的,因此,把等离子体与其他三态区分开来,称它为物质第四态。

学生:如果除了正负离子之外,尚有中性粒子,这样的体系是否应称为混合态,而不能称为等离子体呢?

教授:一个体系是否具有等离子体的特性,主要看体系中是否有足够多的分子或原子被电离。如果只有极少量的正负离子存在,不具备等离子体的特性,就不能称之为等离子体。如我们地球表面的大气,由于宇宙射线(来自宇宙的辐射)的作用,在 1cm^3 的空气中,每秒只产生 5 对离子,与标准状态下空气的分子数(每立方米约为 10^{19} 个气体分子)比起来微乎其微,所以,地表空气不能叫做等离子体。

实验表明,在普通气体中,即使有千分之一的气体被电离,则这种气体已有很好的等离子体性质。若有百分之一的气体被电离,这时的气体便成为导电率很高的等离子体,在后面介绍热核反应时,气体完全电离,这时的等离子体叫完全电离等离子体。