

奇异的星星

——陆埏科普与随笔

陆 埏◎等著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

奇异的星星

——陆埏科普与随笔

陆 埏 等著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

奇异的星星：陆埏科普与随笔/陆埏等著. —北京：中国科学技术出版社，2015. 11
ISBN 978-7-5046-7019-9

I. ①奇… II. ①陆… III. ①天体物理学-普及读物 IV. ①P14-49
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 267898 号

选题策划 赵 晖
责任编辑 夏凤金
责任校对 何士如
责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010-62103130
传 真 010-62103166
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 490 千字
印 张 26.75
版 次 2015 年 11 月第 1 版
印 次 2015 年 11 月第 1 次印刷
印 刷 北京盛通印刷股份有限公司

书 号 978-7-5046-7019-9/P · 186
定 价 55.00 元

(凡购买本社图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换)

前 言

2014 年的 12 月 3 日，一个令我们无限悲伤的日子，我们敬爱的陆埏院士永远地离开了我们。

陆埏先生是我们科学院大家庭中的一位杰出的科学家，他热爱祖国，献身科学；治学严谨，追求卓越；为人谦逊，提携后学的精神永远是我们学习的典范。他为我们留下了卓越的学术成就，为我们树立了一座科学精神的丰碑，将不断地激励我们为国家的富强和人类的福祉献身科学，勇攀科学高峰。

陆埏先生长期从事物理学和天体物理学的科研与教学，先生总是把他在人生路上遇到的不平事化作学习、工作的动力；对科学的执着让他总能在艰辛的科学探索中找到乐趣；他总是不断地前行、攀登，相信走过峭壁，走过荒野，阳光与清泉就会展现在面前。“宝剑锋从磨砺出，梅花香自苦寒来”。不懈的努力使得先生在粒子物理、伽马射线暴、脉冲星、奇异星和宇宙学等领域做出了杰出贡献。他成果丰硕，曾多次获得国家科技奖等重要嘉奖；在国内外学术界享有盛誉，曾多次被诺贝尔奖提名委员会邀请提名诺贝尔物理学奖。然而，先生他却很少提及自己的成就，并拒绝了许多媒体对他个人的宣传。

陆埏先生关心中国科学的进步和天文学科的发展；他重视青年人才的培养，他教书育人，言传身教，培养了一批杰出人才；他一生坚持把科学前沿知识传播给公众，引导和鼓励青少年热爱科学，崇尚科学；他是我们可敬可爱的良师益友……先生离开我们已近一年，缅怀先生为国家科学和

教育事业作出的重大贡献及其一件件发生在我们身边的感人事迹时，仍无不为之动容。“周年”之际，我们整理出版陆埏先生的“科普与随笔”及其纪念文集，在缅怀先生的同时，旨在希望更多的青年科技工作者弘扬、传承以陆埏先生为代表老一辈科学家们不畏艰辛献身科学的精神和服务国家、服务社会与创新为民的科学价值观，沿着他们的足迹勇攀科学高峰。同时，不忘履行一个科技工作者传播、普及科学知识的责任。

陆埏先生生前很喜欢他的老友罗辽复先生的一段话，在此附上，以表达对先生深深的怀念与敬意。

“生命是作为一种基因的装置而存在的。对人来说，除了生物基因外，还有另一种酷似基因可复制可传播并进化着的东西，这就是文化基因。我们可以遗留给后代的东西只有两种，基因和文化基因。柏拉图在《饮宴篇》中论证了这样一条哲理：一切有死之物都希望通过生育繁衍这个唯一可能的方式达到永生。这种以繁衍的方式达到永生的欲望是动人的。我们每一个人为传播文化基因而做的种种努力，也是美丽动人的。”

杨 戟

紫金山天文台台长
2015年10月于南京

序

2013年夏陆埏告诉我，他准备把历年发表的科学论文编一个目录，送达科学院学部存档；同时把历年写的科普随笔整理出来，编一个集子重新发表。他把科普文章和随笔总共约70篇的目录用电子邮件发给我征求意见。这是他一生科学工作的总结，也是向学术界、向后人的交代。对于陆埏这种认真负责的精神，我很感动。而他对科普文章的如此重视，也使我感触良多。随后几个月我们就进入了《从电子到夸克》一书的修改，以及对当前科学前沿某些问题的讨论。不料小书的修改和科普随笔集的整理还没有完成，陆埏就过早地离我们而去了。现在得知天文界的朋友正在编辑陆埏的科普与随笔集，我很高兴。

陆埏在科学生涯中始终把科普写作放在十分突出的地位，我以为这有两方面的考虑。第一，科普是他科学研究的不可分割的一部分，科普是体现他独特研究风格的重要场所。由于对所精心挑选所日夜从事的课题的热爱，由于对学科中一些基本概念的长期思索，由于对所形成的研究风格的偏好和追求，他的研究工作进行到哪里，科普文章就发表到那里。这是一个自然的过程。“文成于思而毁于随”。他的每一篇科普论文都是有所为而发，都是“思”的结果。甚至我能感到，如果在一个研究领域写不出一篇科普文章，他就认为自己这个时期的科学工作没做好。举一个例子，我查阅了来往通信，发现写一本关于基本粒子的科普书的想法，最早出现在1978年4月陆埏信LT1087上。当时他已经拟好了一个包含9章的详细提纲。以后来信中他不断提到这本书的写作，直到1983年3—4月的LT1300

讲述此书初稿的完成。这5年正是我们的科研方向转型期，陆埏转向了天文，我转向了生物。在此期间的信中，陆埏多次谈到选题问题。“要选做比较实在的课题，而不要做玄妙的不实在的课题。力求利用完全可靠的理论，或者根据完全可靠的实验数据来工作。一句话，宁作‘素描’，不搞‘雕龙’”。“我看上帝是平凡的，朴素的，万花筒中是找不到他的。”他认为，由于高能物理实验周期之长，基本粒子研究的高度探索性，“玄妙的课题，不实在的课题比比皆是。一个理论接着一个理论，一个模型接着一个模型。有的课题完成了，还说不出成果是什么。我们要的是真正的成果，实在的成果，经得起实验检验的成果。”拨开浓重的理论形式的迷雾，向年轻的读者说明基本粒子中真正的成果是什么，用素描的方法把它们显示出来，这是陆埏和我陆续花了几年时间写《从电子到夸克》这本小书的初衷。杨-米尔斯场是很艰深的概念，我们反复讨论如何对这个场进行科普。电荷是一个守恒量，又是电磁作用的量度；同位旋（电荷空间转动）是一个守恒量，也必是一种相互作用的量度。从这个角度可以引进杨-米尔斯场。鉴于这个场的重要性，2014年陆埏建议写一篇介绍文章，纪念它发表60周年。遗憾的是工作还没有完成，他就先走了。好在作为一种弥补，在《从电子到夸克》再版中我们已把这个内容写了进去。

把科普写作和讲述科学家的故事结合起来，是陆埏在作“素描”时为了引发读者兴趣促进人们思考常用的手法。他很推崇费米，“我看费米的每一件工作，几乎件件都是很实在的。他的科研的命中率是极高的。”我们都读了费米夫人写的《原子在我家中》，不约而同地奉之为“经典”。他还特地买了一本送给我，在20世纪80年代我曾把这本书定为研究生的必读书。

陆埏特别看重科普，一生中投入了很大精力，倾注了极大热情写科普文章。第二个背景和动机是，自然科学是人类文化的重要组成部分。他深知科普著作是人类文化遗产的不可或缺的媒体，深知科学家在人类文化传承中的责任。他很欣赏玻尔的看法：好的物理学原理必须做到能向街上过路大妈解释，能让她们都听懂。想想麦克斯韦电磁理论吧，那些方程在理论刚发表时很少人能懂，但今天任何一个大学物理系二年级学生都能理解

它的意义。随着时代的推移，少数科学家才懂的深奥原理逐渐转成普通人文化书橱中的常识。科学知识正在人类中普及，人类的科学素养正在普遍地提高，而这一切都得益于科学教育工作和科学普及工作的大范围推进。我在《物理学家看生命》（1994）这本科普小书的前言中引用了薛定谔“强调科学必须与总的人类文化紧密相连”的观点。“如果有一种理论科学，在那里这一点被忘记，在那里，已经入门的人用那些最多只被少数游客所懂得的术语互相继续着冥想，那么随着时间的流逝，它注定要萎缩和僵化。”说得多么深刻啊！其实，薛定谔的《什么是生命》就是一本真正的典范的科普著作。因此，科普不仅传播了科学知识，也让科学本身获得了进一步发展的空间和机会。

“凡尔纳，号称科学幻想之父。他的第一部著作《气球上的五星期》，15家出版商都将稿子退了回来。一怒之下，凡尔纳将稿子扔进火中，他的妻子将稿子抢了过来，再三劝说他再试一次。第16家出版商接受了这部作品，出版后竟成为一部最畅销的书，并译成多国文字。”这是陆埏在LT1278中向我们讲述的一个故事。他是用故事中人的精神和勇气激励着人们去搞科普著作的。

爱科学吧，传播科学吧。人类创造了科学，人类也将会在科学的哺育中获得升华。

罗辽复

目 录

粒子物理与物理综论	/ (1)
从原子核到部分子——微观世界的层次与粒子结构	陆 埏 罗辽复/ (3)
对称性与守恒律	陆 埏 罗辽复/ (14)
宇称不守恒发现半个世纪的回顾	陆 埏 罗辽复/ (21)
EPR 之谜与贝尔定理	陆 埏/ (32)
致密星	/ (41)
粒子与星星	陆 埏/ (43)
中子星——一个巨大的汤姆逊原子	陆 埏/ (48)
中子星与奇异星	陆 埏/ (56)
X 射线双星中的准周期振荡	陆 埏/ (69)
奇异星物理发展中的一个故事	陆 埏/ (76)
伽马射线暴	/ (79)
γ 射线爆的研究进展——20 世纪天体物理第三次大辩论	陆 埏/ (81)
γ 射线暴研究的重大进展	陆 埏/ (98)
宇宙 γ 射线暴	黄永锋 陆 埏/ (107)
γ 射线暴的研究概况	陆 埏 戴子高/ (114)
γ 射线暴能源	陆 埏 黄永锋/ (125)
宇宙伽马射线暴的余辉	黄永锋 陆 埏 戴子高/ (136)
伽马射线暴：余辉能告诉我们什么？	黄永锋 陆 埏/ (139)
破解伽马暴之谜	吴雪峰 陆 埏/ (143)
伽马射线暴的研究故事	陆 埏/ (158)

宇宙学	/	(161)
谈谈宇宙学	陆 埏/	(163)
名家谈科技——怎样认识宇宙	陆 埏/	(170)
宇宙幼年的照片——2006 年度诺贝尔物理学奖	陆 埏/	(183)
由“两朵乌云”引起的回忆	陆 埏/	(193)
宇宙学与暗能量	陆 埏/	(195)
解开宇宙之谜的十个里程碑——为宇宙加速膨胀发现 10 周年而作	陆 埏/	(203)
 序·前言·卷首语·书评·开幕词	 /	 (219)
《力学》序	魏荣爵 陆 埏/	(221)
《量子场论》序	陆 埏/	(222)
《物理科学中的数据处理和误差分析》序	陆 埏/	(224)
《天体物理方法》序一	陆 埏/	(226)
《牛顿新传》序言	陆 埏/	(227)
《太阳系演化学》序	陆 埏/	(229)
《“科学的力量”科普译丛》序	陆 埏/	(231)
《现代天体物理》序	陆 埏/	(234)
《宇宙——物理学的最大研究对象》前言	陆 埏/	(245)
《从电子到夸克——粒子物理》前言	陆 埏/	(247)
世界物理年与诺贝尔奖	陆 埏/	(249)
2009 年长江流域观测到的特大日全食	陆 埏/	(251)
话说暗物质	陆 埏/	(253)
《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》书评	陆 埏/	(255)
一本广义相对论的优秀简明教材——《广义相对论引论》	陆 埏/	(257)
推荐一本好书——《熵》	陆 埏/	(259)
中微子是粒子世界中的一个神秘成员——评《中微子之谜》	陆 埏/	(260)
INTRODUCTORY REMARKS	陆 埏/	(261)
“垃圾 DNA 与暗能量学术研讨会”——贺罗辽复教授 70 华诞开幕词	陆 埏/	(263)

Welcome Address 陆 埏/ (267)

散论 / (271)

回忆《科学》的复刊 陆 埏/ (273)

微观、宏观、宇观 戴文赛 陆 埏 胡佛兴/ (275)

爱因斯坦·实验·化学 陆 埏 周精玉/ (282)

谈谈研究生的培养 陆 埏/ (284)

用“阿仑方差”描述频率源的频率起伏变化 陆 埏/ (291)

物理史话 / (299)

1990 年诺贝尔物理奖与夸克 陆 埏 沙振舜/ (301)

从 1993 年诺贝尔物理奖说起 陆 埏/ (305)

2002 年度诺贝尔物理奖 陆 埏/ (311)

怀念核物理学家虞福春教授 陆 埏 罗辽复 王 凡 许伯威/ (321)

追忆袁家骝教授 陆 埏/ (324)

爱因斯坦与诺贝尔奖 陆 埏/ (326)

悼念我国著名核物理学家施士元先生 陆 埏/ (335)

吴健雄和袁家骝的科学贡献 陆 埏/ (337)

吴健雄教授的科学贡献 陆 埏/ (346)

C. S. Wu: A World Renowned Female Physicist 陆 埏 王 凡/ (356)

恭贺何泽慧院士 95 华诞 陆 埏/ (366)

科学作品的影响力和科学家的舛运 罗辽复 陆 埏/ (370)

Scientific Achievements of Prof. Chien Shiung Wu 陆 埏/ (375)

杨振宁获得的奖项 陆 埏/ (390)

自传 / (393)

后记 / (412)

粒子物理与物理综论

从原子核到部分子^{*}

——微观世界的层次与粒子结构

陆 埏 罗辽复

(一) 原子结构与原子核的发现

十九世纪的“原子”还只是化学上用的一个不成熟的概念，当作物质构造的一种不可分的基元。在电子被发现以后，人们开始意识到，原子应当有结构，而这种结构一定与电子有关。但是，电子是带负电的，如果原子内有电子，一定同时也有正电荷。原子内的正电荷究竟取怎样的形态呢？二十世纪初最为流行的一种原子模型，即汤姆逊模型，认为正电荷均匀分布于一个球内，电子一一嵌埋在球内各平衡位置上。

原子真的是这样的吗？“你要知道原子的组织同性质，你就得实行物理学和化学的实验，变草原子的情况”。1911年英国科学家卢瑟福等人就用 α 粒子轰击金属箔制的靶子，观察从各个方向散射出来的 α 粒子数（图1）。出乎意料，竟有并不很少的 α 粒子在偏离原方向相当大的角度 θ （甚至还有有的从相反方向）散射出来。由于 α 粒子比电子重7000多倍，它与电子碰撞不可能产生大角度的偏转； α 粒子通过正电荷均匀分布的汤姆逊原子时，起作用的有效电荷很小，也不可能产生大角度的偏转（图2）。从这个实验可以得出的唯一结论是：原子内的正电荷应当集中在一起，构成一个核心——原子核。 α 粒子射向这种几乎是点电荷的原子核，就会发生大角度散射（图3）。

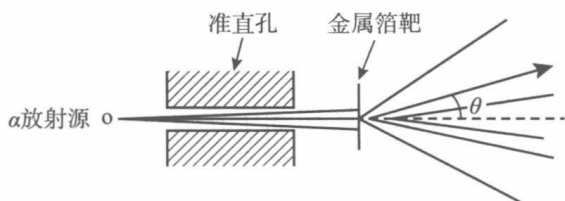


图 1

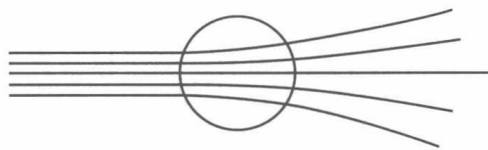


图 2

^{*} 原刊于1997年第3期《高能物理》。

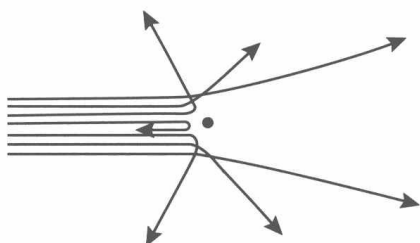


图 3

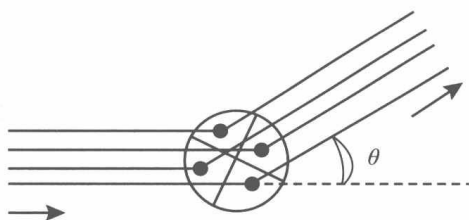


图 4

电荷究竟是点状，还是分布在某一有限体积内？这个在研究原子结构时提出的问题，具有相当普遍的意义，在更深层次的探索中仍时时出现。严格地说，应当用量子力学来处理问题，把 α 粒子散射看作一种波（称物质波）在电荷上的散射（图 4）。显然，从球体内不同部位散射出来的波有不同的位相，它们会相互干涉而减弱。散射角 θ 愈大，位相差就愈大，相互干涉减弱就愈甚。球体愈小，位相差就愈小。如果电荷集中于一点，那么全部散射波位相全同，不但不减弱，而且还加强。所以，只有在球体很小，小于波长的时候，大角度散射（大角度偏转）的几率才能大起来，换句话说，并不很少的 α 粒子的大角度散射表明了原子内存在原子核的观点是正确的。

由于原子的质量比电子大得多，它的极大部分质量集中在原子核，因此，原子可以看作由很重的、带正电的原子核与遥远地（相对于原子半径来说）绕核运行的很轻的若干电子所构成。原子的半径，也就是外层电子与原子核之间的距离，约为 10^{-8} 厘米量级，而原子核的半径却只有 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ 厘米量级。如果把氢原子核比作太阳（太阳半径 $\approx 7 \times 10^5$ 公里），那么电子还在比地球（地球与太阳距离 $\approx 1.5 \times 10^8$ 公里）更远数百倍的地方！可见，原子内是十分空旷的。在一块固体中，各个原子几乎一个挨一个地排列着，原子与原子之间已无甚空隙，但每个原子内部却空旷得惊人。

（二）原子核结构与中子的发现

刚才讲了原子可分，原子核是否也可分呢？如果可分，它的结构又是怎样的呢？

学过一点化学的人都知道，决定元素的性质和元素在周期表中位置的原子序数 Z 就是原子内的电子数。但是，原子整体是电中性的，原子内有 Z 个电子，每个电子的电荷为 $-e$ ，所以原子核的电荷必定是 Ze 。由于电子电荷总是一份一份的，自然容易想到，原子核很可能也是由另一种带正电荷（ $+e$ ）的粒子构成的。最轻的原子核（氢原子核）就带有电荷（ $+e$ ）。早在 1919 年，就有人用 α 粒子轰击氮原子核，结果发现氮原子核变成了氧原子核，同时放出一个氢原子核。由此可见，氢原子核确实就是各种原子核内作为电荷单元的粒子，被称为质子（用符号 p 表示）。质子质量约为电子质量的 1800 多倍。那么，原子核就只是由质子构成的吗？奇怪的是，各种原子核的质量并

不等于、甚至也不近似等于 Z 个质子的质量。前者往往为后者的两倍甚或更多。这表明，原子核内除了质子以外还有别的东西。

要想弄清楚原子核内究竟还有什么东西，人们要用高速粒子当作炮弹去轰击它，变革它，看看变革中会发生什么现象。三十年代初，当用 α 粒子去轰击铍靶时，出现了一种新射线。这种射线的穿透能力十分强。当它穿入轻物质（如含氢、锂、硼、碳等物质）时，会使那些轻核获得很大动能。详细地分析这些现象后，发现所谓新射线实质上是从铍原子核内打出来的一种质量与质子质量相近的中性粒子，被称为中子（用符号 n 表示）。原子核就是由质子和中子构成的，这两种粒子统称为核子（用符号 N 表示）。

一个原子核往往由许多质子和中子构成。一个通常的氧原子核由 8 个中子和 8 个质子构成；一个通常的铅原子核由 126 个中子和 82 个质子构成。但是，中子不带电，质子带正电，而同性电之间是相斥的。什么力量使这么多的中子和质子牢牢地结合成原子核呢？这不是电磁力，而是一种新力，叫核力。核力是一种很复杂的相当强的作用力。

电子只有电磁作用（以及更弱千亿倍的弱作用），没有强作用。电磁作用是人们了解得最为清楚的一种力，描述这种力的理论——量子电动力学，在至今所做过的各种实验（小至微观世界，大至天体现象）中还没有发现过明显矛盾，表明它在横跨大约 25 个量级的尺度范围（ $10^{-14} \sim 10^{11}$ 厘米）内均成立。因此，用电子来研究原子核内的电荷分布是十分有利的。那么用多么大的能量的电子去轰击原子核才能反映出原子核内的电荷分布状况呢？根据微观粒子所遵循的量子力学规律，电子能量愈高，其物质波波长愈短（如表所示）。

能量 (MeV)	1	10	100	1000
波长 (厘米)	1.5×10^{-10}	1.2×10^{-11}	1.2×10^{-12}	1.2×10^{-13}

表中 MeV 表示兆电子伏。如果被测客体直径比所用波长短得多，这个客体就如同点粒子一样，其内部结构不可能被探测出来。只有所用波长近于或短于被测客体直径，才能觉察出被测客体的内部结构。因此，为了研究原子核内的电荷分布，需要用上百 MeV 或更高能量的电子。实验上测量各种原子核内部电荷分布的结果绘于图 5 中。从图中可以看出，除十分轻的极少数原子核以外，其余原子核的电荷分布均有一个平坦区和一个比较陡然下降的边缘区。由边缘区可以定出一个平均半径 R ，不同原子核的半径可以表示为

$$R \approx 1.2 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ 厘米}$$

A 为核子数。换句话说，原子核的体积正比于其内的核子数。这个性质表明它有点像液

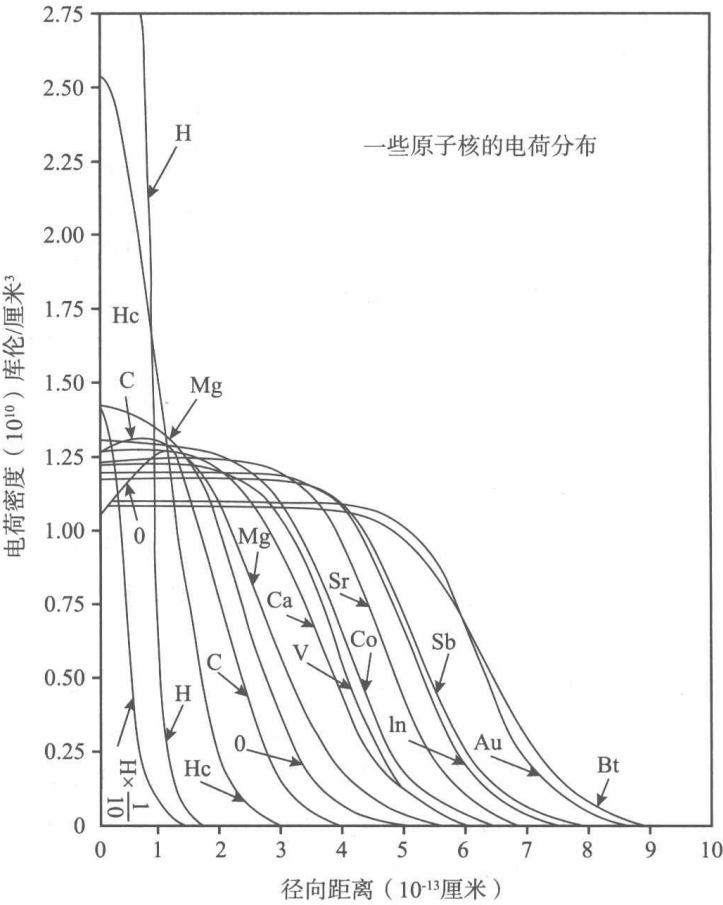


图 5

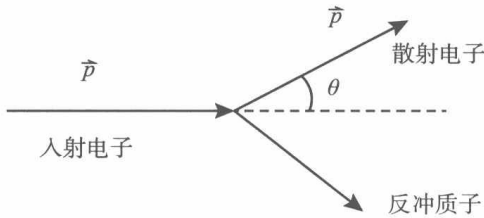


图 6

滴，内含的“分子”（此处为核子）多，液滴就按比例增大。

这些结果并不表示原子核内的电荷真的是连续分布着的。从弹性散射（散射过程中不产生新粒子，原子核的内部状态不变）测得的电荷分布，只代表各个质子在原子核内的一种几率分布，并不否定原子核内存在着颗粒状的质子和中子。

原子核与原子十分不同，前者由强作用制约，后者由电磁作用制约。它们构成微观世界的两个明显不同的层次。但原子核由核子构成，颇有点像分子由原子构成。原子核内核子与核子之间的核力与分子内原子与原子之间的化学力（实际就是带电粒子间的电磁力）十分相像，它们在较大距离上都表现为吸引，而在较短距离上都表现为强烈的排斥。原子核的运动形态与

分子的运动形态也颇为类似，它们都具有转动和振动这类集体运动形态。因此，将原子核与分子看作微观世界的两个有别于核子与原子的副层次也许更合适些。人们对分子、原子、原子核已有较清楚的了解，自应继续努力，再向核子层次的结构挺进！

(三) 核子是点粒子吗

核子是点状的吗？质子是点电荷吗？为了探明这些，就得用更高能量（1000 MeV