

量子电动力学时空观的发展(续)

李 让 周咸建 译

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

我绞尽脑汁, 尝试用各种方法, 其一如下: 若有一些谐振子, 它们之间的相互作用带有某个时间的滞后. 我能够求出通常的模式是什么, 并且猜测, 这些模式的量子理论与简单的振子的一样, 并再返回去用原先的变量来表示. 我做成功了, 然后我希望能推广到不同于谐振子的其他情形. 但是令我遗憾的是, 我遇到了其他许多人也体验过的事情: 因为谐振子太简单了, 常常你能够解出在量子理论中它是怎样的, 但这却不能给你提供足够的线索, 把谐振子的结果推广到其他的系统. 因此, 那对我没有多大帮助.

当我苦苦思索这个问题时, 我去参加在普林斯顿拿骚塔韦尔处的一个啤酒宴会. 有一位刚从欧洲来的绅士赫伯特·耶勒也来了, 并坐在我身旁, 欧洲人比起我们美国人要严肃得多, 因为他们认为讨论智力方面事情的好场所是啤酒宴会, 因此他坐在我旁边问“你在做什么”此类问题, 我说: “我在喝啤酒.” 然后我意识到他想知道我正研究什么, 我告诉他我当前正在努力解决的问题. 我转向他说道: “听着, 你是否知道用作用量来构造量子力学的方法? 也就是, 从作用量出发, 作用量的积分出现在量子力学中?” “不知道,” 他回答, “但是狄拉克写过一篇文章, 在该处至少是拉格朗日进入到了量子力学中, 明天我找来给你看.” 第二天, 我们去了普林斯顿图书馆(该馆旁边有些供讨论使用的小房间), 他让我看了这篇文章. 狄拉克的论述如下: 在量子力学中有着一个非常重要的量, 它把某一时刻的波函数变为另一时刻的波函数, 这不同于微分方程的方法, 但却与此是等价的. 这个量是类似于数学中的核, 我们可以称它为 $K(x', x)$, 它把 t 时刻的波函数 $\psi(x)$ 变为 $t+\varepsilon$ 时刻的波函数 $\psi(x')$, 狄拉克指出, 这个函

数 K 类似于经典力学如下办法计算的量: $i\varepsilon$ 乘以拉格朗日量 $L(x', x)$, 并取指数, 设想这里的两点 x, x' 对应于 t 和 $t+\varepsilon$, $K(x, x')$ 类似于

$$\exp\left[i\varepsilon L\left(\frac{x'-x}{\varepsilon}, x\right)\right]$$

耶勒教授让我看了这些. 我读了它, 他给我作解释, 随后我问道: “狄拉克的意思是什么? 它们是类似的, 那么这里的类似又是什么意思呢? 这又有什么用呢?” 他答道: “你们美国人啊! 总是想给每一样东西找到用处!” 我说, 我以为狄拉克的意思一定是, 两者($K(x', x)$ 与指数函数)是相等的. “不,” 他解释道, “他并不以为它们是相等的.” “好,” 我说道, “让我们看看, 如果它们相等, 会怎么样?” 因此, 我直接令它们相等, 并取拉格朗日的量为最简单例子中的 $M\dot{x}^2/2 - V(x)$, 但是我立即发现我必须引入一个可以合理调节的比例常数, 以 $Ae^{i\varepsilon L}$ 代替 K , 我就得到

$$\begin{aligned} & \psi(x', t + \varepsilon) \\ &= \int A \exp\left[\frac{i\varepsilon}{\hbar} L\left(\frac{x'-x}{\varepsilon}, x\right)\right] \psi(x, t) dx \quad (3) \end{aligned}$$

用台劳级数展开, 从而得到了薛定谔方程. 这样, 我转向耶勒教授, 他还没有弄懂这一切, 我说道: “好了, 你看, 狄拉克教授的意思是它们成正比.” 耶勒教授的眼睛睁得大大的, 他取出一个小笔记本迅速地把这些从黑板上记下来, 说道: “这真是一个重要的发现, 你们美国人总是试图去找到有用的东西, 这是发现新事物的好办法!” 这样, 我想我弄清了狄拉克的意思是什么了, 实际上发现了, 狄拉克所想的类似. 其实是相等. 到此为止, 至少我有了拉格朗日量与量子力学的联系, 但这是波函数在无穷小时间之间的联系.

大约一天以后, 我躺在床上思索这些事, 说

想如果我想计算在某一段有限的时间间隔后的波函数,将会有些什么结果. 这里应引进因子 $\exp(i\varepsilon L)$, 它给出下一时刻 $t+\varepsilon$ 的波函数, 然后我可以把它代回到方程(3)中, 用另一个因子 $\exp(i\varepsilon L)$, 由此给出再下一时刻 $t+2\varepsilon$ 的波函数, 这样的过程可以不断地重复下去. 这样我要做许多重积分, 依次一重一重地积, 被积函数是一些指数函数的乘积, 它自然是一些像 εL 项之和的指数函数. 这里 L 是拉格朗日量, ε 类似于时间间隔 dt , 如果你对这样一些项求和, 它严格地为某个积分 $\int L dt$, 这类似黎曼对此积分的构成, 你取各点的值, 把它们加起来, 然后自然要取极限 $\varepsilon \rightarrow 0$. 所以, 某一时刻的波函数和另一个有限间隔后的波函数之间的联系可以用指数函数 $\exp(iS/\hbar)$ 的无限多重积分(这自然是因为 $\varepsilon \rightarrow 0$) 而得到, 这里的 S 是方程(2)中的作用量. 终于, 我成功地直接借助于作用量 S 表达了量子力学.

后来这导致了对于某个路径的振幅的概念, 对应于粒子由时空的一点到另一点的每一条可能路径, 都有一个振幅, 这个振幅等于 $\exp(iS/\hbar)$, 这里的 S 是该路径的作用量, 来自各种可能路径的振幅应叠加求和. 这是十分不同于薛定谔和海森堡的方法, 但又等价于他们的第三种描述量子力学的方法. 对此做了一些验证后, 我立即要做的事, 自然是以作用量(1)代替(2)中的通常的作用量. 这里所遇到的第一个困难是, 我不能处理自旋为 $1/2$ 的粒子的相对论情形. 然而, 我却能处理非相对论情形下的物质, 这只需把(1)式中的相互作用项代入到任何作用量中, 而其中的质量项用非相对论的 $(M\dot{x}^2/2)dt$ 代替, 就可以非常好地处理光或光子的相互作用. 当作用量中有着如同现在应有的时间的滞后, 并且涉及到不止一个时刻时, 我不得不抛弃波函数的概念. 也就是, 我不能作如下的描述: 给出某个时刻的所有位置的振幅, 去计算在另一时刻的振幅. 然而, 这没带来多大麻烦, 这正意味着发展了新的观念. 代替波函数, 我们可以谈论这样的事情: 如果某种源发射一个粒子, 某个探测器探测到它, 我们能够

给出源发射该粒子, 而探测器探测到它的振幅, 我们这样做时并没有指定源发射粒子或探测器探测到粒子的准确时刻, 也没有试图去规定在此之间任意特定时刻任何事物的状态, 而只是去找出这个完备的实验所需的振幅. 然后, 我们可以进而讨论, 如果在源和探测器之间有一个散射样品, 你转动和改变此样品的角度时, 该振幅会怎样改变, 而实际上并不需要用到波函数.

也可以弄清楚在这个推广的作用量情形下能量和动量这些古老的概念的含义是什么. 因此我相信, 我已有了作用量(1)所描述的这个新的经典电动力学的某个量子理论. 我作了些验证. 如果接受佛伦克尔场的观点, 你还记得这是更为微分的形式, 我可以用一种更为惯常的方式, 把它直接转换为量子力学. 唯一的问题是在量子力学中, 如何去给出只使用一半超前和一半滞后的经典边界条件. 对此作了某个巧妙的阐明后, 我发现, 佛伦克尔场的量子力学, 加上某个特殊的边界条件, 让我又回到了带有时间滞后的作用量(1)的量子力学的这个新形式. 因此, 种种情形表明, 一切都畅通无阻, 这已无可怀疑.

也容易猜测出, 如果需要的话, 应如何修正该电动力学. 只需把 δ 函数改变为某个函数 f , 就像在经典情形我所做过的那样, 所以, 这是很容易的简单的事. 为了不使用场描述原先的推迟理论, 我必须写出几率, 而不仅是振幅. 我必须把振幅平方, 这就涉及到二重积分, 其中有两个 S , 如此等等. 然而, 当我弄清了许多这类事情, 并研究不同的形式和不同的边界条件时, 我有某种奇特的感觉, 事情并非完全对, 但我不能清楚地辨认出其中的困难来, 在某个短暂时间里, 我认为困难已经解决了, 我发表了论文, 并获得了博士学位.

在战争其间, 我没有时间广泛地对这些事情作研究, 只是公共汽车等的往返的路上, 在小纸片上继续研究, 发现确实有某些错误, 而且是很严重的错误. 我发现, 如果作用量由好的拉格朗日量的形式(2)推广到形式(1), 那么像能量等这些量将是复的, 定态的能量值将不是实的, 并且可能发生的事件的几率之和不会达到

100%，也就是，如果你把这件事会发生的几率，那件事会发生的几率，每一件你能想到的事会发生的几率都加起来，却不等于1。我继续努力去解决的另一个问题是，以此新的量子力学去描述相对论的电子。我想以一种唯一的和不同的方式去做到这一点——而不仅仅是把狄拉克算子套到某类表达式中，并且使用某类狄拉克代数以代替通常的复数。我为以下事实所鼓舞，在一维空间中，我确实找到了办法对某类路径给出其振幅，在这些路径上仅以光速或是向前或是向后运动。振幅很简单： $(i\varepsilon)^n$ ，其中 n 为速度反向的次数，这里我把时间分成以 ε 为大小的小段，只能在这些分点上允许速度反向。这给出了（当 ε 趋于零时）二维时空的狄拉克方程——一维空间和一维时间（ $\hbar = M = C = 1$ ）。狄拉克波函数在四维时空中有四个分量，而此时有二个分量，它们由给出某路径的振幅的规律自动地产生出来。这是因为，如果给出路径的振幅的公式，知道了来到某给定点的整个振幅，并不能使你求得达到下一个点的振幅。这是因为下一时刻，如果粒子从右边来到从左边出去，就没有因子 $i\varepsilon$ ；但若从左边进来就需要一个新因子 $i\varepsilon$ ，这样，将此同样的情况推到下一时刻，知道来到的总振幅是不够的。你必须分别知道从右边来的振幅和从左边来的振幅，若是这样，你就又可以分别计算这两个振幅。因此，你必须具有两个振幅去构成一个微分方程（时间上是一阶的）。

我梦想，如果我更聪明，我会找到在三维空间和一维时间的四维空间中，路径的简单和优美的公式，它应等价于狄拉克方程，并且由于它，四个分量、矩阵以及所有那些其他的数学上有趣的东西都会作为某个简单的结果得出。对此我从来没有成功过。但是我的确想提及某些不成功的事情，为此所耗费的精力差不多等于我在成功的事情上所花费的。

总括此后几年的情况，可以说，我得到了许多关于量子动力学的经验，至少知道了许多构造它的办法，路径积分的方式和其他的方式。例如，对这些简单方式的种种体验中的重

要副产品之一是，能容易看到如何把那个年代称之为纵向的和横向的场组合起来，并且更一般地看清该理论的相对论不变性。因为需要微分地处理事物，在标准的量子电动力学中，场需完全地分成两部分，其一称为纵向部分，而另一部分为光子传播的部分，或横向波。纵向部分是用库仑位势来描述，在薛定谔方程中瞬时地起作用，而横向部分借助横波的量子化，却有完全不同的描述。这种划分依赖于你的坐标轴在时空中的相对论取向。人们以不同速度运动，会以不同的方式把同样的场划分为纵向和横向的部分。加之，量子力学的整套公式，由于固执着给定时刻的波函数，从而很难作相对论性的分析。在不同的坐标系的其他人，以时空的不同切片上的波函数来计算事件的逐步演变，这时对纵向部分和横向部分的划分也不同。哈密顿理论看来似乎不是相对论性不变的，当然其实还是相对论性不变的。总体（时空）观的优点之一在于，你可以直接看出这里的相对论不变性——或按薛定谔的说法——协变性是明显的。因此，我的方便在于，有一个量子动力学的明显协变的形式，并可以作前面提及的种种修正，如此等等。对我不利之处在于，若我严肃地对待这样的理论，我就会遇到麻烦，复数的能量值，各种几率加起来不为1等等，对此我努力试图去解决，但不成功。

“…我认识到我必须学会如何去进行计算。”

接下来的事是，兰姆完成了测量氢原子 2S 和 2P 能级差值的实验，发现它相当于频率为 10 亿赫兹的差别。当时我与贝特教授一起在科内尔大学工作，他有着这样的特点，如果有一个好的实验数据，他就会竭尽全力地从理论中去算出它来。这样他强迫当时的量子电动力学给出此两能级劈裂的答案。他指出电子的自能是发散的（无穷大值），因此一个束缚电子的能量也是无穷大的。但是，当你用修正后的电子质量，而不是修正之前的，来计算两个能级之差，他想，理论会给出一个收敛的有限的结果。用此办法他作了一个估算，发现结果仍是发散

的。他猜想,这可能是由于他使用了物质的非相对论。假定若使用相对论的理论,结果会是有限的,他就可以估算出兰姆移动大约为10亿赫兹大小。这样,他作出了在量子电动力学发展史中最重要的结果。他是在从纽约的伊萨卡到斯克内克塔迪的火车上得到此结果的,并且从斯克内克塔迪打电话激动地告诉我,当时我还没有完全理解。回到科内尔,贝特教授对此课题作了一个演讲,我参加了。他解释道,要严格弄清,哪个无穷大项对应于质量修正的无穷大,十分混乱不清。他说道,不论对理论做什么样的修改,即使它物理上是不对的(也就是这种修改并非一定是自然规律实际遵从的),只要它使得在高频端这种质量修正是有限的,那么弄清所有东西的来龙去脉就不成问题。你只要计算电子质量 m_0 的有限的质量修正 Δm ,然后在所有其他问题的计算结果中,以 $m_0 + \Delta m$ 代替 m ,这样所有的含糊不清不再存在。进而,如果这种方法是相对论性不变的,我们就可以不破坏相对论不变性而毫不含糊地这样做。在他的讲演后,我走上去告诉他,“我能帮你做到这一点。明天我给你讲我的办法。”我相信,我了解当时人们所知道的各种修改量子电动力学的方法。这样第二天我去他那儿,解释了把 δ 函数改为函数 f 后,量子电动力学应作的修改,并请他给我讲一下,例如,应怎样去计算电子的自能,这样我们可以算一算,看看它是否有限。

我请你注意一个有趣之处,我不曾采纳耶勒教授的忠告,而它是多么地有用。我从来没有使用过我们炮制的理论体系去解决一个相对论问题。直到那时我甚至没有计算过电子的自能,我研究的是像几率守恒之类的困难,其实际讨论了讨论该理论的一般性质外,什么也没有做。但是现在我来到贝特教授处,当我们一起讨论时,他在黑板上给我讲解如何去计算电子的自能。直到那时,当你计算某些积分,它们会是对数发散的,我告诉他如何去作相对论不变的修正,我想这会一切顺理成章,我们建立了该积分,此积分以频率的六次方发散,而不是对数发散!

就这样,我回到了自己的房间,为此苦恼,

来回走着,力图去弄清错在哪里,因为我相信物理上一切必会是有限的,我弄不懂怎么会变成无穷大的。我越来越感兴趣,终于我认识到我必须学会如何去进行计算。这样,经过耐心地钻研当时非常混淆不清的负能态和空穴,以及纵向分量的贡献等,我终于学会了计算电子的自能。当我最后弄清了如何计算它,并按我设想的对量子电子力学的修改去作出计算,正如我所期望的,计算的结果是很好地收敛的和有限的。贝特教授和我永远不能找到两个月前我们在黑板上错在何处,显然我们一定是在什么地方弄错了,但我们再也弄不清错在哪儿,结果是,就我们所建议的,如果我们正确地贯彻它而不犯错误,原应是好的,会给出有限的修正。总之,这迫使我回过来仔细检查所有这一切,使我确信物理上不会错。不管怎样,对质量的修正现在是有限的了,它正比于 $\log(ma/\hbar)$,这里 a 是代替 δ 的 f 函数的宽度,如果你要一个没有修改的量子电动力学,你就必须让 a 等于零,从而得到无穷大的质量修正,但要点不在这里:让 a 有限,我只须遵循贝特教授所列出的纲要,并给出怎样去计算所有的各种各样的东西,例如,电子对原子的无辐射的散射,能级的移动等等,然后用实验测得的电子质量来计算这一切,结果发现,正如贝特教授所设想的,这样计算的结果对 a 的依赖不敏感,即使当 $a \rightarrow 0$,也将得到某个确定的有限的极限。

我的其余工作,只是改进那时用来进行计算的技术,借用图形能更快地分析微扰理论,其中的大部分最初是通过猜测得来的——你知道,我不曾有物质的相对论,例如,对我来说很清楚,非相对论公式中的速度必须用狄拉克矩阵 α 代替,或更为相对论地以矩阵 γ_μ 代替。我曾利用路径积分就非相对论的物质和相对论的光子得到一些结果,现在只需对我的猜测作些改变,不难建立一些规则,作什么样替换后可以得到相对论的结果。我惊讶地发现,当时人们并不知道:人们通过非常耐心地划分纵向的和横向的波而求得的每一个公式,可以由该公式只对横向波处理而得到,这只需作如下替代,

原先只对两个垂直的极化方向求和,而现在对四个可能的极化方向求和就行,我以为由作用量(1),非常显然,这是一般成立的,我会在任何时刻都这样做.这导致了我与他人争论,因为我没有意识到他们不知道这一点;但结果是他们考虑了纵向波的所有耐心的工作总是等价于只把对两个横向的极化的求和扩展为对四个极化求和的结果,这是我使用的方法的有趣的方便处之一.另外,我对微扰级数的各项引进了图形,改进了所使用的符号,给出了一种简单的方法去计算出在这些问题中的积分,我还写了某种量子电动力学的手册.

但是,物理上新的重要的一步是涉及到狄拉克的负能海,这给我带来了很大的逻辑困难,弄得我晕头转向,这使我想起了惠勒的关于正电子也许是逆时而行电子的原始想法.因此,在通常用来求自能的与时间有关的微扰论中,我简单地假定,在某一段时间,我们能够与时间逆反而行,并且看一看时间变量逆反后我能得到一些什么样的项.这些项除了可能符号不同外,正是其他人使用了海中的空穴观念,以更为复杂的办法求解问题解得的项.我最初是凭经验猜猜和试试某些规则,而得到这些的.我试图讲清的是,相对论理论的所有的这些改进,最初多少是直接的,或部分依赖经验的猜测.然而,每一次我会发现些什么,再回过头来,并反复检验它,把它与先前在电动力学(并且后来与在弱耦合的介子理论)中已解决的每一问题作比较,看一看它是否总是一致的,直到我完全确信这种规则和规程的正确性,为的是简化所有的工作.

在此期间人们一直在发展我所知之不多的介子理论.是否可以把我的方法应用于介子理论的微扰计算中,我很感兴趣.但是,什么是介子理论?我所知道的是,介子理论类似电动力学,只是其中对应于光子的粒子具有质量.容易猜到,在方程(1)中 δ 函数,由于它是达朗贝尔算子为零的方程解,应改为相应的达朗贝尔等于 m 的解.其次,有着不同类型的介子,其中与光子最为相似的称为矢量介子,它借助于

γ_μ 与物质场耦合.也还有标量介子,也许它相应于将 γ_μ 以1代替,被人们称之为赝标耦合.我不了解这一切,在正统的文献中应是如何定义的,这是因为在那个时候,这些是以产生和消灭算子等表示的,我没能成功地学会这些.我记得当时某人开始教我有关产生和消灭算子的知识,说这个算子产生一个电子时,我会问“你怎样产生一个电子?这会破坏电荷守恒定律.”就这样,我使得自己不去学会一种非常实际的计算方法.因此,我必须找到尽可能多的机会去验证我对这些理论的猜测是否对.

有一天,在物理学会会议上展开了一场争论,这涉及到斯洛特尼克使用具有赝矢耦合的赝标场理论和使用具有赝标耦合的赝标场理论对电子与中子相互作用所作的修正.他发现计算结果是不同的.其中的一个理论结果是发散的,而另一理论的结果是收敛的.有些人相信这两个理论对此问题应有相同的结果,这是一个极好的机会,可以用来检验我的猜测,看一看我是否真的理解了这两种耦合.就这样,我回家后的晚上,对赝标和赝矢耦合对电子与中子的散射作了计算,看到它是不同的,作了减除,对差作了详细的计算.第二天会议上我见到了斯洛特尼克,说道:“斯洛特尼克,昨晚我也算出来了,我想看一看我得到的结果与你是否一样.对各种耦合我得到了不同的结果——不过,我想与你的结果仔细比较一下,因为我想看一看我使用的方法是否可靠.”他接着说道:“你说你昨晚把结果算出来了,这是什么意思,这个计算花去我六个月的时间啊!”这样,当我们比较结果时,他看着我的结果,问道:“那个 Q ,在你公式中那个变量 Q 是什么?”(我有像 $(\tan Q)/Q$ 这样的一些式子)我说道:“这是电子的动量改变,电子被偏转了一个角度.”“哦,”他说道:“不,我只是限于 Q 趋近零,即向前散射的情形.”这只要简单地在我的公式中令 $Q=0$,然后,我得到了与他相同的结果.他花了六个月时间方才计算出动量改变为零的情形,而我只用一个晚上,算出了有限的、任意的动量改算的情形.对我来说,那是如同获得诺

贝尔奖一样的激动的时刻,因为这终于使我确信,我确实有了某种方法和技巧,懂得如何去计算某些东西,对此其他人还不知道怎么做,这是我的胜利,在这一时刻我意识到了,我真地成功地做了一些有价值的东西。

到此地步,人们催促我发表这一切,因为人人都说看来这是一种简单计算的方法,并想知道怎样使用这种方法.我不得不发表它,但是有两点做得不够.其一是,不能以数学严格性去证明文中每一个结论.事实上,即使按物理学家的要求,我常常都不能证明,由通常的电动力学我是如何得到所有这些规则和方程的.但是从自己的经验,和不断摸索,我确实知道,事实上,这一切都等价于通常的电动力学,并且对其中的许多做了部分的证明,虽然,我不能像欧几里得对希腊几何学那样真正坐下来做得令人信服,你可以从一组简单的公理出发得到所有这一切.其结果是,该工作受到了批评,我不知道人们出于是喜欢还是不喜欢,称此“方法”为“直觉方法”.然而对于那些没有理解此方法的人我要强调的是,要想成功地使用这种“直觉方法”,有大量的事要做.因为若对其中的公式和想法,没有简单和清晰的证明,就需要做大量的检验和再检验工作.以求与已知的东西一致和正确,例如与其他的类似的例子,极限下的情形等等作比较.面临着缺少直接的数学证明,人们必须仔细地 and 严格地弄清这一点,并且必须不断地试图尽可能地去证明所用的公式.然而,比起能够证明的真理来说,有多得多的真理,人们知道它们,却不能给以证明.

应该清楚地了解,我只是用滞后相互作用,而不是用对于方程(1)的半超前和半滞后的相互作用,表示通常的量子电动力学.我只是借用方程(1)去猜公式,这种猜测中的一个,对应于将 δ 函数改变为宽度为 a 的函数 f ,这使得我能对所有的问题计算出有限的结果.由此造成了在我发表文章时的第二点不足之处,一个没有解决的困难.当以 f 代替 δ 后,计算给出的结果将不再是“ ϵ 正的”.也就是说结果中的各种不同情形的几率之和不为1.事实上,

如果 a 很小的话,对1的偏离是非常小的,在我取 a 非常小的极限时,这与1不会有什么差别,因此可以作重整化.你可以用实验的 m 质量来计算一切,然后取上述极限, ϵ 正性被破坏这一明显的困难看来暂时消失了,我不能证明它,但事实确实如此.

幸运的是,我用不着急于弄清这一点,因为就我所知,还没有人能解决这个问题.处理介子理论中更强的相互作用和更强相互作用的矢量光子的经验,虽然不能给以证明,却使我相信如果相互作用更强,或者计算到更高阶近似(电动力学微扰论中的第137阶近似),这个困难在取上述极限时依然存在,在这里将出现真正的麻烦.也就是,我相信,并不存在真正满意的量子电动力学,但是对此我还不能完全肯定.我相信今天对于强相互作用的理解进步缓慢的原因之一是,不存在着可以用来真正计算所有量的相对论理论模型.虽然,人们常说,困难在于强相互作用太难而无法计算,但是我相信,困难的真正原因在于场论中的强相互作用没有解存在,是无意义的,或者是无穷大,或者是,当你试图对其作修正,这些修正会破坏 ϵ 正性.

我不以为,我们已有了一个完全满意的相对论的量子电动力学模型,哪怕是这样的理论,与自然界不相一致,但至少应符合这样的逻辑:所有的各种可能的事件的几率之和应为100%,所以我认为,重整化理论只是一种方法,借助于它把电动力学中的发散困难扫到地毯下了,自然,对此我也不能完全肯定.

“...你觉得也许还没有人想到你现在正看到的极妙的可能性时,...”

这样就结束了量子电动力学的时空发展的故事,我怀疑,人们从中是否能得到些什么.最为显著的是,在此研究过程中的大部分想法,最后并没有用到最终的结果中去.例如,半超前和半滞后的位势最后并没有用到,表达式(1)没有用到,电荷不与它们自身相互作用的想法也抛弃了.量子电动力学的路径积分方法可用来猜测最后的表达式,和用来猜想以一些新的方法构成电动力学的一般理论——显然严格说它

并非绝对必要的。正电子是一个时间反演运动的电子，这一想法也是一样的，它很方便，但是对于理论并非一定必需的，这是因为此种想法严格地等价于负能海的观点。

使我们惊讶的是，有着许许多多不同的物理观点和非常不同的数学构成，它们却都彼此等价。在这里所用到的基于物理观念推理的方法，因此显得非常缺乏效率。回顾这项工作，使我有些遗憾的是，大量的物理推理和数学的重新表述，其结果只是前人已知道的东西的重新表述，虽然在此形式中用来计算一些特殊的问题会特别有效。若从数学上去构成更有效的表式，从而整体上得以简化，这难道不会更容易做成吗？看来这里确实是这种情形，但是要说明的是，虽然实际上解决的问题只是理论的另一表述，而原先要解决的问题（可能依然没有解决）是在通常理论中避免出现无穷大的问题。所以一个新的理论被探索寻找着，而不只是对原来的理论的一个修改。虽然这样的寻觅并不成功，我们应该考虑在发展一个新理论时物理观念的价值问题。

许多物理观念能够描述同样的物理现实世界，正是这样，可以借助于场的观点，或超距作用的观点，如此等等不同观点来描述经典电动力学。麦克斯韦原先用比较无用的轮子来充满空间，而法拉第用的是场线（力线）充满空间，但麦克斯韦方程自身总是原始归真的，它与试图作出某个物理描述所精选的用词无关，唯一真实的物理描述是对该方程中的量的物理实验意义的描述——或更确切地，方程被用来描述实验观察量的方式。既然是这样，也许下手研究的最好办法是试着猜方程，而不要去管物理模型和描述。例如，麦卡洛猜到了光在晶体传播的正确方程，比起他的同事使用弹性模型对此现象去评头论足早得多了。又例如，狄拉克差不多用的是纯数学定理得到了描述电子的方程，而用以洞察此方程的所有内容的简单物理观点依然不存在。

所以，我以为，方程的猜测也许是着手获悉当今还未知的那一部分物理的规律的最好方

法。然而，当我还很年轻时，我曾试着这种方程的猜测，我也曾见到许多学生试着这样做，但这会很容易地偏离到完全不对的和不可能的方向上。我想问题不在于去寻找最好或者最有效的方法去探求新的发现，而重要的是找到某种办法。物理的推理确实帮助某些人产生关于未知世界与已知世界如何联结的一些设想，用不同物理观念描述的已知世界的某些理论，也许在理论的一切预言上是等价的，因此科学上是没有区别的。然而，当人们试图由此基础向未知世界推移时，这些理论在心理学上却不是等同的，因为不同的观点会建议不同的修改，因此当人们试图去理解至今还不清楚的事物时，这些不同观念在由其产生的种种假设上是不等价的。因此，我以为今天一个好的理论物理学家若知悉某一理论（例如，量子电动力学），已知的种种不同物理观点和数学表示将会受益匪浅。对一个人来说这也许要求得过份了，而对于新的学生，作为一个整体，应该如此；如果每个学生遵循着同样的时髦方式去表述和思考电动力学或场论，那么，例如，为了理解强相互作用中需要引进各种假设时就会受到限制。也许理当如此，因为真理以时髦的方式来表达的机会可能性大，倘若万一真理在另一方向上——从非时髦的场论观点来看是显然的方向上——它的成功机会却不大，但谁将找到这个方向呢？只有这样的人才行，他是从一个特殊的，与通常不一样的观点学会了量子电动力学，也许他必须自己去创立这种观点，这样做需要作出某种牺牲。我说“作出牺牲”是因为很可能他由此什么也得不到，因为真理也许在另外的方向上，甚至也许在时髦方向上。

不过，倘若我个人的经验对你有所启示的话，这种牺牲实际上并不大，因为如果所持的观点真的在已知世界的范围，实验上等价于通常的观点，那么在此范围内总存在着一些应用和问题，以此特殊观点去考察会显得特别清晰和透澈，这本身就是有价值的，加之，在寻找新规律时，当你觉得也许还没有人想到你现在正看到的极妙的可能性时，你总会有一种发自内心的

磁流体光栅的原理

刘 藻

(承德石油高等专科学校 河北 067000)

光栅是一个重要的光学器件,它在科学技术中得到了广泛的应用.利用磁流体制造光栅是近代的新技术.它具有精确度高、开口形状可变、制造设备价格低廉、造出速度快等优点,本文介绍光栅及其制造的方法,突出介绍磁流体光栅的原理和制造方法.

一、光栅及其分类

一般地,把等间距、周期性间隙的格栅称为衍射光栅(简称光栅),用白光照射它,就会观察到彩虹状衍射现象.1788年,美国天文学家里登霍斯用丝制手绢看煤油灯时,最初发现了这一现象.后来,德国的富兰赫夫又独立地对这一现象进行了研究.至今,分光仪广泛地用于光谱分析中,其核心部分使用衍射光栅可代替三棱镜.近来,在工业机械和产业自动控制中,作为位移、速度传感器而使用的编码器内部,用衍射光栅起着标尺的刻度作用,它是自动化控制的一个关键部分.

衍射光栅有多种用途,按照其目的可作如下分类(见图1):利用透射光发生衍射的光栅(a)、(c)和利用反射光发生衍射的光栅(b)、(d).也可以把透射率或反射率周期性变化的光栅称为振幅变调型,(a)、(b),把周相差周期性变化的光栅称为起伏型,(c)、(d).

二、衍射光栅的制作

一般说来,制造衍射光栅是不容易的事情.以前是用具有精密传送机构的刻线机,在金属板上每一毫米等间距地刻500—1000个刻

痕,而得到同样多的狭缝来制造衍射光栅的.

近来,为了得到更精密的栅线间距,一种方法是,首先在金属膜或玻璃基板上均匀涂上薄的保护膜,使之厚度均一,然后,用照相制板技术在其上面把缩小了的衍射光栅的覆盖图案进行缩小曝光.另一种方法是直接用电子束在保护膜上描绘衍射光栅的图案.这样一来保护膜上就因为曝光或电子束的作用而发生变质,从而由于蚀刻的作用,使保护膜的残留附着量发生差异,最终制出衍射光栅.也有在基板上进行蚀刻,涂膜仅为保护膜的法.以上两种方法称为光平版印刷术或电子束平版印刷术,这

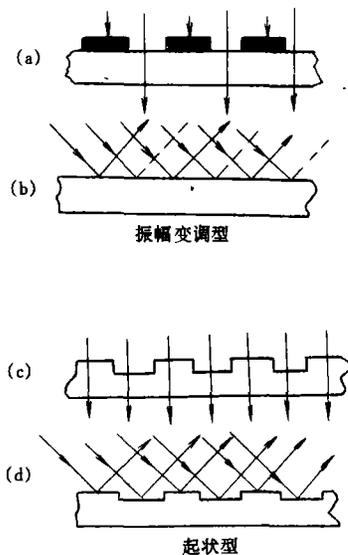


图1 各种衍射光栅

的激动.

那么,当我年轻时所迷恋的那个旧理论又怎么样了呢?哦,我要说,她已成为老妇人了,在她身上不再有当年的魅力了,今天的年轻人见到她时,不再会心跳了.但是,我们对于任何

一个老妇人所能说的最好赞词是,她一直是位很称职的母亲,并养育了一群优秀的儿女.我感谢瑞典科学院给我机会以赞美这些好母亲之中的一位,谢谢你们.

(译自《Physics Today》1966年第8期,作者:费曼)