

### 三、教授解波粒二象性 总裁悟天然测不准

北新大学物理楼。

钟子丹把和远山第一次会面的时间安排在了星期五下午三点钟，在自己的办公室里。这个时间学校基本没有课，一般也不会有找他讨论业务的同事和问问题的学生。因为大家心情都松弛下来，准备度周末了。

“其实我念书的时候还是个拔尖的学生，当然，是在我们那个小地方。我上小学五年级的时候村里来了一拨知青，其中一个姓程的知青做了我的班主任。他教了我一段时间以后，就老说我因为生在农村，没法接受比较好的教育，可惜了。说明我那时候在他看来还是挺聪明的，是个不错的原材料。”远山神情打趣地介绍自己的童年。

“那个老师课下经常让我背一些当时觉得莫名其妙的常数，比如光速还有阿伏伽德罗常数，我现在还记得阿伏伽德罗常数是  $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。他说一个碳 12 原子质量是 12 个原子质量单位，而  $6.022 \times 10^{23}$  个碳 12 原子的质量总和正好就是 12 克。1 摩尔任何原子总质量就是那种元素以克为单位的原子质量。他还教我背过化学元素的主族元素表。这个我现在也还能背下来，小孩学的东西忘不了。程老师也经常会告诉我一些物理上的事儿。我那

时候就觉得物理挺有趣，也挺高大上的。”说到这儿，远山笑了起来。

远山没有意识到，他不经意间讲的这个故事打动了钟子丹。钟子丹原来以为远山上门求学八成是心血来潮。因为，一个商业上颇有成就的四十多岁男人，有什么动力能让他真正从内心深处重新燃起对学习一门课程的兴趣，更何况还是一门他从来没有接触过的课程，这连追忆的功能都不具备。也许这件事情的发生，充其量是因为什么外界刺激启发了他内心压抑已久的儿时激情，想借此弥补少年时期的一个遗憾而已。如果没有需求上的动力，这种行为又能维持多久呢？但钟子丹不想仅凭猜测就拒绝一份求学的热情，而且至少看起来是十分真诚的热情。很多青少年时期失学的中年人会把自己的遗憾完全转化成对后辈的希望，比起这些人，远山至少还是一个自己有行动欲望的佼佼者。但这件事情终归让人听起来像是只有故事里才会发生的事情。当他把这件事情回去和自己的妻子乔靓说了以后，乔靓的反应几乎是她内心感受的写照。

“老板的日子过腻了，想换点学术口味吧？我知道你不会拒绝人家，不过也无所谓。见上两次面以后，你怕是请他也请不回来了。”乔靓笑着说，“而且还是量子力学？干嘛学量子力学呢？”

“他说现在总裁们聚会，不谈高尔夫，改谈量子力学了。”他没有告诉妻子远山儿子在兴趣班的事儿，倒不是想瞒着什么，而是觉得那也实在是一个谈不上多实在的理由。所以，索性只把远山的笑话部分转述给妻子。因为这事儿听起来本来就有点像笑话，而自己又偏偏在笑话里扮演了一个主要的角色。

现在看来，远山还真有可能把这当成一回事了，钟子丹心里因此振作起来。没准自己还真能训练出一个知识上的霸道总裁呢，就是所谓的儒商吧。

“那么，那位程老师给你讲过物质组成的基本知识吗？”钟子丹认真地问。

“您是说，物质都是由分子组成的，分子是由原子组成的，原子是由原子核和核外电子组成的？”

“对。”钟子丹肯定道。还没来得及等他再说什么，远山便接着说：“程老师还和我说过，分子是保持物质特性的最小单位。就比如说，糖分子是具有糖

所有特征的最小实体，盐分子是具有盐所有特征的最小实体。用嘴尝尝糖分子，它还是甜的，尝尝盐分子，还是咸的。但如果再把这些分子拆成组成它们的原子，那糖也就不是糖，盐也不是盐了。盐的学名是氯化钠，是由氯原子和钠原子组成的，合在一块儿，就是有滋有味的盐，拆开了，钠是钠，氯是氯，根本不是原来那回事了。上了中学以后学校倒是正式开了物理课、化学课，可我反倒没学明白。当时农村条件差，感觉那个老师不大行。”

“不错，你这个程老师给你打下的底子挺不错的。虽然你没能系统有效地学习过物理和化学，但这些概念因为没有受到具体细节处理的干扰，反而让你记到了现在。”钟子丹笑着肯定了远山的回答。

远山频频点头，表示同意。

“你对原子有所了解，那下面的话就好说了。”钟子丹切入正题，“量子物理适合于从原子开始更小的粒子，包含原子本身。大于原子的粒子的行为一般就用不上量子物理了。但我这里需要强调一下，不是说量子物理管不了大于原子层次的世界，而是说在大于原子的层次里用不着动用量子物理了。大于原子的世界我们称之为经典世界或者宏观世界。描述这个世界，采用广为人们所熟悉的经典物理就可以了。你能不能说清楚什么是经典物理？”

“不能。”远山老老实实地回答。

钟子丹从办公桌后面站起来，走向侧面墙上一块面积硕大的白板。他在白板上自上而下画了一道黑线，在黑线左面写上标题“经典物理”，右面写上“现代物理”，然后说：“经典物理就是我们平时所说的‘力热电光’，包括力学、热力学、电磁学和光学。描述的是我们熟悉的、在周围环境里发生的物理规律。你在上中学时学过的物理都是经典物理中的内容。和经典物理对应的是现代物理。它们之间的区分很简单，凡是和量子物理不沾边的都是经典物理。”

远山把身子下的椅子转了个 90°，面向白板，认真地听着。

“量子物理诞生以后，科学家意识到，经典物理理论或者说规律其实都是

量子物理在宏观条件下的近似。那什么叫宏观条件?”钟子丹问。

“就是您说的尺度大于原子的环境?”远山猜测。

“对。”钟子丹很满意,他意识到远山的确具备一个优秀学生的潜质,是个思路很清楚的人。“所以,物理学家们认为,所有现存的经典物理分支都应该能够找到它们被量子化以后的理论。比如,电磁学应该有量子化以后的电磁学,力学应该有量子化以后的力学,等等。而实际上,这两门学科的量子化版本已经有了,前者称为量子电动力学,后者就是所谓的量子力学。但到目前为止,很多经典理论还没有被量子化,比如爱因斯坦的广义相对论就还没有被量子化,还处在经典理论的范畴里。这也是目前许多物理学家努力攻克的项目之一。”

“您是说,爱因斯坦的广义相对论也是经典物理?也是近似理论?”远山瞪大了眼睛。

“对,广义相对论还有很多和量子物理发生冲突的地方。物理学家们仍在这方面努力寻求突破。不过这不在我们今天讨论的范围里了。你觉得你对经典物理有多少感性上的认识?”钟子丹笑着问。

“您是说我能把多少自己的生活经历和经典物理联系起来?这应该不算太难吧。比如说,我开车,用经典物理的运动学可以计算车的速度、能量、动量等。这我在高中的时候也知道。还有,我还记得我们老要算什么一颗炮弹发射以后,在空中飞行的轨迹,还有几个宇宙速度,还要算人造卫星打入太空需要多大的速度,以及它们绕地球旋转的精确轨迹和半径。”

钟子丹点头。远山见钟子丹不说话,有点不好意思地说:“其实也不是我还记得这么多东西,我来之前有点担心您会考我,所以花了好几个小时和儿子讨论了下,补了补课。这些东西我原来也知道一些。我这人记性还可以,所以虽然年代久了,但有些细节儿子一点,或者一提,我就想起来了。”

“我现在也觉得你真的天生底子不错,有机会的话会在学识上很有造化的。”钟子丹真心地评价和鼓励远山,首肯地笑着说,“你既然都准备了,就不妨再说些你准备了的东西,一来不会辜负了你的辛勤,二来也可以帮我对你的基

础有更好的了解。”

远山深受鼓舞，他沉吟片刻，整理了一下思路，接着说：“经典电磁学的应用和我们日常生活的关系更紧密些吧。现今的衣食住行中都少不了各类电器的辅助。嗯，热学和光学我不是很熟悉，不过应用还是知道一些，至少了解望远镜，小时候还烤过炉子。”说到这儿，他笑了起来。

“说起烤炉子，你知道烤炉子的时候你接受热量的这个过程是怎么回事吗？”钟子丹微笑着插话。

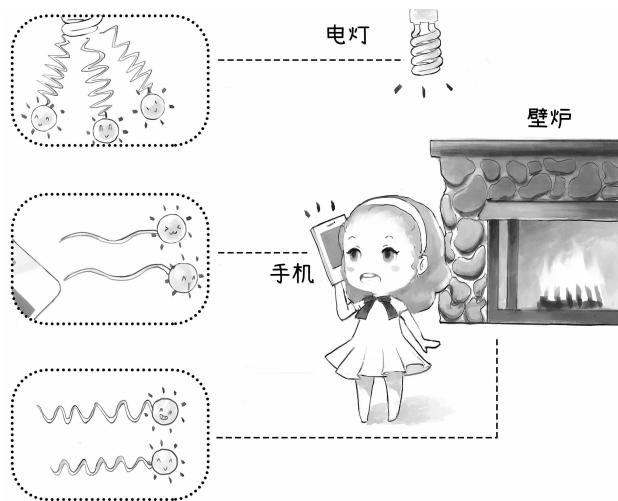
“热辐射吧？炉子发出热辐射。”远山肯定地回答。

“那热辐射的本质是什么？”钟子丹追问。

“本质？”远山糊涂了，想了想，说，“不知道。热学的知识我了解不多。”

“没关系，我只是随便问问。热辐射的本质其实是电磁辐射。”

“电磁辐射？这和电有什么关系？炉子又不接着电，我说的是那种烧煤、烧柴禾的炉子，不是电炉子。”远山觉得钟子丹误会自己了。



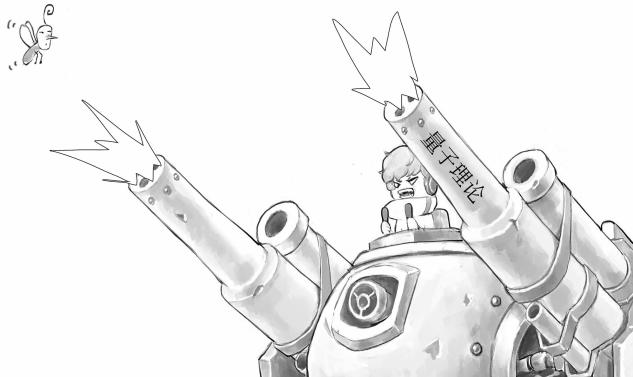
“对，我说的就是那种烧煤、烧柴禾的铁炉子或者土灶。”钟子丹又笑了，看着远山不解的神情，他切断了这个话题，“这个话题我们以后会有机会专门聊。你说得挺好，我做个总结吧。大约在 100 多年前吧，所有这些经典物理理论似

乎已经完备得足以解释发生在我们周围的形形色色的自然现象和事件,就像你刚才侃侃而谈一样。而且基于经典物理理论的技术发明与创造也层出不穷,似乎也足以满足人类无穷无尽增长的物质需求。所以,在一段时期里,有些物理学家自己都觉得物理的核心问题都已经基本解决,剩下的工作只是修修补补,追求精细完善罢了。直到接近 20 世纪初,人们意外地发现,在小于原子的领域,许多原本以为完美的经典物理理论突然失灵了,无法解释许多颠覆常识的实验现象。而看似处在另一个极端的领域——宇宙学研究领域里,经典物理居然也遇到了前所未有的困难。给你举个例子,依据经典物理计算,太阳几乎不可能成为每天为地球提供所有外部能量的太阳。因为太阳内部的热核反应按经典物理计算根本不可能发生,其中的细节我以后会介绍给你。今天你要了解的基本历史图像是,在接近 20 世纪初的那段时间里,物理学家在解释微观世界和宏观宇宙的过程中都碰到了经典理论无法解决的困难。”

钟子丹停顿片刻,好像要给远山时间铭记这个历史时刻。然后,他接着说:

“于是,在 20 世纪的一百年里,量子力学在物理学家们产生困惑和不懈的解惑中逐渐成形,一个新的世界——量子世界,越来越清晰地呈现在人类的认识中。后来科学家们惊奇地发现,发生在宇宙学中的许多现象,和发生在小于原子的微观世界里的现象竟然出自相同的物理机理。而这些机理都涵盖在逐渐完善的量子理论中,有如一个最大的世界和一个最小的世界冥冥中在一个宇宙奇异点上连在了一起,而我们早先认知的关于经典世界的物理理论不过是这个量子理论的经典近似而已。所以,有一个要点我需要反复强调:在微观领域,也就是小于原子并且包含原子的领域,虽然经典物理理论无法准确地描述微观粒子的运动行为,但这并不意味着经典物理错了,而是由于精确度不足,经典物理无能为力了。反之,量子物理的基本原理虽然同样适用于宏观世界,但在实际操作中,采用近似的经典理论就可以准确地表述宏观世界的行为。采纳量子解释和计算,反而弃简就繁,徒生曲折。”

“就像高射炮打蚊子，大材小用了。”远山补充。



“有那么点意思。而且不光是大材小用，还不好用了。”

“那，说来说去，原子有多大？”远山问。

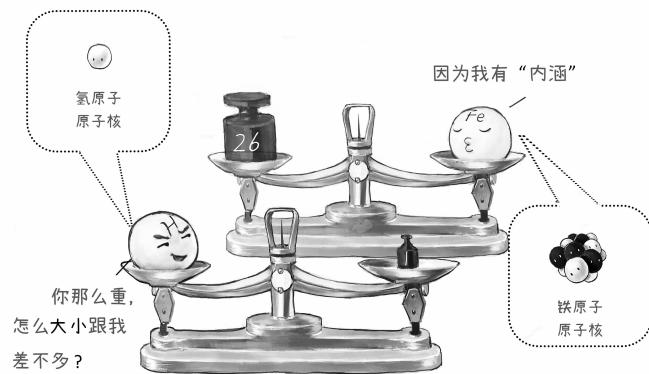
“原子的尺度大约是  $10^{-10}$  米。你熟悉这种采用 10 的几次方幂的表述吗？”

“知道。 $10^{-10}$  米就是 0.0000000001 米吧？1 前面有 10 个 0，唉，是 10 个 0 还是 11 个 0？算不算小数点前面那个 0？等等，你让我想想， $10^{-3}$  米是 1 毫米，可以写作 0.001 米，是 1 前面有 3 个 0。那就对了， $10^{-10}$  米应该是 1 前面 10 个 0，包括小数点前面那个 0。”

“对。科技界通用每三个幂次为一个单位分界，比如， $10^{-3}$  米是 1 毫米， $10^{-6}$  米是 1 微米， $10^{-9}$  米是 1 纳米，写作 0.000000001 米。一个原子的尺度大约是  $10^{-10}$  米，在 0.1 纳米左右。所以，所谓纳米技术，研究的也是原子级别的物质性质。”

“那不同的原子尺寸都差不多吗？我知道有的原子核里有好几百个核子，有的只有几个。”

“对，虽然不同的原子有不同大小的尺寸，但相差甚微。今天我们先只建立一个经典世界和微观世界的大图像，知道原子尺度的一个大致范围就可以了。以后我会解释为什么不同的原子会有大致相同的尺度。”



“所以，今天是老师探虚实、绘宏图的一课，不讲量子力学了？”远山笑着打趣，但好像带着点遗憾。

“不会让你那么失望的。”钟子丹也笑了，“今天不仅会讲量子物理，而且还会讲量子物理中两个非常重要的理念。主要目的是给你热热身，也许应该说是‘热热脑’，试试能勾起你多大兴趣。系统内容以后再说。怎么样，准备好了？”

“准备好了！”远山夸张地故作摩拳擦掌状。

“第一个理念，所有微观粒子都具有粒子和波动两种物理性质。所谓‘所有粒子’，包括物质粒子——有静止质量的粒子和非物质粒子——没有静止质量的粒子。物质粒子包括电子、各类原子和更微观的粒子。非物质粒子则比如说光子。在日常经验里，我们从来没有想过有质量物质的运动会有波动的性质。比如，打出去的高尔夫球，飞行中的子弹。这些有质量实物的运动都看似和波动毫不相干。而对于光而言，我们从来都没有感觉到它有粒子的性质，通常都说光波如何如何。可科学家在微观世界的研究中发现，其实这两类东西具有共同的波动性和粒子性。说到这儿，问题来了，你怎么标定物质运动的波动性？换句话说，什么是波的行为？从直觉上我们可以看到水波，在特殊的情况下也能感受到空气的波动，比较熟悉的例子是火车或者飞机经过时引起的声波的振动和频率变化。但如果从理论角度来描述，波的核心特征是干涉和衍射等一些特殊性质。比如，两辆汽车在夜间相对而行，车灯发出的光会在

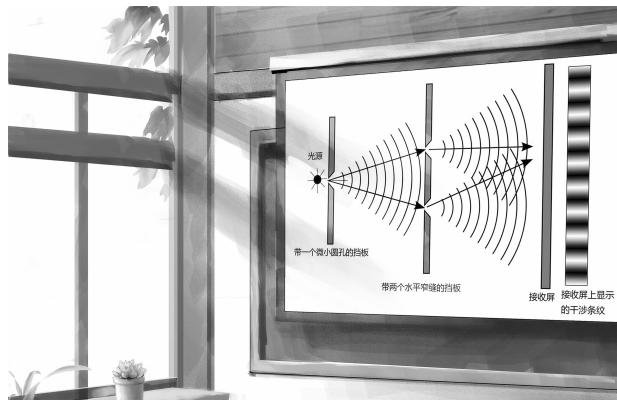
两辆车的前方发生干涉，造成有些地方发暗，有些地方相对明亮。开车的司机大都经历过这样的光波干涉的困扰。在水里投进去两个石子，每个石子都会形成自己向外围扩散的水波，这两列水波碰在一起，也会发生干涉，构成新的复杂波纹，此起彼伏。所以，如果说有质量的物质粒子有波动的性质，那它们也应该被测量到有诸如干涉和衍射一类的性质。”钟子丹说到这里，稍微停顿了一下，观察远山是否跟了上来。



远山点头。

钟子丹接着讲：“从物理上演示和标定波的干涉性质通常采用一个最通用常见的方法，那就是在一个点光源的前面摆上一个平板，平板上划开两条窄缝。然后在平板的另一面摆上一个屏幕。光源发出的光通过两个窄缝以后变成两束出射光，在平板后面相互发生干涉以后，打在屏幕上投出明暗相间的条纹。”说到这里，钟子丹走到办公桌前，将电脑接到投影仪上，在互联网上稍作搜索，很快在白板上打出一个光干涉的示意图。

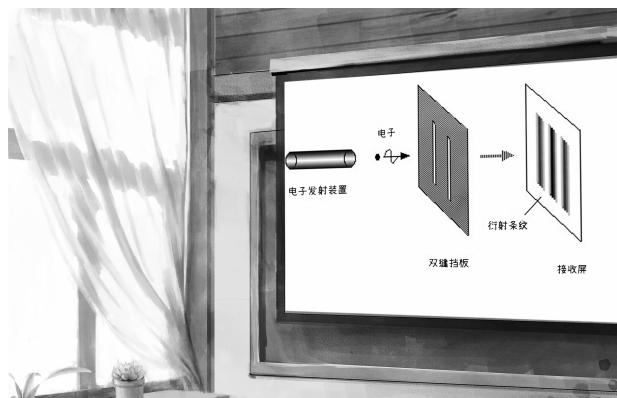
“这就是所谓的干涉条纹。”钟子丹指着示意图中最右面的一个明暗相间的、看似一条铁路的长条图案，“这是我们在周围世界里就可以看到的事实，而且也用这个方法认定光波的特征行为。如果说物质粒子也有波动性质，那么我们应该也可以通过同样的实验，得出同样的干涉条纹来。但经验告诉我们，如果用宏观粒子，比如用很多小米粒做类似实验，从一个位置不停地向双缝板发射小米粒。如果米粒能够穿过狭长的缝隙，那它们一定会保持原始方向沿



着一条直线继续前行,从两条狭缝出射的粒子也不会产生任何交集,打在屏幕上的痕迹只能针对每一个窄缝各自构成一束条纹。”

“肯定 是的!”远山坚定地表示同意。

“但是科学家们发现,如果把这个实验用于原子或小于原子的粒子,它们的行为居然不同于我们想象中粒子应该遵循的行为,反而和宏观世界里光波的行为一样,会在屏幕上投射出明暗相间的干涉条纹。”钟子丹又在网上搜索片刻,在白板上投出第二张图。



“这张图演示的就是电子通过双缝以后在投影屏上投射的条纹。”

远山脸上露出了惊奇和饶有兴趣的表情。

“更离谱的是。”钟子丹直起身来,笑着说,“科学家发现,如果电子发射器