

中学物理教程

学生读物

5

原子的模型



〔美〕 杰拉尔德·霍尔顿 F·詹姆士·卢瑟福

弗莱彻·G·沃森 编

程毓徵 译



中学物理教程

学生读物 5

原子的模型

[美] 杰拉尔德·霍尔顿
F. 詹姆士·卢瑟福 编
弗莱彻·G·沃森
程毓徵 译

文化教育出版社

《中学物理教程》是美国哈佛大学杰拉尔德·霍尔顿等主编的一套教学资料，包括课本和手册、学生读物、教学影片等。课本和手册共六册，书名分别是：运动的概念、天空中的运动、力学的成就、光学和电磁学、原子的模型、原子核。每册都有一本配套的学生读物。本书是配合第五册课本的学生读物。书中汇集了二十篇文章，都选自一些书籍、刊物的最精彩部分，围绕近代物理的两个重要基础——相对论和量子力学，讨论了其中的基本概念、规律，介绍了著名科学家的思想和工作，以及进行科学研究的探索精神和体会，也有一些文章讨论了有趣的宇宙航行的物理问题和技术问题。这些文章多出自著名的科学家，笔调生动活泼，引人入胜，读后能开阔思路，扩大知识面，激发学习物理的兴趣。

本书可供师范院校和中学的教师、学生及中等文化水平的读者阅读、参考。

*

The Project Physics Course

Reader 5

Models of the Atom

Gerald Holton

F. James Rutherford

Fletcher G. Watson

HOLT, RINEHART and WINSTON, Inc.

New York, Toronto

1971

中学物理教程

学生读物 5

原子的模型

[美] 杰拉尔德·霍尔顿 等编

程毓徵 译

文化教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 10.25 字数200,000

1984年10月第1版 1986年11月第1次印刷

印数 1—2,300

书号 7057·080 定价 1.35元

目 录

1. 失败与成功.....	1
2. 相对论中的时钟佯谬.....	11
3. 研究之岛.....	15
4. 观念和理论.....	16
5. 爱因斯坦.....	28
6. 汤普金斯先生与同时性.....	47
7. 数学与相对论.....	53
8. 测量员的寓言.....	136
9. 电梯内外.....	143
10. 爱因斯坦与某些文明的缺陷.....	150
11. 教师与玻尔原子理论.....	162
12. 科学的新风光.....	166
13. 物理学家心目中的大自然图象的演进.....	189
14. 狄拉克和玻恩.....	211
15. 我就是这全世界：厄尔文·薛定谔.....	223
16. 波动力学的基本概念.....	233
17. 哨兵.....	247
18. 船长的盒子.....	258
19. 空间旅行：物理问题和工程问题.....	271
20. 寻求新定律.....	305

作者叙述了伴随一个科学发现的挫折和喜悦。

本文是根据斯诺作为物理化学家的早期经验写成的。

1. 失败与成功

C. P. 斯诺

本篇摘自他的小说《探求》，1934、1958 年版。

几乎当我刚一重新拾起那个题目时，它就使我感到另有蹊径可寻。从前那些尝试原来都是荒唐的。于是我想：把它们通通放弃，另起炉灶如何？新设想虽然也很渺茫，但旧的那些却一个也不对。按照新设想，这结构与任何人能想到的都不一样；但它一定对，因为原来那个貌似正确的结构与一切事实都不相符。不久我就开始用代表原子的粘土球和作连接用的钢丝设计新结构了。我重整原有的那些结构，用作比较，然后造成了新的，它看上去十分古怪，与我以往所见过的结构都很不一样。我很兴奋——“我看行了”，我说，“我看行了。”

这时我回想起关于那些分布曲线的一些计算，那是按照以前那些模型的。那些数值哪个也不象是正确的。我马上看出，新结构一定会给出接近些的数值。我立即投入计算：这真是一道又长又麻烦又复杂的算术。多次由于烦躁造成失误而不得不重新计算之后，终于突围而出。答案出来时我很感震惊：新模型虽不完全符合，却比其他任何一个都要接近得多。就我记忆所及，某一点的正确数值是1.32，原先三个模型给出的

是1.1、1.65、1.7,而新值是略低于1.4。“终于得到了,”我想。“射程虽远,终于中的。”

我用了两个星期从事筛选自研究这个课题以来所得到的
一切结果。我存有
很多图表和一大叠X光照片(因为在剑桥的新仪器中,我正用一台摄影探测器);其中大部分我经常翻阅,几乎都背得出来了。但我仍然进行一次复查,比原先更加仔细,力图从新结构的角度来解释它们。我想:“如果它对头,这些曲线应该升到极大值,然后下降。”结果果然如此,只是极值所在处,曲线不象想象的那样陡。对所有实验都查了一遍,这些实验是我辛勤工作一年的成果;它们全都适合这个结构,只是略有出入,有偏高偏低之处而已。有些地方要做一点近似,应该把结构略加修改,但它的方向对头,这一点我确信无疑。有一天上午我回屋吃饭,喜气洋洋,老想找个人把消息公布,使劲向不相识的骑车人挥手。我想给奥德丽打电话,又马上改变主意,预备第二天去看她。这一天国王校场街显得特别可爱,呼啸而过的年轻人也特别可爱。我匆忙吃完,原想心满意足地休息一下,却又立即赶回实验室,为的是把一切做完,不留尾巴,然后再去休息片刻。我感到的是奋战之后的回味。

还剩下四张照片需要检验。它们是这个星期前两天照的,我已经看过一次。现在只要再确切地测量一下,记载下来,工作便算结束了。我看了第一张,一切合乎理想。这结构比在早些的实验里显得更好。再看第二张,我点上一支烟。然后看第三张,我注视着那些黑点。一切都好——可是突然心里砰然一跳,我发现每个清楚的黑点后面还有一个淡色的斑。

我大感泄气：我搞错了，完全错了！我力求找到其他解释：也许胶片有毛病，也许实验有错误。可是它那样子却明明是在嘲笑我：不但一点不错，这次实验还是我到达正常状况唯一的一次呢。是不是可以作别的解释呢？我盯着那些数字，那些一张张写着被我强加于方案中的结果的纸。双颊红得发烧，我试图把照片纳入我的想法之中。想出一个不对头的假设，又想出一个不对头的假设，可能实验有误差吧——我继续胡猜乱想，但一点不想自我批评。仍然无济于事。我的确是错了，是不可挽回地错了。还得从头做起。

我于是又想：假如当初并没有照过这张照片，那又会怎样呢？完全可能当初并没有照过这一张。那我就可以满足于原来的想法：别人也会满足的。证据是大量的，唯有这一张是例外。这样我就搞成了一件大事，我会成名。当然迟早会有人重做这个实验，会指出我的错误。但那将是很久以后的事，而我的错误也是一种光荣的错误。就我的材料而论，我本是正确的。人人都会这样看待这件事。

我回想，当时我曾一度想毁弃那张照片。这完全是下意识的。但我又缩回了手，同样是下意识的，是由于——该说是“良心的遣责吧”——也许不止于此，是由于原来促使我投身于这项研究的愿望吧。我一定要取得我想象是真理的东西。荣誉、舒适和奢望当然也都使我动心，但还是我的那个愿望作用最大。不自作姿态，也不作有意的解释，我嘲笑了打算毁弃照片的企图。不过嘲笑得相当软弱。我在笔记本上写下：

三月三十日：唯独第三号照片上出现了副点，与主点同心。这就排除了结构B假说的一切可能性。三月四日到三十

日间所作的解释因此必须放弃。

从那天起，我明白了，而以往并不明白，随时随刻都会渗入科学中种种谬误。有时候它们是无意造成的：由于不方便而没有看到某些事实，即自己的感官受到了蒙蔽。就象我这次吧，我没有看到点的副环，这是由于不自觉地没有看到。有时候，虽较罕见，欺诈却更接近有意的；也就是说，即使人不能控制，欺诈却成了事实。

我这次的企图就是这种情况。这种欺诈只有那种人才搞，当他身上的科学热忱敌不过地位、金钱等世俗欲望时。有时，没有什么坚强信念的人，在一时冲动下，也会干这种事。然后他们就无动于衷地忘怀此事，继续进行良好的诚实工作。也有人干了这种事以后，终身自我谴责。我相信，从我以往所看到的许多错误中，我能够挑出来种种欺诈。从那个下午以后，我无法对它们容忍一些。

对于我自己，除了从头开始工作别无他途。我重读笔记本上的记录；墨迹犹新，但却象是已经确立，无法更改了，久久使人绝望。我没有别的可干，就把原先发明出来、后来又抛弃了的那些结构列成一表。一共有四个。慢慢地，我又造出一个。我感到没有结果。我并不相信它；当我进行试验，想弄清它的性质时，只是勉力而为。我一直坐到六点钟，工作一无所获；当我走到街上，以及整整一夜，问题啮我心肠：“这结构到底该是什么样？我能找到它么？究竟错在哪里？”

在那个星期之前，我从来不曾有过连续两个不眠之夜。功败垂成，使我倍受打击。以往我避免责备自己为了此事耗时数月，而现在呢，正要结束工作，却又将再浪费一年时间。我

很晚才爬上床，倾听剑桥的钟声，一下接着一下地敲出子夜后的时辰。夜色朦胧中，我忽然有点念头，于是点起灯来，草草地写在笔记本上，看看表，又去入睡。休息不久又突然惊醒，希望已到了早晨，却原来只睡了二十分钟：这样一直醒到东方发白，种种疑虑，耿耿于怀，怠惰的眼神茫茫凝视未来。“这结构到底该是什么样呢？我该向哪个方向走呢？”随之好象还有一个副题，“我第一个大课题就要以失败告终吗？难道我将来只能成为做点小题目的人？”还有一点，“冬天我就要满二十六岁了：也该有所建树了。我还能有点成就吗？”夜里从床上爬起来写下的那些想法，原来好象还有点希望，如今在寒气逼人的曙光下，再看起来却是颇为荒唐的。

这种状况继续了三夜，弄得我白天的工作只成了虚装门面。后来暂时平静下来，这一夜我忘却苦恼，一直睡到第二天中午。可是，虽然我醒后精神复元，问题又在我脑海中盘旋起来。这样又继续了不少天，毫无对策。某天我沿着城区和伊利之间的泥泞小路走了二十英里，想藉此清醒头脑；结果却使我过分疲倦，只好借酒催眠。另一个晚上，我去看剧，可是我听到的并不是演员的话语，而是我脑子里自行形成使我不得休息的另一套对话。

IV

我又开始了。思想不再在老地方徘徊了。一天我正看着奥德丽，突然一个想法闪出迷雾，完全不合常理，也不合逻辑。跟我至今所做的一切无望尝试毫无干系。我本以为我已穷尽一切途径，可是这个却是全新的。我激动得都不能对自己说

我相信它，立刻拿出一些纸试图把它写出来。奥德丽以期待的目光盯着我。我没能写下多少。需要用以前的数字和表格。但我写下的这些却都是响当当的。

“我有了新想法，”我解释道，装出镇定的神情。“未必有什么大了不起。不过也可能真有点东西。但无论如何也该弄出来。可是书不在这儿，我们马上回去好么？”我想当时我一定已经站了起来，因为奥德丽直笑。

“我很高兴你到底找到了不听我说话的借口，”她说。

她把车开得飞快，一路沉默。我盘算着工作计划。我想，怎么也得一个星期。我弓着背坐在车上，提醒自己这次还可能又是全盘大错。不过这结构雏型已现，我有一点开始嘲笑我过分小心。我曾转头一次，看到奥德丽的侧影映在田野上，不过马上又回到那个念头上来了。

当我在卡文迪许实验室门口下车时，她留在车上。“你一个人更好些，”她说。

“可你呢？”

“我到绿街坐坐。”她在周末出游时，总要到那里停留的。

我踌躇了。“那——”

她微笑。“我晚上等你。十点钟左右，”她说。

V

一连三个星期，我忙于把新的想法塞进大量事实中去。我也不干别的，只是计算，考虑新的事实，在测定照片时确保无误。我还创造了一个办法：先不确定我的测量是否正确，重复一次，一天之后，感到没有把握了，就再重复一次以消除疑虑。

我简直报也不读信也不写。不管干什么，我总是焦躁不安，除非这事有助于解决问题。即使如此，也不能安定下来休息，总象是发烧时半睡半醒那样。

然而，尽管有这种种折磨，我还是逐渐平静下来，颇有清新之感。我开始感到喜悦，但这种喜悦是安宁的，不同于胜利的狂喜，也不同于兴奋的神经过敏。我内心中已感到确是接近真理了。不再推测，也不再怀疑，我感到确是近乎正确了。即使我到拂晓还不能入寐，激动地工作得双颊通红，我也能保持宁静，使得这种种不适都好像微不足道，都在旁人身上。

这时复活节已过，剑桥几乎空了。我很高兴，自由自在地走在空旷的街上。一天晚上，许多新事实纷至沓来，使新结构显得更加正确，然后我离开实验室，这时感到走在卡文迪许大楼下多么美好啊！生逢科学的伟大时刻多么美好啊！给伟大的时刻增添纪录多么美好啊！到国王校场街走一趟，看看耸立在不见星光的黑暗天空中的教堂多么美好啊！

劳累和确信交织在一起，忧虑和平静交织在一起，这种滋味以前还没有尝到过。就在这时，我意识到自己生活在奇特的幸福中了。也许应该说，我已意识到，在它过去之后我必将铭记着它。

就这样一连几个星期，我独自呆在实验室里，拍摄照片，在红灯下细看还在滴水的胶片，又把它们拿到光亮处仔细研究，直到我熟知每一个灰斑，从那些考验新结构的斑点，一直到胶片面上每一个划痕、疵点。然后，眼睛累了，我就放下放大镜，转向一张张图表，它们包括实验结果，结构的细节和我

要提出的种种预言。往往我会说：如果这结构对，那么这个晶体的氧原子应该距最近的碳原子 1.2 原子单位；晶体应该沿这根轴裂开，而不是沿那根轴；它应该比我上次量过的那个晶体硬，但不如再前面那一个硬，诸如此类。一连几天，我这些预言不仅是大体正确，而就我的测量手段所及，是相当准确的。

我现在还保留着那些数据表，我停下笔来又把它们看一遍。从我第一次看到它们至今已十年以上，可是当我此刻读着：

预计值	观察值
1.435	1.44
2.603	2.603

等等长串数字时，我心头仍然感到当年的温暖。

最后一切近乎完成了。能做的事我都做了；作为结束，我又提出一个预言，其答案是无可辩驳的。在有机物那一组里，还须有一种东西，只有慕尼黑制造，在英国得不到。如果我的结构正确，它的晶格里的原子只能有一种图样。如果不是这种结构，那图样就会完全不同。一张该晶体的X光照片，一天之内就能使我得到我需要的一切。

可是真让人心焦，手头没有那东西。倒是能写信从慕尼黑弄些来，但需要一星期，一星期可太长了。可又别无他计。于是我开始用我蹩脚的科学家德语写信，——接着我想起了吕蒂，他一年前回了德国。

我给他发了电报，问他能否得到那种晶体，用他的设备照一张相。我想这顶多让他忙个上午，我们的交情足以让我这

样要求。下午我得到回电：“晶体已得，明日电复，助你为荣，吕蒂。”我看到“助你为荣”不免一笑，这是他不能省去的。于是我又发一电：“请预计对称性和距离……”

这样，我有二十四小时要等。被本能驱使去摸摸木头，^①我刚把电报发出又想追回。如果——如果我错了，没有人会知道。可是电报已经发了。不过，我虽惶惶不安，却又有几分自以为是。这一夜我几乎没睡；尽管我的超脱思想在嘲笑我的身体所做的蠢事，但它还是继续做下去。我吃不下早饭，喝了一杯又一杯茶，烟刚点着又扔下。我看着自己干这些蠢事，但不能制止它们，就象你可以看着自己在恐惧中的身体一样。

下午过去了，没有电报来。我安慰自己说时间还过得有限。我跑出去一个小时，期待回来时看到有电报在屋里。我做尽了等待的一切动作。夜幕降临，我心神不安而极感空虚。坐下来想读点什么。屋里越来越黑，我也不想点灯，不愿看到时光的流逝。

终于下面门铃响了。我在楼梯上见到房东太太拿着电报。不知道她是否觉察到我拆封时双手在发抖。电报说：“祝贺预计完全正确，有幸证实，迟复为歉，因仪器调整。吕蒂。”我一时呆若木鸡，眼前只看到吕蒂发电报时向邮局营业员鞠躬如也那副模样。我笑了起来，至今还记得笑声之古怪。

随后我高兴得了不得。以前我读到过科学事业曾经带给我的几次高潮：父亲谈论恒星的那个夜晚，卢亚德的课程，奥

^① 谚语：“摸摸木头，事情一定能成”。美国人有时说：“敲敲木头”，或“摸摸木头，好运就不会跑掉”。——译者。

斯汀的首次演说，我第一次研究工作的结束。但这一次跟以前不同，大不相同，不可同日而语。那些离我本身较远。那里也有我的胜利、喜悦和成功，可是和这宁静的欣喜相比，它们都微不足道。就好象我曾寻找一个客观真理，而找到了它就在一瞬间变成了所寻找真理的一部分；好象整个世界，所有的原子和所有的恒星，对我都异常清晰、非常亲切，而我对它们也是这样，于是我们成了一个清晰理解的部分，它比任何神秘都惊人得多。

以往我从未想到还会有这样一种时刻。这种时刻的某些味道我以前曾经在欢乐中体验过，在我踌躇满志去找奥德丽分享欢乐的时候；以及在与朋友追求共同目标而把自己忘怀的时候——这是很稀有的，在我生活中大概只有两次吧。不过那些时刻，似乎可以说，只有这种经验的味道，而没有这个经验本身。

在那以后，我就不再得到这种时刻了。但有一种影响将对我一生起作用。我年青时一度嘲笑过那些神秘主义者，他们总爱描述说经验与上帝一致，是事物统一性的一部分。那天下午之后，我就不想笑他们了。因为虽然我将用另外的方式来解释经验，我想我已经理解了他们的意思。

这是相对论里最感人的结论之一，这里使用很少篇幅仅借助初等数学加以说明。

2. 相对论中的时钟佯谬

C·G·达尔文

原载科学杂志《自然》，1957年。

在我和某些执拗的朋友探讨这个问题的过程中，我碰到一个数字例子，我觉得它比任何数学公式都更容易使人理解这个问题。也许这会使《自然》的某些读者感到兴趣。

毫无疑问，得到公认的相对论是一个完整而自圆其说的理论（至少是在远远超过这里所讨论的问题范围内）。这理论非常肯定地认为，一位宇宙旅行者在航行归来时要比留在家中的孪生兄弟年轻。我们大家一定会本能地反对这个说法，可是它已经被公认是相对论的一个基本部分了。如果丁格尔（H. Dingle）教授的反对意见是正确的话，它就得把目前已经形成的全部相对论摧毁。

有些人在理解这个问题时，还发现有更进一步的困难。当两个物体背道而驰时，每一方都看到在另一方所发生的事情按多普勒效应减慢，相对论则要求双方表现出按完全相同的程度减慢。那么，如果双方都带着可被对方看到的时钟，两方的钟将表现出以相同的速率变慢。反过来，如果双方又互相走近，两只钟也将同样地变快。乍看起来，这似乎是表明，两个物体之间存在着严格的对称性，因而最后没有哪一个钟

记录下来的时间会落后于另一个。我们这个例子将说明这种论断何以不对。

为了说明时间差是怎样产生的，只用狭义相对论就够了，不必考虑引力来使事情复杂化。两只宇宙飞船， S_0 和 S_1 ，一同飘浮在自由空间里。 S_1 点燃一枚火箭，就此奔向一颗远星。它抵达后再点燃一枚更强的火箭来使航向反转。最后使用第三枚火箭，减低速度，最后停在 S_0 旁边。 S_0 在这段时间里一直留在原地。于是它们交换经验。两只飞船的重新会合是这个实验的关键，因为唯有通过这一点，关于那众所周知的“在两地的时间”的种种困难才得以避免。

我们把工作这样安排，使得普通的驾驶员就能做，而不需要乘务员里有人通晓“在两地的时间”这个奥秘。为了做到这一点，我设想两条船备有同样的铯钟，都设有打出钟点的装置。每次打点时，每船还要发出闪光。这些闪光要被另一条船看到，并进行计数，对照自己钟的打点声记载下来。最后比较两个记录。

首先应该注意到，在三次改变速度的短暂时间里， S_1 的钟会走动失常。这个麻烦可以避免，就是在点燃火箭之前通知他关闭时钟，到他不再感到舱壁挤压，从而知道已经恢复均匀速度时再打开。他的时间总数会受到这个误差的影响，但是不管他是飞往仙女座星云 (Andromeda Nebula) 还是只不过飞往火星，误差的程度都一样。因为所讨论的这个时间是和此人离去的总时间成比例的，加速度的直接影响可以不计。

我把 S_1 旅行的速度选为 $v = \frac{4}{5}c$ ，因为在这一特殊情况

下，没有讨厌的无理数要考虑。我选的那颗远星距 S_0 4 光年。按 S_0 的钟计时，往返旅程要花 10 年。启程之后双方都立刻看到对方的闪光按多普勒效应减慢。按照相对论，为此应采用的公式是 $\sqrt{(c+v)/(c-v)}$ ，在本例中等于 3。这就是说，每位船员按自己的钟以每三小时一次记下对方的闪光。相反地，当它们再次接近时，每人以每小时三次记下对方的闪光。

直到此时，两船之间一切事情都是完全对称的，然而问题是：分别地对两条船来说，慢闪光在多久之后将变成快闪光。先看 S_1 。在向外的航途上它看到慢闪光，但当它在恒星上倒转航向后，闪光立刻就变成快的了。不论此时他的钟所指为何，它必是将来到家后所指的一半。所以他在路程的一半中以每小时 $1/3$ 次得到闪光，在另一半中是每小时 3 次。全程的平均数应为每小时 $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}+3\right)=\frac{5}{3}$ 次。在此期间， S_0 已送出 10 年中的闪光数，所以最后 S_1 的钟将记下 $3/5 \times 10 = 6$ 年，这个，当然他会在自己的详细记录上直接证实。

S_0 的记录就大不一样。他先见到慢闪光，以后见到快闪光。但其转折点取决于 S_1 的反回，这发生于距他 4 光年的地方。因此，他将在 $5+4=9$ 年之间见到慢闪光，因此只有 1 年见到快闪光。他数到的总数是 $\frac{1}{3} \times 9 + 3 \times 1 = 6$ 年的数值。他看到 9 年慢闪光和 1 年快闪光，大大不同于 S_1 的慢快闪光各 3 年的经验。于是，当两船船员比较记录时，记录大不一样，但是双方仍同意， S_0 的钟走了十年，而 S_1 的只走了六年。

也许， S_0 会说由于某种原因，在运动中 S_1 的钟走慢了，但