

### 物理学中的第一步

我愿意把我对早年物理学的回忆与理论物理学的方法问题联系起来,人们可使用多种方法,有些人构造唯象理论,有些人思考严格的数学图式,还有些人则作哲学思索,如此等等,我想以我在那段物理时期的经验来分析这种不同的方法。

我刚进大学不久,当时在慕尼黑大学理论物理系任教的索末菲教授来到我的房间,问我:“哎,你对原子物理感兴趣,你愿意试着解题吗?”我非常感兴趣,因为我对物理一无所知,然后他告诉我:“这是轻而易举的,它多少有点象猜纵横字谜,而用不着严格的数学。”问题是这样的,索末菲教授刚刚收到反常塞曼效应谱线的新照片,我想,这些谱线是实验物理学家巴克在蒂突根拍摄的,索末菲对我说:“给你这些谱线,现在你试着根据玻尔的理论,计算或确定这些谱线对应的能级,给能级标定量子数,然后按每条谱线对应两个能级的能量差,把照片的谱线重现出来。”当然,人们应试着找到表示能级能量的某个公式,它是量子数和类似的量的函数。初次尝试立刻惨遭失败,因为我发现必须引进半整数,而不是整数的量子数,也就是二分之一,二分之三等,索末菲见此大吃一惊,他认为这完全错了,我的朋友,同一研讨班的同学沃尔夫冈·泡利对我说:“如果你引进半整数的量子数,那么你会很快引进四分之一,再后是十分之一,最后又会回到连续的解析学,我们又返回经典理论。”不久,我们

# 理论,批判和哲学

海森伯著 李让贤译

中有更多的人对此类问题感兴趣,例如泡利,亨尔等等,结果真的需要引进半整数量子数,我们有一批优秀的年轻人共同从事唯象物理,寻找出看起来能重现实验数据的公式;用这样的方法找到了朗德公式,索末菲和亨尔的多重谱线公式,以及其它公式。

### 唯象理论

给我留下深刻印象的是其中的某个尝试,我想讲一讲为的是说明唯象理论的局限性,索末菲告诉我哥丁根的佛克脱的一篇早期文章,该文在1913年初完成,比玻尔的量子理论还早。佛克脱给出了钠原子的D光谱线系的反常塞曼效应的某个理论,该理论中引进了两个耦合的线性振子,使得它们产生两条D谱线,他也能够选择适当的耦合,给出反常塞曼效应。他甚至可以给出帕邢-巴克效应和谱线的强度,并且极其一般地给出了与实验非常符合的结果。索末菲又一次要我把这些结果转换成量子论的语言,这很容易地办到了,我得到了能级和强度的相当复杂的长公式,在长长的平方根中有着磁场强度的平方,耦合常数等等,此公式仍然与实验符合得极好,我提一下这个唯象描述的例子是因为它与实验极其好地符合,但它与量子论有关吗?六年后我们有了量子力学,约尔丹和我用量子力学计算同样的能级和强度,我们得到了与佛克脱完全一样的带有长长的平方根的公式,和相同的强度。由此可见,唯象理论,就其有时能给出严格的结果以至于和实验符合得很好这一点来说,可以极其成功,但同时这些理论依然没给出所描述现象的物理内容的真实知识,即在原子内真正发生的事情,当然

最终能理解这点,人们会说:在量子论中为了计算反常塞曼效应,必须求解微扰问题,即求解某个“特征”行列式,这个“特征”行列式相当于含有几个未知量的某个线性方程组,现在两个耦合的振子正是同一件事,它也意味着含有几个未知量的一些线性方程,所以人们终于明白了这两个理论虽然物理内容完全不同,却给出了相同的公式。

这些唯象努力的真正成功在于稍微的偏离上,许多场合当我们把由实验所得公式与玻尔理论作比较时,发生了非常奇怪的事:决不能由玻尔理论严格地推导出这些公式,但是由玻尔理论得出的公式却在某种程度上类似于这些真实的公式。例如玻尔理论出现的角动量的平方,在经验公式中却是  $J(J+1)$ ,今天看来,这样的结果是十分清楚的,因为这些正是群的一些表示,但是在那个时代,这是很奇怪的结果,它意味着玻尔理论在某种意义上是对的,而在另一种意义上又是完全不对的。我们真不知道对此该怎么办。例如,角动量的量子数按其定义正是角动量的值,所以由经典物理实际上不可能得到象  $J(J+1)$  这样的表式。这些结果使我们十分不安,与此同时我们极有兴趣地学习玻尔的最新论文。

那时玻尔刚发表了关于元素周期表的一些论文,我们学得带有处在不同轨道上的十个,或二十个,或三十个电子的所有这类元素的非常复杂的结构,但不清楚玻尔何以能够得到这些结果,我们觉得他一定是个非常聪明的数学家,竟能解出经典天文学中如此困难的问题。我们知道,最好的天文学家还不曾解出即使是三体的问题,而现在玻尔甚至能解出三十个电子或类似的问题。

题。

### 玻尔的猜测

学习了两年后,1922年的夏天,索末菲问我是否愿意同他一起到哥丁根开会,会上玻尔将作一系列关于他的理论的讲演,现在我们把在哥丁根的那些日子称为“玻尔节”,在那里,我第一次了解到象玻尔那样的人是如何研究原子物理中的问题的。在玻尔讲了两讲后的讨论中,我大胆地提出了某个异议,我怀疑玻尔在黑板上写的克拉末公式的严格性,从我们在慕尼黑讨论,我知道我们获得的公式常不是严格的,部分是对的,部分是不对的,所以我觉得决不会是很肯定的,玻尔非常和蔼可亲,虽然那时我还是个年青的学生,为了继续讨论此问题,他邀请我到哥丁根附近的海因山做一次漫长的散步。正是在那时,我觉得自己真正领悟了在理论物理的全新领域中从事研究意味着什么。首先使我十分震惊的是,玻尔什么也没有计算,他只是猜出了他的结果。他了解化学实验的情况,他知道各种原子的价键,他清楚他的轨道量子化的思想,确切地说即用量子现象解释原子的稳定性的思想,与化学实验相吻合。在此基础上,他那时给我们的结果,纯粹是猜到的,我问他是否真的相信人们基于经典力学能计算出这些结果,他说:“啊,我认为我给原子描绘的那些经典图象就是最好的经典图象了,”接着他解释道:“现在我们进入物理的新领域,知道那些旧概念在此已不再适用,否则原子不会是稳定的。但另一方面当我们谈论原子时,又必需使用词汇,而这些词只能来自旧概念,旧语言。因此我们进退维谷,就象水手们来到一个非常遥远的国土,他们不知道这个国家,见着当地人,从未听过他们的语言,不知如何交流,因此只要经典概念适用,即可以谈电子运动,电子的速度,电子的能量等等,我认为我的图象是正确的,至少我希望是正确的,但无

人知道这样的语言能用到何时。”

这对我来说是崭新的思想方法,它改变了我对物理的整个看法。在索末菲的研究所中,人们应计算些什么,只有经过严格的计算,才能得出好的结果,这一切看来总是不言而喻的。

现在再来谈谈唯象理论问题。与玻尔交谈给我的印象是人们应该脱离所有这些经典概念,不应谈论电子的轨道。尽管可以看到电子在云室的径迹,还是不应谈速度或位置等等,当然,如果你抛弃这些词汇的话,那么你就会不知所措。因此这是非常的奇怪的进退唯谷,又是个极其有趣的情形,问题是:“在这样的情形下,我们究竟能做些什么呢?”

大约与玻尔谈话半年以后,我很快地来到哥本哈根,和克拉末一起研究色散理论,我们又遇到这种有趣的情形,能由玻尔的理论得出的公式,差不多是对的,但又不完全对。于是人们逐渐习惯如何去处理这类公式,如何将经典物理转换成唯象的公式。人们已形成这样的看法,经典力学最终必将被某类量子力学所代替,量子力学也许并非十分不同于经典力学,但它必须使用很不相同的概念。

现在常说道,在这种情况下,理论中只引进可被观察的量,也许是跨出了正确的一步。事实上,就此而论,这是很自然的想法,因为见到的是频率和振幅,而它们以某种方式上可以代替经典理论中的电子轨道。频率和振幅的一个完整集合相当于一个傅里叶级数,而一个傅里叶级数描述一条轨道。因此自然地想到应该使用振幅和频率的集合代替轨道。

当我从哥本哈根返回哥丁根时,我决定再次试着做某种猜测工作,即猜测氢原子光谱的强度。玻尔的理论在此遇到了困难,但为什么不可猜测这些强度呢?那是在1925年初,我完全失败了,公式太复杂,没有希望得出任何结果。同

时,我也感到,如果力学系统更简单些,那么只去做克拉末和我在哥本哈根曾做过的那类事,并猜出振幅是有可能的。所以我从氢原子转到非谐振子,这是个非常简单的模型。正在那时我病了,到赫耳戈兰岛去休养。在那里我有充足的时间去计算。结果发现从经典力学过渡到量子力学真是十分简单的。只是我应该强调一点,仅仅提出:“让我们用频率和振幅去替代轨道的物理量”,和仅使用我们曾在哥本哈根用过的,而后来发现等价于矩阵乘法的计算,这是不够的。

显而易见,如果只是这样的话,就会得到比经典理论更广阔的图式,当然,经典理论和量子理论都会包括在其中,但是这个图式太不确定了,必须加上附加条件。结果发现可以用本质上等价于托马斯和库恩的求和规则的某个公式来代替玻尔理论的量子条件,加进了这个条件,人们突然得到了一个自治图式。可以看到这组假定行得通,也能看到能量是守恒量,如此等等。然而我却不能由这个图式得到某个简洁的数学表达方式。玻恩和约尔丹在哥丁根,狄拉克在剑桥都创立了完美自治的数学方法。其中狄拉克用的是非常巧的有关 $q$ 数的新方法,而玻恩和约尔丹使用的则是更常用的矩阵方法。

### 爱因斯坦谈论理论与观察

在此我不打算谈论详细的情况,只就什么样的哲学在此进程中起最重要作用的问题,作详细说明。最初我以为这种哲学可能是引进只是可观察的量的想法,但是当1926年我必须在柏林作关于量子学的讲演时,爱因斯坦听了这个演讲并修正了这种看法。

爱因斯坦邀请我到他的公寓并作进一步的讨论,他问我的第一件事就是:“你那非常奇怪的理论是基于什么样的哲学?这理论看上去非常好,但是你讲的只是可观察的量是什么意思?”我告诉他,我不再

相信存在着电子轨道,尽管在云室里见到了径迹,我觉得应该回到真正能被观察到的量,同时我也觉得这正是爱因斯坦在相对论中曾使用的那类哲学,因为他也抛弃了绝对时间,而引进了仅在给定坐标系中的时间,如此等等。他对我笑了笑,然后说:“你必须认识到这完全错了。”我问:“那为什么呢?难道你不曾使用过这样的哲学吗?”“哦,是的,”他说:“我也许用过它,但它依然是无意义的。”

爱因斯坦向我解释,实际情况并非如此,他说:“你能否观察到某个事物是依赖于你所用的理论,正是理论才能决定什么可以观察到。”他是这样论证的:观察意味着我们构造出现象和我们对它认识之间的某种联系。在原子内发生了些什么,光子发射出来了,光射入照相底片,我们看底片,等等,等等。在原子和你的眼睛及你的感觉之间,种种事情的这整个过程中,你必须假定一切都如同在旧物理学中那样进行。如果你改变这一系列事件有关的理论,那么自然,观察也将随之改变。所以爱因斯坦坚持,正是理论决定了什么能观察到。爱因斯坦的这段话在此后玻尔和我讨论量子论的解释时,对我是非常重要的,以后我还将谈及它。

再讲几句与爱因斯坦讨论有关的话,他曾向我指出,人们应该谈只是可观察的量,这实在是危险的,因为每一合理的理论,除了所有可以直接观察到的事物外,还将给出有可能更为间接地观察到的另外一些事物。例如:马赫本人相信原子的概念只是为了方便,思维经济而已,他不相信原子的真实存在。现在每个人都会说这是荒谬的,无疑原子真实存在,我也认为,需要原子只为了利于思考的论断——虽然它逻辑上也许是行得通的,却不能给人们任何新东西。这些是爱因斯坦提出的要点,在量子理论中这意味着,例如,当你有了量子力学,那时你不仅观测到频率和振幅,还可以观测到

几率振幅,几率波等等,当然这些是十分不同的对象。

我应再补充一句,当人们创立了涉及到某些可观察量的理论,关键的问题自然是:你究竟能抛弃哪些旧概念?就量子论而言,多少还明白,可以抛弃电子轨道的观念。

### 片流的稳定性

现在让我从唯象理论转到相反的问题:严格的数学方式的用处是什么?也许你知道,我丝毫不喜欢严格的数学方法,就此态度我愿讲几个理由。还在建立量子力学之前的那些年里,我必须完成博士论文。因为索末菲是位优秀教师,他觉得我不应总是在原子理论方面工作;他告诉我:“总是走在泥浆中是不好的。你应做些理论物理中象样的数学工作。”所以他建议一个流体动力学的问题,让我计算片流的稳定性。他本人写过一篇有关此课题的论文。他的一个学生曾研究过一个静止的壁和一个运动的壁之间的片流。索末菲感到不满意,这个学生,霍普夫,没能找出稳定性的临界值。实验上,人人都知道,当速度高到一定程度时,液体的片流就会转变成湍流,随机生成旋涡,这看起来像非稳定现象。所以应能计算稳定性的临界值。索末菲建议我计算两个固定壁之间水流的稳定性。这就是我的博士论文,我得到了好的结果,正如我所期待的那样,有着一个稳定临界值,达到某个雷诺数时,片流变得不稳定了,产生了湍流运动,这是与实验相符的。

### 二十年后的结果

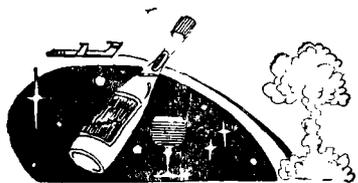
好了,凭着这篇论文我得到了学位;但一年以后,一位非常出色的数学家纳脱发表了另一篇论文。在该文中他用非常严格的数学方法证明了我曾研究过的问题没有不稳定解;流应该在处处都是稳定的。这当然是个可悲的结果,尤其对我的学位来说更是如此,我总是希望能证明纳脱这篇文章错了,不幸

的是我没能做到这点。我只得寄希望于实验,因为实验中无疑地存在某个稳定的临界值。事实上,很多年后这个问题才水落石出,我只提几件事。五年以后托尔明处理了一种不同类型的流,真的得到了一个稳定的临界值;他可以争辩说,他的问题不同于纳脱的,因此纳脱的数学证明不适用。后来在1944年,即我的博士论文二十年后,在美国,德赖登和他的合作者们对两壁间的片流及其转变成湍流,做了非常精确的测量。他们发现我的计算与实验果真相符。林在麻省理工学院重新研究了这个问题,用新的更好的方法证实了原来的结果。一些数学家依然不相信,1950年在麻省理工学院,我们长时间的讨论了此问题,当时冯·诺依曼决定应该用电子计算机来解此问题。于是当时最大的计算机最终用来裁决此问题。结果是我论文中原来的近似计算与计算机得到的正确值相差不超过20%。现在的问题是:“这篇严格的数学论文又怎么样呢?”我想麻烦的是,即使现在也没有人知道该论文错在何处。

### 找出一个数学错误

然而,在另一事例中人们知道错在哪里。那是在1928年前后,爱德华·泰勒来到莱比锡我所在的研究所,他想做博士论文。我没有给他有关湍流的问题,因为那时量子力学已经是象样的物理学,因此我建议他应该把兴趣放在由两个质子和一个电子构成的氢分子上,我告诉他玻尔的一个学生伯罗刚发表了一篇有关这个分子离子基态的好文章,他得到了与实验符合得很好的结合能的值。泰勒应该研究一下该分子的激发态。

几个星期以后,泰勒来到我的房间,告诉我威尔逊才发表了一篇新论文,使用了极好的数学方法,十分严格,要比伯罗的方法好得多,而他能证明氢分子的基态不存在。瞧,这又是一个相当可悲的结果。我告



## 原子弹和酒

俞 成

### 卢西里昂红葡萄酒

### 基安提酒

1942年12月2日,费米领导的实验小组在美国芝加哥大学建成了第一座原子反应堆.在试验成功时,尤金·魏格纳把一瓶基安提酒献给了费米,所有在场的人都喝了酒.随后大家都在这个基安提酒瓶的硬纸护壳上签了名.这是参加试验的人的唯一记录.

当天下午,青年物理学家艾尔·沃特姆伯格拾起了那个空基安提酒瓶,因为它的护壳上有大家的签名,它也就成了一件纪念品.以后年代里,那个酒瓶一直跟随着他四处奔波.

1952年,人们计划在芝加哥举行原子反应堆建成十周年庆典,此时在马萨诸塞州的坎布里奇工作的沃特姆伯格答应12月2日那天他和那个酒瓶都会出现在芝加哥.

由于沃特姆伯格的孩子就要出生,他不能出席庆祝会.于是他托运了他的酒瓶.怕酒瓶被打破,他把它保价为1千美元!善于猎奇的新闻记者把这事登在报纸的显赫位置上.结果基安提酒销量大增.

两个月后,费米和其他几位物理学家都收到了一件礼品:一箱基安提酒.这是进口商对基安提酒所得到的那份免费广告表示的谢意.

“奥尔索斯”是美国一个特别侦察队的代号,任务是收集德国原子武器方面的情报.1944年底,盟军进入德国本土,“奥尔索斯”组织中的一名侦察员在猛烈的炮火中从莱茵河里灌满了几瓶灰绿色的河水,然后派人把它们送到巴黎的“奥尔索斯”工作组的本部.可以设想,如果德国人已在进行铀燃料生产的话,他们就必须用河水来冷却“锅炉”,所以,可以用化学分析的方法,测出河水是否有放射性,从而决定是否再派“奥尔索斯”侦察队员去寻找德国人的原子能计划.

送莱茵河水去华盛顿的少校在准备妥当时,开了一个玩笑,他将一瓶最好的法国卢西里昂红葡萄酒放在邮包内作为非正式的试样,在商标纸上写上:“也请检查一下它的放射性吧!”

隔了一星期收到了由格罗夫斯将军的司令部拍给“奥尔索斯”组织的一份海底密码电报,电报上写着:“水是负号,葡萄酒发现有放射性.再寄些来,火速!”接着又来了第二个电报:“其他的葡萄酒瓶在何处?”从电报上的口气来看,是十分认真的.司令部猜测,在法国著名的葡萄园附近可能有德国人的秘密实验室,因此要立即侦察.显然,华盛顿的人们不知道这是一个玩笑.

(下转第35页)

诉他那肯定是错的,因为该分子毕竟存在着,对此我们又能怎么办呢.而泰勒说:“威尔逊的数学方法好得使你说不出什么理由反驳他.”为此我和泰勒争论很久.大约两个月以后,泰勒真的发现了威尔逊论文中的错误,一个十分有趣的错误:数学方法确实是出色的,但威尔逊的推理是:“我们知道薛定谔函数在离两个中心点无穷远处一定趋于零;这是对的,所以我们的解析函数必须是正则的,并且在无穷点处有一个零点.”——这是错的,因为薛定谔函数在实轴上应趋于零,这已足够了,而在虚轴上并不需要这样.好了,这正是那些人们可能会犯的错误,我希望纳脱在湍流问题中犯了类似的错误,但我并不知道是否真是那样.

### 严格的和糟糕的数学

我想现在你明白了为什么我总是有点不信任严格的数学方法.或许为此我应给出更重要的理由:当你过于强调严格的数学方法,全神贯注于那些从物理的角度看是不重要的点上,从而你就会偏离实验的情况;如果你试着用相当糟糕的数学去解某个问题,象我常

做的那样,那么你总是强迫自己去考虑实验的情况,不论你写下什么公式,都要与现实对照.因此,和严格的数学方法比较,你想方设法地接近事实.当然,这也因人而异.

现在让我们回到量子力学上来,回到一个新理论发展中对我来说始终是最有魅力的那部分中来.当你进入这样一个新领域,麻烦在于应用唯象方法时,你总是不得不使用旧概念,因为你没有另外的概念;而建立理论关系就意味着把旧方法应用于这种新情况.因此关键的一步总是跳跃式的,你永远不能期望小步地小步地逼近真实的理论;在某点上你必须跳跃,必须真正地脱离旧观念,试着新方法,别树一帜,然后看一看,你是会游泳了呢,还是依然站着,或是别的什么情形,但无论如何你都不能死抱着旧概念不放,在量子力学中此过程是以下面的方式发生:首先我们有了数学方式,然后当然必须试用与此相关的合理语言,最后我们会问:这种数学方式包含着什么样的概念,我们得怎样去描绘自然现象?

(待续) 译自“from a life of physics”