

高等学校交流讲义

普通物理学

PUTONG WULIXUE

原子物理学部分（上册）

苟清泉 吳知非編

人民教育出版社

13.3/65

0143664

高等学校交流讲义



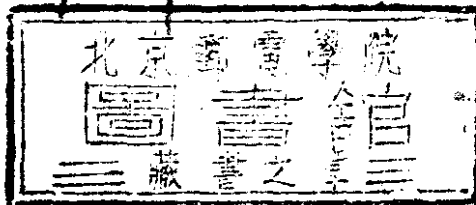
普通物理学

PUTONG WULIXUE

原子物理学部分(上册)

苟清泉 吳知非編

Y009/07



21113000824567

13.3/65

0143317

高等学校交流讲义



普 通 物 理 学

PUTONG WULIXUE

原子物理学部分(下册)

苟清泉 吳知非編

YD29/07



21113000824541

人民教育出版社

本书是根据编者几年来在吉林大学物理系讲授“普通物理学”课程中原子物理学部分的讲义修改补充而成的。全书共十四章,分上、下两册出版。上册包括绪论及第一章至第七章,主要内容是:原子结构与原子光谱,分子结构与分子光谱;下册包括第八章至第十四章,主要内容是原子核。

本书可作为综合大学及高等师范学校物理各专业“普通物理学”课程原子物理学部分的教材,也可供高等工业学校的相近专业选用。

普通物理学

原子物理学部分(上册)

苟清泉 吴知非编

北京市书刊出版业营业许可证书出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K13010·945 开本 850×1168 1/32 印张 6 1²/₁₆

字数 162,000 印数 19,501—59,500 定价(6) ¥ 0.70

1961年7月第1版 1982年11月北京第6次印刷

本书是根据编者几年来在吉林大学物理系讲授“普通物理学”课程中原子物理学部分的讲义修改补充而成的。全书共十四章，分上下两册出版。上册包括绪论及第一章至第七章，主要内容是：原子结构与原子光谱，分子结构与分子光谱；下册包括第八章至第十四章，主要内容是原子核。

本书可作为综合大学及高等师范学校物理各专业“普通物理学”课程原子物理学部分的教材，也可供高等工业学校的相近专业选用。

普通物理学

原子物理学部分(下册)

荀清泉 吴知非编

人民教育出版社出版(北京景山东街)

(北京市书刊出版业营业许可出字第2号)

人民教育印刷厂印装

新华书店科技发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 13010·956 开本 850×1168¹/₃₂ 印张 5¹/₁₆

字数 125,000 印数 15,001—31,000 定价(6) 0.55

1961年6月第1版 1961年10月北京第3次印刷

序 言

本书是根据我們几年来在吉林大学物理系讲授“普通物理学”課程中原子物理学部分的讲义整理而成的。根据几年来教学实践的經驗以及讀者們所提的意見，原讲义逐年均有修改，最近又作了一次較全面的修改和补充，才整理成这本书。

本书的内容属于基础課“普通物理学”的范畴，因此在讲解时，着重于从实验事实出发，主要应用半經典半量子的理論，有时也用一些量子力学的結果，来对原子内部所发生的物理現象和运动規律进行解釋和探討。但在内容上和理論闡述上比过去一般“普通物理学”課程中原子物理部分略有充实和提高。这是由于这門学科近几年来发展很快，内容很丰富，有些东西必須反映到教材中来。

本书的内容共分三大部分：第一部分为原子结构与原子光譜，包括本书的第一章到第六章；第二部分为分子结构与分子光譜，即本书的第七章；第三部分为原子核，包括本书的第八章到十四章。

本书最近这一次的修改和加工工作，是在很短的时间內匆促完成的，并且限于我們的学識和水平，书中一定有很多缺点、遺漏、甚至錯誤，我們誠懇地希望讀者們給我們提出批評和建議，以便以后有机会再版时，把书修改得更为完整一些。

在这一次的修改工作中，北京大学李椿同志和南开大学王淑賢同志曾对本书某些内容的安排上提出了一些建議和宝贵意見，我校潘守甫同志帮助校閱了全稿，李永基同志帮助繪制了大部分插图，赵旗与赵世昌两同志帮助摄影了一部分图片，黄树勛同志帮

助編制了目录,我們对这些同志們的热忱帮助,表示十分感謝。

苟清泉 吳知非

1961年4月14日于吉林大学

助編制了目录,我們对这些同志們的热忱帮助,表示十分感謝。

苟清泉 吳知非

1961年4月14日于吉林大学

上册目录

序言	iii
緒論	1
第一章 原子結構初期理論的實驗基礎	5
§ 1.1. α 粒子的散射實驗和原子的核模型(6)	
§ 1.2. 原子光譜的實驗規律(20)	
§ 1.3. 佛兰克与赫芝的實驗(26)	
第二章 氫原子	30
§ 2.1. 玻尔的基本假設(31)	
§ 2.2. 玻尔的氫原子理論(34)	
§ 2.3. 类氫离子的光譜(43)	
§ 2.4. 由于原子核运动所引起的效应(46)	
§ 2.5. 氫原子的橢圓軌道(53)	
§ 2.6. 空間量子化(60)	
§ 2.7. 原子磁矩与史特恩-盖拉赫實驗(66)	
§ 2.8. 正常蔡曼效应(66)	
§ 2.9. 索麦菲的相对論修正(75)	
§ 2.10. 玻尔的对应该原理(84)	
§ 2.11. 玻尔理論的地位和局限性(89)	
第三章 多电子原子	91
§ 3.1. 碱金属原子結構及其光譜(92)	
§ 3.2. 碱金属光譜的双綫結構与电子自旋(107)	
§ 3.3. 电子自旋与軌道运动間相互作用能的計算(116)	
§ 3.4. 氫原子光譜綫的精細結構(120)	
§ 3.5. 原子的矢量模型(125)	
§ 3.6. 具有两个价电子的原子底光譜(130)	
§ 3.7. 反常蔡曼效应(135)	
第四章 門捷列夫周期系与原子的电子壳层結構	141
§ 4.1. 門捷列夫周期系(141)	
§ 4.2. 泡里原理和电子壳层結構(146)	
§ 4.3. 电子壳层的建造(149)	
第五章 倫琴光譜	158
§ 5.1. 倫琴射綫(158)	
§ 5.2. 連續倫琴光譜(161)	
§ 5.3. 綫状倫琴光譜(162)	
§ 5.4. 倫琴吸收光譜(167)	
第六章 量子力学概要	168
§ 6.1. 德布罗意的假設(168)	
§ 6.2. 德布罗意假設的實驗驗證(169)	
§ 6.3. 粒子的波函数与薛定格方程式(172)	
§ 6.4. 粒子在方匣中的运动(176)	
§ 6.5. 量子力学对氫原子問題的处理(179)	
§ 6.6. 氫原子的基态(184)	
第七章 分子結構与分子光譜	186
§ 7.1. 分子結構(186)	
§ 7.2. 分子光譜(188)	
§ 7.3. 分子的高解热(201)	
§ 7.4. 分子的电子状态(203)	
§ 7.5. 光的并合散射現象(205)	
§ 7.6. 液体与固体的发光(211)	

下册目录

第八章 天然放射性	215
§ 8.1. 几点预备知识(215)	
§ 8.2. 同位素及其分离方法(218)	
§ 8.3. 质量与能量的相互联系定律(221)	
§ 8.4. 放射性过程的一般特性(223)	
§ 8.5. 放射性衰变的定律(225)	
§ 8.6. 放射性强度的单位(230)	
§ 8.7. 位移定则·放射系(231)	
§ 8.8. α 衰变(239)	
§ 8.9. β 衰变(253)	
§ 8.10. γ 射线与内变换(262)	
§ 8.11. 放射性的探测方法(266)	
第九章 粒子加速器	273
§ 9.1. 引言(273)	
§ 9.2. 静电加速器(274)	
§ 9.3. 直线加速器(276)	
§ 9.4. 回旋加速器(281)	
§ 9.5. 调频回旋加速器(同步回旋加速器)(284)	
§ 9.6. 电子感应加速器(285)	
§ 9.7. 质子同步加速器(289)	
第十章 核反应	292
§ 10.1. 人工核蜕变的发现(292)	
§ 10.2. 核反应的几个特性(294)	
§ 10.3. 中子(300)	
§ 10.4. 阳电子的发现(306)	
§ 10.5. 人为放射性的发现(309)	
§ 10.6. 超铀元素(311)	
§ 10.7. “反质子”与“反中子”的发现(312)	
§ 10.8. 核反应的类型(315)	
§ 10.9. 放射性同位素应用的简单介绍(319)	
第十一章 原子核的构造	327
§ 11.1. 核的自旋与磁矩(327)	
§ 11.2. 原子核的构造·质子-中子假设(331)	
§ 11.3. 原子核的结合能(333)	
§ 11.4. 结合能的半经验公式(336)	
§ 11.5. 核模型(339)	
第十二章 原子核的分裂和原子能的利用	341
§ 12.1. 核分裂(341)	
§ 12.2. 链式反应(347)	
§ 12.3. 原子弹(249)	
§ 12.4. 原子能的和平利用·反应堆(351)	
第十三章 热核反应	356
§ 13.1. 轻原子核的聚变(356)	
§ 13.2. 太阳能(358)	
§ 13.3. 氢弹(360)	
§ 13.4. 目前实现可控制热核反应的几种主要途径(361)	
第十四章 宇宙射线与基本粒子	367
§ 14.1. 宇宙射线的某些特性(367)	
§ 14.2. 介子(370)	
§ 14.3. 宇宙射线的起源(376)	
§ 14.4. 基本粒子(378)	

緒 論

在古代的希腊和羅馬就已萌芽了的原子論，在整个物理学发展史中是一个进步的、与唯物論的科学思潮相适应的理論。在十八世紀的40年代，罗蒙諾索夫就很完善地发展了物質底原子-动力論，証明热現象是由于原子底运动。物理学和化学进一步的发展，証實了物質的結構是不連續的，但不能从这里得出物質是由絕對簡單的和不可分割的原子所組成的結論。可是曾有許多科学家認為只用不可分割的原子-微粒的結合，就能够說明实际世界底全部多样性，而且認為原子是物質底最后的“本質”。这种观点是形而上学的，不是从实验得出的。辯証唯物論断定客观存在着的世界是不可穷尽地多种多样的，而我們关于它的知識永远是近似的，但却逐漸地深化和愈益准确，不但原子是不可穷尽的，电子和其他基本粒子也都是不可穷尽的，二十世紀物理学的发展史完全証實了这个观点。

著名的俄国化学家門捷列夫所发现的周期律是具有重大意义的，这定律指出了各种化学元素的原子間互相关联的性質，是建立原子結構理論时的一个指导原則。下面，我們就要簡略地說明原子結構理論的发展过程。

在1897年前后，科学家們逐漸地确定了电子的各种基本特性，并确立了电子是各种化学元素的原子的共同組成部分。既然一切原子中都有带負电的电子，那么原子中就必然有带正电的物質，这說明原子是一个复杂的带电系統。从实验和理論两方面来研究原子本身的結構，內在的規律性和原子現象的应用等，就形成了原子物理学的丰富內容，在研究原子結構中首先要解决的問題

就是原子中帶正電的物質的分布情況。二十世紀初期，對這一問題曾提出了兩種不同的假設。

第一種假設是湯姆孫在 1903 年提出的，他假設原子中的正電荷以均勻的體密度分布在一個大小等於整個原子的球體內，而帶負電的電子則一粒粒地在球內不同的位置上分布着，並可以分別地以某種頻率在各自的平衡位置附近振動，從而發出電磁輻射，輻射的頻率就等於電子振動的頻率。這個模型和實驗的結果相矛盾，所以很快地就被放棄了。

第二種假設是盧瑟福於 1912 年提出的，他假設原子中心是一個重的帶正電的核，電子圍繞這核轉動，與太陽系的構造相似。與整個原子的大小相比，核的大小是很小的。這種模型叫做原子底核模型，是盧瑟福在他所做的著名實驗即 α 粒子的散射實驗基礎上提出來的，同時也和其他實驗結果符合，所以很快地就被公認了。

經典的電磁理論是與原子的核模型有矛盾的。因為根據經典電磁理論，繞核旋轉的電子有加速度，應當自動地放出輻射能來，放出輻射能時，原子的能量要逐漸地減少，頻率也逐漸地改變，因而發射光譜是連續光譜，同時電子因能量的逐漸減少要逐漸地接近原子核而最後和核碰上，因此使原子成為一個不穩定的系統。但事實上原子是穩定的，原子所發射的光譜是綫狀的而不是連續的。這些事實說明了從研究宏觀現象而確立的經典理論，不能適用於原子中的微觀過程，因而就需要進一步分析原子現象，探索原子內部的規律性，並建立適合於微觀過程的原子理論。

原子的發光現象是與原子內部結構有密切聯系的，因此為了要探索原子內部的規律性，也必須對光的本性有進一步的了解。經典的電磁波理論能夠很好地解釋反射，干涉……等光在傳播過程中所表現的現象，但在受熱物體的發光現象——熱輻射——中，經

典理論就遇到了困难，不能解釋全部實驗結果。为了解决這個問題，德国物理学家普朗克于1900年提出了量子假說，他假設受热物体中振动着的带电粒子所可能具有的能量不是連續的，而是某一最小量值的整数倍，带电粒子所放出的或吸收的能量也仅是这最小能量的整数倍。这个假說很成功地說明了热輻射現象。

当紫外光这一类波长較短的光綫照射在金属表面上时，金属中有电子逸出来，这現象称为光电效应。經典的理論更不能解釋这种現象。为了解决這個問題，爱因斯坦于1905年提出了光子的假說，他假設光是由一顆一顆具有一定質量、能量和动量的粒子所組成的粒子流，这种粒子称为光子。这个假說能够很好地解釋光电效应，使量子論又向前推进了一步。

原子所发射的綫光譜和原子內部結構的关系問題也是經典理論无法解答的。1916年，丹麦物理学家玻尔(N. Bohr)在卢瑟福所提出的核模型的基础上，发展了量子概念，提出了有关原子結構的假說。他假說原子所可能具有的能量形成不連續的能級，当原子的能級发生跃迁时，就发射出一定頻率的光。玻尔的假說能够說明氫原子光譜等某些原子現象，有相当地成功；但对原子問題作进一步的研究时，也显示出这理論有很大的缺点。

在1924年德布罗意(De Broglie)提出了粒子的波动性的假設后，薛定諤(Schrödinger)和其他学者在这新的基础上建立起了量子力学，能很好的解釋原子現象，但这并不是說量子力学已經很完全地解决了原子問題。原子是不可穷尽的。由于实验技术的不断发展，将能更进一步地認識原子現象，从而理論将进一步发展，比現在形式的量子力学能够更深入地反映原子的規律性。

原子物理学发展的次一阶段是研究原子核的內部結構。在1896—1898年間，法国物理学家貝克勒耳(H. Becquerel)发现鈾盐能够发出某种人眼所看不見的射綫来，这种現象称为天然放射

性現象；接着瑪麗亞·斯克拉多芙斯卡·居里(Marie Sklodowska Curie)和彼埃耳·居里(Pierre Curie)夫婦發現具有放射性更強的鐳元素。1902—1903年間盧瑟福等研究了天然放射綫的組成及天然放射現象的規律性。這些事實說明了原子核是一個複雜體而且按照一定的規律運動變化着。

1919年，盧瑟福利用天然放射綫中的 α 射綫轟擊氮原子，第一次得到了人為的核反應，並發現了質子。1932年，查德威克(Chadwick)發現了中子的存在。接着蘇聯物理學家伊凡寧科(Д.Д. Иваненко)提出了原子核是由質子和中子所組成的假設，並為世界所公認。科學家們在這一階段中的工作初步奠定了原子核結構問題的基础。

1934年約里奧居里夫婦發現了人為的放射性核；勞倫斯用人工加速粒子產生了放射性核；費米用中子引起了核反應。這些研究打開了同位素應用和核反應研究的途徑。

1939年哈恩和史特拉斯曼發現了重核的分裂，約里奧居里等人研究了鈾核分裂的鏈鎖反應，指出這類核反應中有巨大的能量發生。

1942年費米及其同事們建成了世界上第一個原子核反應堆，實現了原子核的鏈鎖反應，為原子能的利用及製備放射性同位素提供了條件。並提供了新的實驗方法以研究核的結構。

目前，關於加速器的試制和研究工作，蘇聯占世界第一。1957年蘇聯已經制成了世界上最大的同步穩相加速器產生高能粒子，可將質子加速到具有100億電子伏特的能量，為美國最大的同類加速器的1.6倍。

由於高能物理的研究，最近幾年在基本粒子物理方面也取得很大的成就，迄今已預見或發現了許多類型的基本粒子，關於基本粒子的理論方面的研究主要是以量子場論為基础。

在我国，关于近代物理的研究只在1930年前后才略有开始，全国解放以前，散在国内各地的原子核科学研究人员只有10人左右，设备方面，连一台小型的加速器也没有，最简单的观测粒子用的计数管也不能生产。解放以后，在党的领导下，我国原子核物理学的研究得到了迅速的发展。1958年6月，在苏联的帮助下，我国建成了一座规模比较大的重水型研究性反应堆，制成了能加速 α 粒子到二千五百万电子伏特的回旋加速器。在这些加速器和反应堆上正紧张地进行着原子核物理，辐射化学，同位素制备，放射生物等方面的研究工作。

在探测仪器方面，制成了核子乳胶和中子计数管及 β 、 γ 计数管等等。

关于宇宙线和高能物理方面的研究，我们曾在海拔为三千多米的高山上，建立了一个宇宙线实验室，并曾拍摄了10万多对立体照片，研究了重介子和超子的质量及衰变现象等。还建立了观测宇宙线的设备。

我国学者还参加了联合原子核研究所(在苏联)的研究工作，已取得了若干重要成果。

放射性化学和同位素应用的工作，在我国已迅速的从无到有地建立起来了，原子能科学中同位素的应用对于发展生产技术和各种基础科学的科学研究方面具有广泛的直接意义，我国社会主义工农业建设的高速度发展，给原子能科学展示了无限广阔的远景。

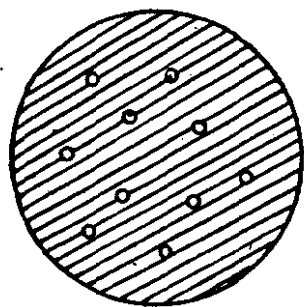
第一章 原子结构初期理论的实验基础

对原子本身的结构和其内在的规律性的较清楚的了解，是在

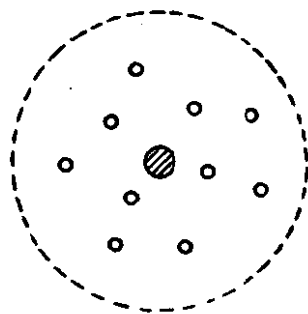
二十世紀初由若干物理學家從實驗和理論上經過相當長時期的探索後才得到的。我們將要在本章中介紹一些對探索原子內部結構和建立原子結構理論起直接作用的基本實驗和實驗規律。盧瑟福的原子的核模型和波爾的原子結構理論就是在這些實驗的基礎上建立起來的。

§ 1.1. α 粒子的散射實驗和原子的核模型

我們已經在緒論中指出，關於原子結構的問題，在二十世紀初期就曾提出兩種不同的模型，一種是 1903 年湯姆孫首先提出的，他假設原子中的正電荷以均勻的體密度分布在一個大小等於整個原子的球體內，而電子則一粒粒地分布在這球內的不同位置上。另一種是 1912 年盧瑟福提出的，他假設原子內部的正電荷聯繫着大的質量而集中在很小的中心體積內（就是原子核），而帶負電的電子則分布在與原子大小同數量級的封閉軌道上，繞着核旋轉，好象行星系一樣，對中性的原子，則所有電子所帶負電荷之和等於原子中心的正電荷。由於這個模型假設原子具有一個很小的帶正電荷的核心存在，故稱為原子的核模型。



(1) 湯姆孫的模型



(2) 盧瑟福的模型

圖 1.1. 原子結構模型的示意圖，圖中小圓圈代表電子，斜綫處代表正電荷的分布。

上面所提出的兩種模型，究竟哪一種正確，會由 α 粒子的散射實驗來檢驗。湯姆孫的模型和實驗結果相矛盾，所以很快就被放棄

了。显然这个模型带有人为的性质，因为在这模型中给与正电荷与负电荷以不同的性质：负电荷以单个的微粒(电子)存在，而正电荷则在甚大的体积内以均匀的体密度分布着。卢瑟福的原子的核模型就是在 α 粒子的散射实验的基础上提出来的，由这个模型出发所作的 α 粒子散射理论与实验结果符合得很好，所以这个模型很快地就被公认了。我们就要在下面叙述 α 粒子的散射实验。

α 粒子的散射实验是用下列原则设计出来的：用高能的 α 粒子去碰撞原子，使与原子发生相互作用并引起可以观察到的散射现象。分析和概括这些观察到的散射现象，可以逐步探索原子内部的结构，从而检验上面所述的原子模型是否正确。在这种实验中用的 α 粒子是从放射性元素中发射出来的原子量为 4 而带有双倍正的元电荷 $+2e$ 的氦离子，这样放射出来的 α 粒子速度高(达光速的 $1/15$)，且其质量也较大，约为电子质量的 7400 倍，因而具有很高的能量。用这样的 α 粒子所组成的平行射线注通过很薄的金属箔(金，银或铜等)后，发生散射现象，即一些 α 粒子改变了原来的运动方向而偏转一个角度。 α 粒子的散射情况可用闪烁法直接观察，其原理是当单个的 α 粒子碰撞荧光屏时，能够使荧光屏发出光亮的闪光，用放大镜就可观察到这种闪光。 α 粒子通过金属箔后发生偏转的现象，可以设想是由于高能的 α 粒子深入到金属箔中的原子内部后与其中的正电荷或负电荷相互作用所引起的。由于 α 粒子的质量比电子的质量大很多倍，电子作用于 α 粒子上的力不能显著地改变 α 粒子的运动方向。所以 α 粒子的散射可以看作是由于受到原子内部的正电荷的斥力所产生的。 α 粒子的散射情况应当与原子内正电荷的分布情况有关系，故研究 α 粒子的散射情况可以探索原子内正电荷的分布情况。

α 粒子散射实验的装置可用示意图 1.2 表示。图中 R 为一放有少量放射性元素镭 $C(RaC)$ 的放射源，由其中放出的 α 粒子经过