

吴京平 著

无中生有的世界
量子力学外传

HISTORY
OF
QUANTUM
MECHANICS

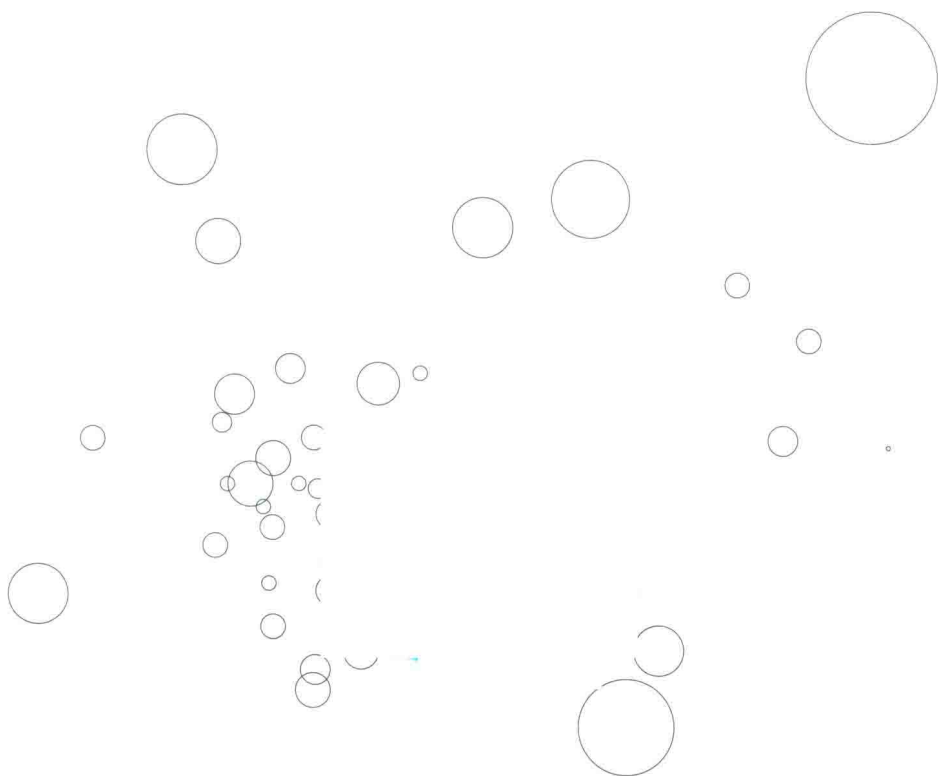
北京时代华文书局

无中生有的世界

量子力学外传

吴京平 著

HISTORY OF QUANTUM MECHANICS



图书在版编目 (CIP) 数据

无中生有的世界：量子力学外传 / 吴京平著. -- 北京：北京时代华文书局，2018.7
ISBN 978-7-5699-2457-2

I. ①无… II. ①吴… III. ①量子力学—普及读物 IV. ①0413.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 122163 号

无中生有的世界：量子力学外传

Wuzhongshengyou de Shijie : Liangzilixue Waizhuan

著 者 | 吴京平

出 版 人 | 王训海

策划编辑 | 高 磊

责任编辑 | 鲍 静

装帧设计 | 程 慧 段文辉

责任印制 | 刘 银

出版发行 | 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街 136 号皇城国际大厦 A 座 8 楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 | 固安县京平诚乾印刷有限公司 0316-6170166

(如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换)

开 本 | 880×1230mm 1/16 印 张 | 17.25 字 数 | 260 千字

版 次 | 2018 年 7 月第 1 版 印 次 | 2018 年 7 月第 1 次印刷

书 号 | ISBN 978-7-5699-2457-2

定 价 | 58.00 元

版权所有，侵权必究

目录 / CONTENTS

01. 化学元素表的诞生	001
02. 神秘的X射线	016
03. 群英汇集的卡文迪许实验室	029
04. 黑体辐射公式的成功推导	038
05. 量子物理学草创时期的“三巨头”	052
06. 索尔维会议：决战量子之巅	063
07. 原子模型初现	072
08. 上帝之鞭	081
09. 新量子力学大门将启	093
10. 矩阵力学与波动方程	108
11. 测不准的量子	118
12. 真空不空	128
13. 薛定谔不懂薛定谔方程	142
14. 科学家逃离德意志	157



15.核武大竞赛	161
16.曼哈顿工程	174
17.海森堡算错	192
18.原子弹之父奥本海默	200
19.量子电动力学三杰	207
20.不平衡的宇宙	222
21. 隐变量出局	237
22.夸克理论的成功	255

01. 化学元素表的诞生

1907年2月2日，圣彼得堡寒风凛冽，气温下降到了零下20多摄氏度。一群学生走在滴水成冰的街道上，为他们的老师举行葬礼。围观与随行的群众多达万人，阵容十分“豪华”。听过传统相声《白事会》的朋友可能知道，我国旧时有钱人出殡，阵仗也很豪华。队伍最前头走的往往是逝者的长子，抱着先人遗照；后边跟着的是亲朋好友；再后边是各种念经做法事的队伍，和尚、老道若干人等。吹鼓手也十分卖力气，唢呐的声音尤其富有个性，正所谓“喇叭声咽”，持续制造悲伤的气氛。但是欧洲人可没这么热闹，气氛是肃穆庄严，大家只是安静地走向墓地。最前方学生们举着的大横幅上既不是逝者的名字，也不是逝者的遗照，而是一系列的符号，上面写着H、Fe、Zn……

究竟是什么人的故去能引起这么大的阵势呢？那些奇怪的符号又是什么呢？现在只要学过中学化学的人都知道，那些符号是化学元素符号，H是氢，Fe是铁、Zn是锌……可出殡怎么还跟化学搭上边儿了呢？因为刚刚去世的就是俄罗斯伟大的化学家门捷列夫——元素周期表的发现者（图1-1）！

门捷列夫1834年出生在寒冷的西伯利亚，他的父亲是一所中学的校长，可惜在门捷列夫13岁的时候，他父亲就去世了。门捷列夫的母亲很坚强，独自拉扯着一群孩子长大成人。门捷列夫的兄弟姐妹太多了，一共有17个，足够开篮球联赛了。门捷列夫在家排行第十四，我们不妨尊称一声“十四爷”。门捷列夫的学业严重偏科，拉丁语尤其让他头痛，经常考试不及格。考不过毕不了业该怎么办呢？幸亏学校老师是他亲戚，这才勉强及格毕了业。毕业

后，门捷列夫如同出笼之鸟一般，拉着几个同样不喜欢拉丁语的同学爬上了附近的小山，一把火把拉丁语课本给烧成了灰。哪里有考试，哪里就有烧课本，历史总是一遍一遍以不同的方式重演。



图1-1 雕像：门捷列夫和元素周期表

门捷列夫的母亲很不简单，古有孟母三迁，门捷列夫的母亲也不遑多让。本来丈夫一死，家里收入锐减，生活过得就很艰难了，而他母亲经营的玻璃厂又因为失火而倒闭，真是雪上加霜。但是她知道，再穷不能耽误孩子受教育。1894年，她决定变卖家产去两千公里以外的莫斯科，毕竟大城市的教育资源比较丰富；后来又辗转到了柏林、巴黎；最后来到了俄国首都圣彼得堡。门捷列夫也真不含糊，考上了医学院，在当时，医生和律师都是有前途的职业。可惜啊，门捷列夫上尸体解剖课的时候，直接晕过去了，不得不退学，看来他与医生这个职业没缘分。他父亲的校友——圣彼得堡高等师范学校的校长听说这件事后，便决定要帮门捷列夫。师范院校不收学费，门捷

列夫家经济困难，读师范是再合适不过的了。作为交换，学生毕业以后要到指定的学校去当老师，这也是合情合理的事情。

1850年，门捷列夫就读师范院校的物理数学系，成绩出类拔萃。同年9月，门捷列夫的母亲病逝，门捷列夫决心更加发愤读书，获得了学校的金奖，1855年以第一名的成绩毕业。不幸的是，毕业之际他得了肺结核，在病床上躺了很长时间。在克里米亚养病期间，他读完了硕士课程。毕业以后，他去过好多地方的中学当老师，比如辛菲罗波尔、敖德萨，都在乌克兰那一片。他教的课程很杂，各种科目都教，自己还要搞科研写论文。门捷列夫家是造玻璃的，从小就跟硅酸盐打交道，所以他的论文也和硅酸盐有关系，比如《硅酸盐化合物的结构》。

1857年，门捷列夫被破格录用为圣彼得堡大学的化学讲师，可惜工资微薄，他不得不到处当家教补贴家用。不光是他，就连他的前辈齐宁教授当年初入职场时，也要兼职家教来补贴家用。有个瑞典来的工程师帮着沙皇研制水雷，工程师的孩子也跟着来到俄国，齐宁就给这孩子当家教。这孩子真是聪明绝顶，十几岁就对化学非常在行。他的名字是阿尔弗雷德·诺贝尔，就是日后那个诺贝尔奖的设立者，著名的炸药大王。阿尔弗雷德·诺贝尔的父亲搞水雷研制，所以他在炸药行业的成就算是有家学渊源的了。理论上诺贝尔跟门捷列夫算是同门师兄弟关系，都是齐宁的学生。齐宁的学生里面还有个名人就是鲍罗丁，这位化学家在本职工作上的成就远不如在业余爱好上取得的成就出名，他是俄罗斯乐派“强力五人团”的成员，写了交响诗《在中亚细亚草原上》，歌剧《伊戈尔王子》。齐宁教授也对他们大力举荐提携，毕竟人才难得。

1859年至1861年间，门捷列夫被选拔去德国和法国留学。到国外游历了一圈后，门捷列夫最大的感受就是俄国太落后了，好多先进的仪器俄国都没有，即便是试管、烧瓶之类的器具都需要他自己动手去做。好在他家是开玻璃厂出身，做个烧瓶、试管并不费力。所以他在西欧见到著名化学家本生的时候，俩人聊得特别投缘，因为本生也擅长自己动手制造实验仪器。那个时代正是化学工业从无到大发展的时代，化学工业的进步速度非常快，化学家特别容易变成实业家，比如诺贝尔，他家就是做实业的，大炮一响黄金万

两，著名的武器公司博福斯公司就是他家开的。发明制碱法的索尔维后来也发了大财。后文中还会提到这两个人。

门捷列夫当时没想那么多，他就想在学校好好给学生们上课。他在大学里教授基础的无机化学。化学课一入门就要学习各种各样的化学元素。在1863年，科学家们已经发现了56种化学元素，平均每年都能发现一种新的化学元素。当时发现新元素还都是化学家的工作，哪能预料到若干年后被物理学家们抢了饭碗啊。这么多的元素，它们之间到底有什么联系呢？这个问题也不是没人想过。1829年，德国化学家德贝莱纳提出了“三元素组”观点，把当时已知的44种元素中的15种分成5组。元素的化学性质似乎表现出了周期性的规律。法国人德尚寇特斯提出了关于元素性质的“螺旋图”，德国的迈尔发表了“六元素表”。后来，英国的纽兰兹又提出元素化学性质是有周期的，每隔7种元素就会出现化学性质类似的情况，称为“八音律”。他在英国皇家学会做了个报告。大家听完了报告以后全乐了，说：你太“喂儿”了，你认为元素也是跟音阶一样，是do re mi fa so la ti吗？这不是胡扯嘛！你可算知道按照原子量排序了，你怎么不按照拉丁字母排序啊？纽兰兹的心灵遭到严重打击。当时科学界并不认为这些元素之间有什么内在联系，化学性质相似不过是一种巧合罢了。当时凡是研究元素周期律的人，都不同程度地遭到冷嘲热讽。

门捷列夫也在潜心研究元素之间的联系和规律，但是周围的人，包括他的老师齐宁教授都不支持他。在他们看来，化学元素相互之间是没有什么联系的。门捷列夫从小爱玩牌，他做了很多卡片，每一张卡片上都写了元素的名称、原子量、化合物的化学式和主要性质。之后，他把卡片加以系统排列，先是把卡片分成三组，按元素的原子量大小排列，但毫无结果。他又打乱了这种组合，把它们排成几行，再把各行中性质相似的元素排成列……门捷列夫激动了，这样排列之后出现了他完全没有料到的情况——每一行元素的性质都是按照原子量的增大自上而下地逐渐变化。例如，锌的性质与镁相近，这两个元素便排在相邻的两行中，锌挨着镁。根据原子量，在同一行中紧挨着锌的应该是砷，如果把砷直接排在锌的后面，砷就落到铝的一行中去了。但是，这两个元素在性质上并不相近。如果把砷再往下排，它就和硅相

邻。可是硅的性质又不同于砷的性质。这样，砷可以再往下排，排在磷的后面。元素的排列是有规律的！但是，在锌和砷之间还留有两个空位，这又如何解释呢？门捷列夫激动地设想，这些空位也许属于尚未被发现的元素，而它们的性质应与铝和硅很相近！他比纽兰兹更向前了一步，他发现，已知的60多种元素并不是连续排列的，中间空着好几格，应该还有没被发现的元素能够填进这些格子里。

门捷列夫在化学元素符号的简单排列中发现了规律，他把其他工作都放到了一旁，集中力量解决元素的排列问题，因为他发现表中元素的排列还不完善。

他把与之有关的各种学术杂志拿来，反复阅读、研究，发现杂志上关于某些化合物的性质和组成的材料常常相互矛盾。他认为，这是对原子量的测定不准确造成的，这也使得他的元素表中有些元素没能排在与其性质相符的位置上。

门捷列夫决定亲自进行实验。1862年，他对巴库油田进行考察时，着手重测了一些元素的原子量。经过半年的努力，他发现有些的确与别人的结论不符。他按照自己测定的元素的原子量把它们排在性质相近的元素行列中。

门捷列夫发现了元素有着清晰的系统性，元素的性质随着原子量的改变而改变。1869年3月，门捷列夫在他题为《元素性质与原子量的关系》的一篇论文中首次提出了元素周期律，就这样，世界上第一张元素周期表诞生了！

门捷列夫的元素周期表（图1-2）有67个格子，还有4个格子是空着的。门捷列夫预言并详细描述了当时科学界尚不知晓的三种元素——“类硼”、“类铝”和“类硅”的性质。但是各国同行们全都摇头晃脑地死不买账，他们一致指责元素周期表是纯粹的形式主义，只是为了便于研究而根据元素的近似性分了一下类，实际上毫无用处。

G. R. Z.	Gruppe I. R ⁰		Gruppe II. R ⁰	Gruppe III. R ⁰	Gruppe IV. R ⁰	Gruppe V. R ⁰	Gruppe VI. R ⁰	Gruppe VII. R ⁰	Gruppe VIII. R ⁰
	H=1								
1	Li=7		B=9,4	Be=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
2	Na=23		Mg=24	Al=27,8	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
3	K=39		Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
4	(Ce=63)		Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
5	Rb=86		Sr=87	Yt=90	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
6	(Ag=108)		Cd=112	In=113	Sn=116	Sb=120	Te=125	J=127	
7	Cs=133		Ba=137	Pb=186	Po=140	—	—	—	—
8	(—)		—	—	—	—	—	—	—
9	—		—	Th=228	Pa=230	Ta=182	W=184	—	Os=196, Ir=197, Pt=198, Au=199.
10	—		—	—	—	—	—	—	—
11	(Au=199)		Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—		—	—	Th=231	—	U=240	—	—

图1-2 1871年版本的元素周期表

门捷列夫需要新元素的发现来证实他的预言，哪怕只证实一个也好，但他不知这会是多么漫长的等待。6年后的一天，门捷列夫在翻阅法国科学院院报时，看到一篇有关勒科克·德布瓦博德兰发现了一种叫作“镓”的新元素的文章。他迫不及待地读完了，新发现的元素的性质与门捷列夫预言的“类铝”的性质很相似。毫无疑问，这是一个伟大的胜利！不过，法国科学家勒科克测定镓的比重为4.7，而门捷列夫计算出的却是5.9。门捷列夫写信给勒科克，告诉他，从他所发现的镓的性质看，就是6年前自己预言的“类铝”，并且告诉勒科克，他所测定的镓的比重不对。

勒科克读了门捷列夫的信后，一脸懵圈，门捷列夫根本没有拿到这种元素，怎么能断定自己所测定的比重是不对的呢？不过，测比重还是很容易检验的，于是勒科克再次认真地进行了测量，结果他信服了，门捷列夫是对的！勒科克在读了6年前门捷列夫发表的关于周期律的论文后，才完全理解了自己的发现的意义：自己用实验方法证明了俄国科学家门捷列夫的预言，从而证实了门捷列夫元素周期表的正确性！镓的发现在科学家中间引起了更强烈的反响，门捷列夫和勒科克立即闻名全世界。科学家们为这一最初的胜利所鼓舞，开始探索门捷列夫预言的尚未被发现的另两种元素。欧洲的数十个实验室都在紧张地工作着，千百个科学家渴望获得不寻常的发现。

又过了4年，瑞典科学家尼尔森教授发现了一个新元素，它完全符合门捷列夫所描述的“类硼”，尼尔森把它叫作“钷”。门捷列夫的预言再次得到证实，俄国科学家的成就得到了世界的承认。1886年初，德国化学家文克勒

发现了新元素“锗”，又验证了门捷列夫的“类硅”元素的预言。

元素周期律获得公认后，各种荣誉潮水般涌向门捷列夫，他一夜间成了世界第一流的化学大师、俄国人民心中的科学英雄（图1-3）。他被多个国家的科学院聘为外籍院士。1882年，他与迈耶尔共同获得英国皇家学会的最高荣誉——戴维奖章。虽然门捷列夫的贡献巨大，但是他没能当上俄国科学院院士，因为他支持圣彼得堡的学生运动，愤然辞去圣彼得堡大学的职务，得罪了沙皇政府。齐宁去世之后，科学院空出一个院士的名额，教育部门的人给委员会施加压力，不许门捷列夫当选，最终赞同票对反对票为9:10。舆论哗然，沙皇政府被骂得狗血喷头，不得不重新推选门捷列夫为院士。但门捷列夫才不稀罕呢，他干脆拒绝加入。后来政府请他当“度量衡总局”局长，门捷列夫把国际单位制引进了俄国。海军又请他帮忙改进火药，谁叫他们1905年刚刚在旅顺口吃了败仗呢。门捷列夫为俄国而到处奔忙。



图1-3 门捷列夫纪念邮票

门捷列夫也没能得到诺贝尔奖，因为评审委员会有个科学家跟门捷列夫有私人恩怨，这个人叫作阿累尼乌斯，他提出了溶液的电离学说。正因为他提出了电离学说，毕业论文迟迟通不过，毕不了业。他的导师认为他是胡说

八道，可是国际上知名的学术大腕儿可是很看得起这个毕不了业的学生，甚至到学校来看他，这可把他的导师给吓得不轻。阿累尼乌斯自己当年也是学术压制的受害者，当权以后却也学会了挟私报复别人。正是他从中作梗，导致赞同票对反对票为4:5，门捷列夫没拿到诺贝尔奖。说到底，有人的地方就有江湖，这一年的诺贝尔奖颁发给了莫瓦桑。转过年来，大家觉得这一回总该轮到门捷列夫拿奖了吧，哪知道门捷列夫突然去世了。门捷列夫说过：“天才就是这样，终身劳动，便成天才。”他真的工作到最后一刻，由于突然心梗发作，公历1907年2月2日（俄历1月20日），门捷列夫与世长辞。

门捷列夫只是发现了元素的周期律。随着原子量的增加，每隔一段就会出现元素性质近似的情况。但是元素周期律背后蕴含的规律是什么呢？大家并不知道。大自然哪里会轻易把自己的秘密透露给人类呢？那岂不是太便宜我们了。

就在大家惊叹门捷列夫元素周期表的神奇的时候，出麻烦了。英国剑桥大学当时的校长威廉·卡文迪许是正经八百的德文郡公爵。他家祖上有一位“科学怪人”叫亨利·卡文迪许，此人脾气古怪，也不结婚，深居简出地钻研科学，一辈子淡泊名利，从来不靠刷论文数量来体现自己的学术水平，留下的手稿倒是很丰富。他的后辈——第七代德文郡公爵威廉·卡文迪许当上了剑桥大学的校长，自己掏腰包建立了一座实验室，聘请当时的电磁学宗师麦克斯韦来执掌，这个职务就相当于剑桥大学物理系的系主任。麦克斯韦对卡文迪许的手稿很感兴趣，花了大量时间整理。1879年麦克斯韦去世以后，这一切都由瑞利男爵（本名约翰·斯特拉特，是第三代瑞利男爵）接班执掌。

瑞利男爵注意到了卡文迪许手稿里面记录的一件事。一个玻璃容器，倒扣在碱液里面，空气都聚集在顶部。伸进两个电极，打出电火花，空气中的氧气和氮气在电火花的作用下会形成二氧化氮。二氧化氮是酸性的，会被碱液吸收。空气中还会有少量二氧化碳，本身也是酸性的，也会被碱液吸收。随着不断放电，顶部空气越来越少，按理说空气里面也没什么其他成分了，最后应该被吸收得一点不剩，所有空气都会被消耗光。但是卡文迪许发现不是这样的，最后总有一个小气泡消除不掉。这是为什么呢？卡文迪许只是做

了记录，并没有下结论。100年过去了，大家根本没注意这件事，但是瑞利男爵注意到了。他当时在测量各种气体的密度，别的气体密度测量结果都很准确，唯独氮气的密度老是测不准。（图1-4）

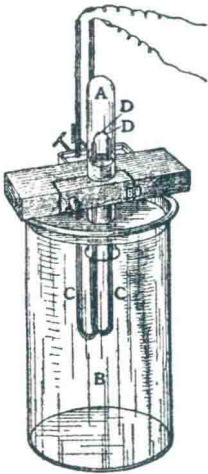


图1-4 卡文迪许使用的是原理类似的装置

获取纯净的氮气有两个办法，第一种是从含氮的化合物里面提取出氮气，第二种是清除掉空气里面的其他气体，那么也就只剩下氮气了。用这两种办法获得的氮气测量出来的密度居然是不同的，相差了1.2‰。瑞利男爵一个头两个大，这到底是为什么呢？这要是别人碰上，根本不当回事，可是瑞利男爵是个特别仔细的人，他总觉得这事不对劲。魔鬼总在细节里，很多科学发现都是在小数点后面好几位数的数值变化里挖出来的。他一次次重复试验，测出来的比重就是对不上。所以卡文迪许的手稿给了他一个启发，莫非空气中还有其他成分？

瑞利男爵自己搞不定，便广发英雄帖，看谁有兴趣来帮他。喊了半天，没人理他。后来一个叫拉姆塞的人蹦出来，表示自己有兴趣（图1-5）。这个拉姆塞用了别的办法。他让空气不断通过炽热的镁粉，镁粉很活泼，高温下会跟氧气和氮气发生作用。最后折腾来折腾去，总是留下个小气泡。这个小

气泡到底是什么玩意？量太少，测定成分显然还不够，拉姆塞开始大规模地烧镁粉，最终把这种奇怪的气体收集了好几升，瑞利男爵自己也另外搞出了500毫升。这下好了，足够实验用了。他们想尽办法把这东西跟其他元素放在一起，加热也罢，放电也罢，人家就是刀枪不入，跟谁都不发生反应。这是何方神圣，居然有金刚不坏之身？拉姆塞一看，折腾不动这东西，那么就不得不把他老师最趁手的法宝请出来了。

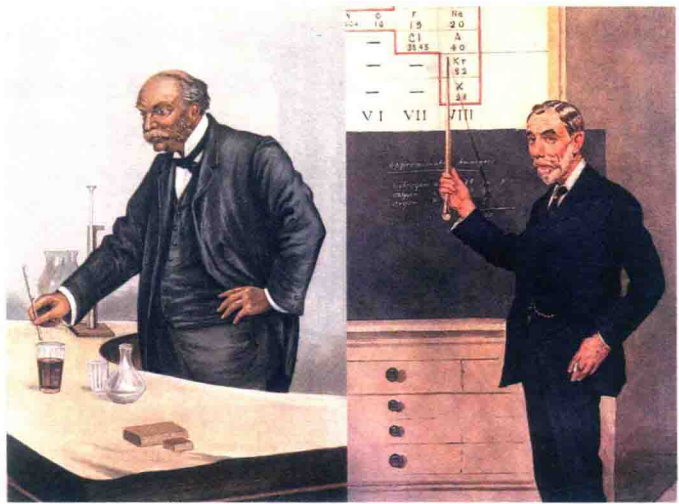


图1-5 瑞利男爵和拉姆塞

拉姆塞的老师是谁啊？他老师叫基尔霍夫，是大名鼎鼎的物理学家。更重要的是基尔霍夫还有一位“好基友”（基尔霍夫的朋友，简称“基友”），就是前文中提到过的那位本生。这个本生擅长自己鼓捣化学仪器，缺个瓶瓶罐罐的，自己就能造。实验室普遍使用酒精灯，但是酒精灯的温度根本不够用，本生就开始利用煤气制作高温灯具。可本生造的煤气灯浓烟滚滚，根本不好使。恰好他的学生从英国带回了法拉第设计的新灯具，但是这个灯火焰小、温度低，仍然不够用。本生想到了改进方案，最后是彼得·迪斯德加按照本生的思想搞定了灯的改进，但名字还是叫“本生灯”（图1-6）。



图1-6 本生灯

本生灯其实就是一种煤气灯，温度很高，能达到2300摄氏度，而且煤气灯的火焰颜色很淡，不会干扰实验。基尔霍夫和本生同在海德堡大学工作，那时本生正对一个现象着迷，就是不同的金属盐撒到本生灯上会出现五颜六色的火焰，非常美丽。本生发现，这些颜色好像跟金属元素有关系。比如你烧的是含钠的盐，发的就是黄色的光，烧的是含钙的盐，发的就是砖红色的光。本生越烧越兴奋，逮着什么烧什么。基尔霍夫在旁边看不下去了：别烧啦！你烧起来没完啦！

本生对基尔霍夫说，不同的颜色很可能代表不同的元素。基尔霍夫眼前一亮：真的吗？好像是这么回事啊，基尔霍夫脑子一转，人凭着主观印象描述颜色，是根本不靠谱的，要想精确描述光的颜色，只能依靠光谱分析。他跟本生一说，本生一拍大腿，说干就干。基尔霍夫立刻去找来三棱镜，两个人一顿敲打，造出了世界上第一台光谱仪（图1-7）。

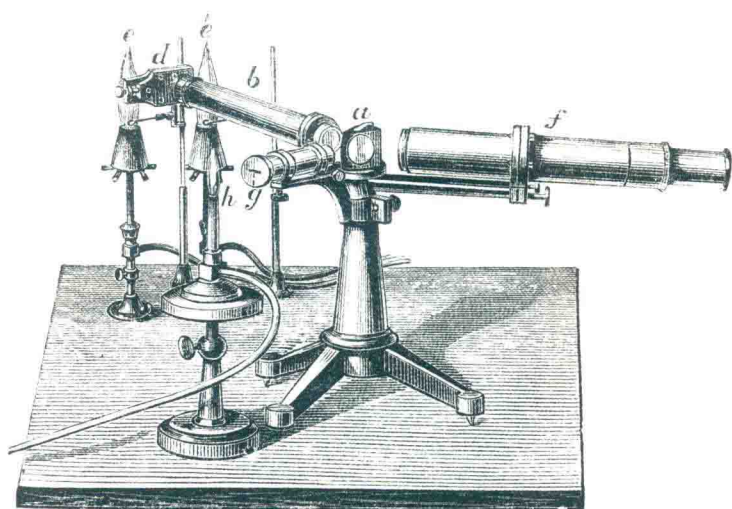


图1-7 光谱仪

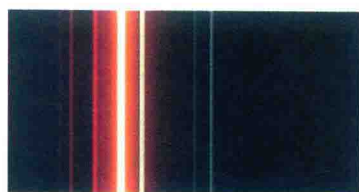


图1-8 低压钠灯的光谱线

他们俩又是一通烧，把能烧的金属盐都找来烧一遍，大有收获。比如说钠盐的光谱，是两条黄色的谱线，不是连续光谱，谱线很窄。各种元素的光谱都不太一样（图1-8）。要是连续的光谱还不好辨认呢，现在一根根细细的谱线，那就好比是每个元素独有的条形码。本生还把一大把金属盐撒上去，考考基尔霍夫能不能根据光谱线反推出元素。连续测试了很多回，基尔霍夫总是回答得分毫不差。这两个人乐疯了，他们俩发现了一种鉴别元素的新方法，而且灵敏度很高，这是1859年的事。第二年，圆明园就被烧了。不由得感慨一下，都是人，差距咋就这么大呢……

就在1859年10月20日，他们俩向柏林科学院做了个报告。报告的题目别