

让泡利敬重的三个半物理学家

卢昌海

喜欢物理学史的朋友想必都知道，泡利是一位以批评尖刻、不留情面著称的物理学家，荷兰物理学家艾伦菲斯特曾给他取过一个外号，叫作“上帝的鞭子”。至于他的具体“执鞭”事迹，大家可能已经听得多了，在这里我只讲一个在我看来流传较少，并且特别有趣的。我们知道，俄国有位以狂傲著称的物理学家，叫作朗道。有人画过这样一幅漫画：朗道坐在讲台上，长着一对天使翅膀，头上绕着光环（仔细看的话，那光环似乎是用量子力学波函数 Ψ 组成的），下面的学生则个个长着长长的驴耳朵，恭恭敬敬地聆听教诲。无独有偶，泡利的学生在泡利面前也有耳朵偏长的感觉，在泡利的学生中流传着这样一种说法，那就是他们可以问任何问题，而不必担心问题太愚蠢，因为任何问题对泡利来说都是愚蠢的。

也许是看武侠小说种下的好奇心，当我第一次读到朗道的故事时，心中就闪过了一个问题，那就是：如果狂傲的朗道遇到尖刻的泡利，会发生什么情况？

当然，我没指望这个准武侠问题会有答案。可没想到的是，这个问题居然真的有答案。据说有一次朗道到苏黎世去做演讲——众所周知，苏黎世是泡利的老巢，而且泡利当时正在巢内！结果一向狂傲的朗道藏起了天使翅膀，收起了 Ψ 光环，讲完后还破天荒地谦称自己所讲的东西也许是错的。“噢，绝对不是，”泡利安慰说：“你讲的东西是那样地乱作一团，我们根本弄不清哪些是对的，哪些是错的。”

这个故事我在英文文献中没有看到过，也不知其原始出处，不过已故中国科学史学家戈革先生在他的《史情室文帚》中讲过这个故事，从而应该是有来源的——不过那来源也可能只是八卦。20世纪前30年的物理学史实在太过激动人心，距今虽然才不过一个世纪，却已像上古神话一样抹上了传奇色彩。一般来说，除非是物理学家在信件、访谈或回忆录中记述过的亲身经历的东西，别的一切都可能只是八卦。罗伯森在《玻尔研究所的早年岁月》一书中曾经写道：“在大多数情况下，这些逸闻几经转

述，变得更具有寓言或象征性的含义，它们既是一代物理学家留给下一代的部分遗产，也是物理学史中围绕这一不寻常历史时期的不断增长的神话中的一部分。”

不过，事实也好，神话也罢，既然泡利是这样一位有趣人物，我们就要问了：这位以尖刻著称，甚至能让朗道变“谦虚”的人物心中，是否也有让他敬重的物理学家呢？答案是肯定的，但人数不多。我数了数，总共只有三个半。不过在介绍这三个半人之前，我先要对“敬重”一词做一点说明，因为这个词对泡利和对别人是有一定差别的，对泡利来说，我觉得它的“定义”是这样的：

从不批评=极度敬重

偶尔批评=比较敬重

偶尔表扬=有点敬重

狠狠批评=正常朋友



泡利与海森伯（左）

好了，现在我们言归正传，先说那半个人，他的名字大家都很熟悉，叫做海森伯。论辈分，他其实是泡利的师弟（年龄也比泡利略小）。尽管辈分不高，但早在1924年，在这位师弟尚未完成任何重大工作时，泡利就已对他刮目相看。当时人们正被复杂元素的光谱问题搞得焦头烂额，泡利在给玻尔的一封信中将几乎所有物理学家都损了一通，说他们可以分为两类，一类是先用半量子数算一遍，如果不行就改用整量子数；另一类是先用整量子数算一遍，如果不行就改用半量子数。但他特意加了一个

注释：“我不把海森伯包括在内，他更有头脑。”泡利的遗孀在泡利去世后接受一位科学史学家采访时，也曾回忆说泡利对海森伯的物理直觉有很深的敬意，认为那种直觉“盖过了所有的反对理由”。

当然，泡利与海森伯也闹过别扭，在 20 世纪 50 年代，他们两人曾合作发展过一种非线性旋量理论（那是海森伯版的“统一场论”）。但泡利后来不仅退出了合作，而且对海森伯进行了公开而尖刻的批评。杨振宁曾回忆过 1958 年夏天他们在日内瓦国际高能物理会议上的争论，他说：“这是我从来没有见到过的，两个重要的物理学家当众这样不留情面地互相攻击。”但是，在同年秋天，泡利却告诉海森伯：“你必须把这项工作推进下去，你总是有正确的直觉。”当然，那段时间泡利的情绪和健康都已不太稳定（那年的 12 月 15 日，他就离开了人世），对他那段时间的言论也许不宜做太多解读。不过在与泡利年纪相仿的物理学家中，从未有第二个人从他那里得到过如此高的评价，因此海森伯这“半个人”的地位应该是很稳固的——或者说是“测得准”的。



泡利与爱因斯坦

现在来谈谈那三个“完整的人”。首先亮相的是爱因斯坦。虽然在有关泡利的故事中，不乏拿爱因斯坦垫背的，比如关于泡利指出爱因斯坦错误的故事，而且我还可以补充一件流传较少，但绝对真实的事情，那就是当爱因斯坦发表了反对哥本哈根诠释的 EPR（Einstein Podolsky Rosen, EPR）论文之后，泡利在给海森伯的信中曾经调侃道：“假如一个大学生在低年级时提出了这样的反对意见，我会认为他很有头脑，也很有前途。”不过，尽管留下了上述白纸黑字，综合地讲，泡利对爱因斯坦这位 20

世纪最伟大的物理学家是充满敬意的。我们知道，泡利和爱因斯坦晚年曾在美国普林斯顿高等研究院共事过。1945 年，当泡利获得诺贝尔物理学奖时，普林斯顿的同事们为他举办了一个庆祝会。在会上，爱因斯坦出人意料地发表了简短的祝贺。泡利对来自爱因斯坦的这份祝贺极为珍视。几年后，爱因斯坦 70 岁生日时，泡利在给爱因斯坦的信中这样写道：

您的 70 岁生日给了我一个愉快的机会，在向他表示由衷祝贺的同时，告诉您我是多么感激您在普林斯顿给予我的私人友情，以及您 1945 年 12 月在研究院庆祝会上的讲话给我留下的记忆有多么难忘。

爱因斯坦去世后，泡利在给玻恩的信中，再次提到了爱因斯坦的那次讲话：

这样一位亲切的、父亲般的朋友从此不在了。我永远也不会忘记 1945 年当我获得诺贝尔奖之后，他在普林斯顿所作的有关我的讲话。那就像一位国王在退位时将我选为了如长子般的继承人。

泡利对爱因斯坦发自内心的敬重，在这些绝无半分调侃的文字中流露得非常清晰。



泡利与玻尔正在玩翻转陀螺
（这是我最喜欢的物理学家相片之一）

不过在让泡利敬重的人当中，爱因斯坦还排不到第一，甚至连第二都悬，因为争夺第二的是一位强劲的对手：丹麦物理学家玻尔。在量子理论发展史上，人们对玻尔具体贡献的大小或许有所争议，但几乎无可争议的是，他是一位极富感召力的领袖人物。大多数年轻物理学家对玻尔都非常敬重，其中包括那位以狂傲著称的朗道。朗道不仅敬重玻尔，而且还很谦虚地向他请教过有什么秘诀能把这么多有才华的年轻人聚集在自己周围（玻尔的回答是：我只是不怕在他们面前暴露自己的愚蠢。不过据说朗道向别人转述这一回答时，把“暴露自己的愚蠢”

错说成了极具朗道特色的“暴露他们的愚蠢”)。作为哥本哈根学派的铁杆成员,泡利跟玻尔的关系也是非常密切的。1922年,玻尔在哥廷根做了一系列演讲,由此结识了海森伯和泡利。演讲后泡利在给玻尔的信中表示:“非常感谢您在哥廷根时那样亲切地让我了解到最广泛的问题,那对我来说有着无可估量的益处。”二十多年后,在回忆自己的科学生涯时,泡利再次表达了对玻尔的敬意,他说:“我科学生涯的一个新阶段始于我第一次遇见尼尔斯·玻尔。”

关于泡利对玻尔的敬意,还可以补充一个很有趣的例子。我们知道,泡利曾把玻尔的弟子,比利时物理学家罗森菲尔德戏称为“教皇的唱诗童子”。但事实上,在玻尔这位“教皇”面前,泡利本人也时常表现得像一位试图博取疼爱的孩子。1924年底,在讨论元素光谱时,泡利给玻尔的信件中居然出现了这样的文字:“如果我的胡思乱想居然真能使您又亲自关心起多电子原子的问题来,那我就将是世界上最快乐的人了。”老实说,如果把上述文字中的物理去掉,我恐怕会分不清说话者是泡利还是琼瑶。世上能让泡利以如此语气写信的人,恐怕只有玻尔了。因此,玻尔在让泡利敬重的人当中绝对是可以坐三望二的(而且我倾向于把他排第二)。

不过,泡利和玻尔在多数观点上虽可算是同气连枝(与“站在了历史的错误一面”的爱因斯坦不同),但也免不了要受泡利的批评,比如玻尔那短命的BKS(Bohr Kramers Slater, BKS)理论,就因为放弃了严格意义下的能量守恒定律而遭到了泡利的批评。后来当美国物理学家康普顿等人用实验否决了BKS理论后,玻尔在给同事的信里承认,泡利“长期以来就是对我们的‘哥本哈根叛乱’不表同情的。”

那么,在与泡利有深交的物理学家之中,有没有谁是从未受过泡利批评——从而按我们的“定义”是让泡利“极度敬重”——的呢?有,但有且仅有一位,那就是泡利的导师索末菲。事实上,泡利不仅从未批评过索末菲,甚至终其一生都在索末菲面前谨守着弟子礼仪。哪怕当他早已成为极有声望的物理学家之后,只要索末菲走进他的屋子,泡利就会立刻站起,甚至鞠躬行礼。他的这种乖顺的举止常常让习惯了严厉批评的他的弟子们感到有趣。对此,奥地利物理学家韦斯科夫在其自传中有过记述:

有一个人泡利对他的反应是不同的。当阿诺德·索末菲——泡利以前的导师——来到苏黎世访

问时,一切就都变成了“是,枢密顾问先生,是,那是最有趣的,虽然我也许会倾向于稍稍不同的表述。我可不可以这样来表述?”对于太经常成为他霸气牺牲品的我们来说,看到这样一个规规矩矩、富有礼貌、恭恭敬敬的泡利是一件很爽的事情。



泡利与索末菲(左)

关于泡利对索末菲的敬重,除外人的观感外,还可以举出泡利本人的文字。索末菲70岁生日临近时,泡利开始撰写一篇索末菲感兴趣的文章。为了让文章能恰好完成于索末菲生日当天,泡利将完稿日期推延了几天。但擅自推延索末菲喜欢的文章是有风险的,万一老爷子生气怎么办?于是他给索末菲写了一封安慰信:

您紧皱的眉头总是让我深感敬畏。自从1918年我第一次见到您以来,一个深藏的秘密无疑就是,为什么只有您能成功地让我感到敬畏。这个秘密毫无疑问是很多人都想从您那儿细细挖掘的,尤其是我后来的老板,包括玻尔先生。

事实上,不仅泡利如此,索末菲所有的学生在他面前都保持着恭敬的礼节,而索末菲本人似乎也很喜欢这种礼节。这种老派的德国礼仪曾让一些美国物理学家不以为然。比如美国氢弹之父泰勒就表示自己不太喜欢索末菲,原因就是太重礼仪。他说美国物理学家冯弗莱克年轻时曾经见过索末菲。第一次见到时,他打招呼说:“早上好,索末菲先生”,索末菲基本未予理睬;第二次见到时,他打招呼说:“早上好,教授先生”,索末菲只是淡淡地笑了笑;直到后来当他说:“早上好,枢密顾问(下转25页)

(图 2)。由于中子从产生出来到被下一个铀核吞掉的时间最长也不过 0.001 秒, 50 代才 0.5 秒。所以短时间内能量骤然增长, 最后发生爆炸。核武器利用的就是这种不可控的链式裂变反应原理。

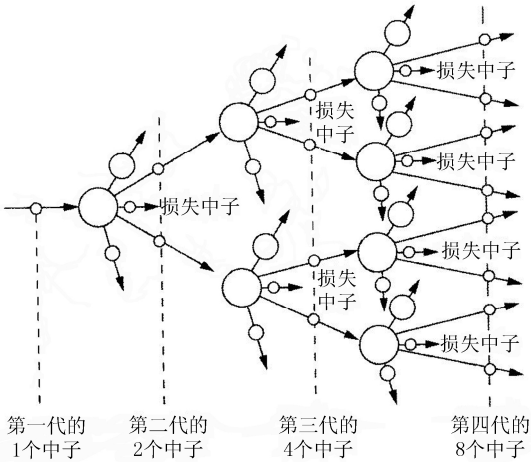


图 2 不可控链式裂变反应示意图

综上所述, 不论是核反应堆还是核武器, 要使裂变反应持续不断地进行下去, 必须要保持参与裂变的中子数倍增。但是, 铀 235 在自然状态下只占 0.7%, 它处在为数众多的铀 238 的包围之中, 中子很难冲破重重包围而幸存下来被铀 235 所吸收。所以, 需要从天然铀中对铀 235 进行浓缩。核电站使用的核燃料铀 235 的丰度需达到 3% 左右, 而核武器级的铀的丰度需要达到 90%。这就是说, 原来在 1000 个天然铀原子中, 只含有 7 个铀 235 原子, 而经过浓缩, 则可以提高到 30 个甚至 900 个。这样一来, 发生核裂变的概率会极大地增加, 这对于中子的增值非常有利。

铀浓缩就是从天然铀中把铀 238 除掉, 以增加铀 235 的含量。但是, 这种分离却是一件非常困难的事情。因为铀 235 和铀 238 是同位素, 它们的化学性质完全相同, 所以不能借助化学反应进行分离。幸好, 铀的同位素的物理性质存在微小的差别, 所以可以采用物理方法进行同位素分离。目前, 常用的方法有电磁分离法、气体扩散法、离心机分离法和激光分离法。这样看来, 伊朗获取浓缩铀的方法采取的是离心机分离法。

离心分离法, 其原理和洗衣机的甩干功能相似, 就是根据质量不同的物体, 做相同角速度的圆周运动时, 所受到的离心力不同, 因而抛洒的落点不同的原理对物体进行分离。原则上, 它有很高的效率。

然而, 铀以金属的形式无法进行分离, 必须把铀转变成气体的化合物。研究发现, 氟化物为最好的形式, 所以采用了六氟化铀。将天然铀制成氟化物时, 即可得到两种六氟化铀分子的混合气体。一个是含有铀 235 的六氟化铀分子, 另一个是含铀 238 的六氟化铀分子, 这两种六氟化铀分子的重量, 分别为 349 和 352。虽然都是胖子, 但其质量毕竟不同, 铀 238 稍重些, 故可以采用离心分离法。如图 3 所示, 在高速旋转的离心机中, 含铀 238 的六氟化铀分子较重, 受到离心力大, 落点靠近外围; 含铀 235 的六氟化铀分子较轻, 受到离心力较小, 则聚集在轴线附近。从外周和中心分别引出气流, 就可以实现同位素的初步分离。但是, 经过一次分

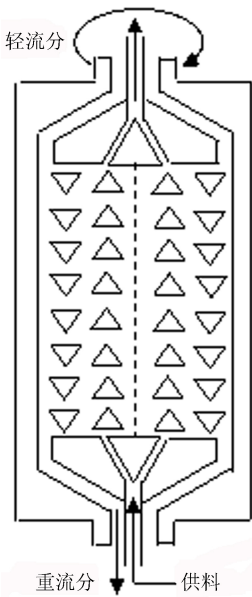


图 3 离心分离法原理图

离, 铀 235 的丰度只能提高百分之零点几。所以必须将数量庞大的离心机串联起来, 经过无数次的分离, 最后才能得到丰度达标的浓缩铀。因此从离心机的数量可以推断浓缩铀的丰度。

回到伊朗问题, 至此不难明白, 国际社会为何如此关注伊朗的离心机数量了。

(北京北方工业大学理化教研室 100144)

~~~~~  
(上接 48 页) 先生”时, 索末菲才赞许地回答说: “你的德语进步很快啊。”

但不管怎么说, 在索末菲的学生之中, 有六人获得过诺贝尔奖, 几十人成为第一流的教授, 他们的名字足可铺成一条 20 世纪物理学的星光大道。索末菲本人虽从未得过诺贝尔奖, 却是一位无冕之王, 是物理史上最伟大的教师之一, 他在让泡利敬重的物理学家中拔得头筹是实至名归的。

作者简介

卢昌海, 本科毕业于上海复旦大学物理系, 后赴纽约哥伦比亚大学从事理论物理学习及研究, 并获物理学博士学位。现旅居纽约。个人主页: <http://www.changhai.org/>