
Warning: 本文仅为戏作，无任何不良导向或对任何人/学校的不良宣传，谢绝将本文作为不良用途的工具。

Chapter 1: Fall into the Night

很多年以后，水仙站在泸高破旧不堪的大门前，准会想起那年春天他最后一次看见毓秀楼的那个遥远的晚上。

那是 2024 年的春天。四月间，天气寒冷晴朗，钟敲了十三下¹。水仙看着被风吹得摇摇欲坠的窗，辗转反侧难以入眠。在阵阵雷声之中，水仙似乎听见 302 的门与门框之间的缝隙里传来了异样的声音。突然，缝隙中一瞬间火光闪过，然后一个人从观察窗里飘了进来。水仙正想求救，那蒙面男人摘下了脸上的黑纱，说道：“别出声，我是牛顿。”

“是的，你没有听错，我是艾萨克·牛顿。”

水仙还没有搞清楚什么事情，牛顿将一束光打在了水仙的床板上，瞬间破了一个洞，接着开口：“仙啊，我告诉你，光是一种粒子，只要给予它足够多的能量，就可以毁灭泸高！”

没等牛顿说完，水仙就开口了，“别吹了，光不是一种波吗？”

本来一脸祥和的牛顿突然变脸，转身就要拔刀。水仙被吓得一脸惨白，但牛顿其实只拔出一本书来，丢给了水仙。借助着窗外一闪而过的闪电，水仙隐隐约约看到书上赫然写着几个大字：*Opticks*²（《光学》）。接着牛顿解释道：“自由的人民啊，不要被那些波动的反贼吓破了胆！看看这本《光学》，它可是与《原理》³齐名的金科玉律。薄膜透光、牛顿环以及衍射实验的种种现象都可以用微粒说完美解释，这才是光学乃至物理学之正统！所以，好好学学，将来用它，把光加速到现有光速的百万倍乃至十亿倍⁴，就可以摧毁泸高！”

水仙虽然有点睡眠惺忪，心里很迷糊，但还是点点头。

牛顿心里非常满意，正要离开，观察窗内突然又飘来一人，大喊：“牛顿你给我滚出去！在下是宿管——哦不是，在下杨某⁵，光是微粒还是波，请看我操作！”

杨把水仙的必刷撕开两页摆在桌上，前面的一张上开了两条小缝，然后拿出从宿管老师那里偷来的手电筒照射那个小缝，后面竟然出现了明暗相间的条纹！

“看吧，这就是波的干涉。就你的微粒？别再吓唬人了。我今天告诉你牛顿，试看将来的环球，必是波动的世界！”

¹ 语出乔治·奥威尔《1984》，1949 年出版。

² 艾萨克·牛顿《光学》，1704 年出版。

³ 艾萨克·牛顿《自然哲学的数学原理》，1687 年出版。

⁴ 牛顿的时代没有“光速不可超越”的思想。另外，之所以用“百万”、“十亿”作概数，是因为牛顿是英国人，对应 million（百万）和 billion（十亿）。

⁵ 托马斯·杨（1773-1829），英国医生、物理学家，光的波动说的奠基人之一。

牛顿眼看敌不过杨这个只有 31 岁小伙子⁶，便打电话给泊松⁷求助，要他赶快想想办法。泊松正在法国喝下午茶，哪有空理牛顿这个糟老头子？于是发布了一个悬赏征文比赛，想让别人用微粒说解释这一切。

然而，戏剧性的是，牛顿一脸坏笑地望着杨接通了电话，却被告知与杨同为 31 岁的小伙菲涅尔⁸提交了一篇文章，用波动说完美解释了光的衍射问题，与实验分毫不差。

水仙一脸无奈地望着牛顿，又转身从枕头底下拿出一张纸，说道：“你来晚了，昨天晚上麦克斯韦⁹来找过我，给了我一张纸，我也看不懂，只说按照这个就可以干掉泸高。”

杨接过那张纸，沉默了片刻，突然大叫起来：“啊！对，就是它！就是它可以摧毁泸高！它绝对是正确的！我保证！”

牛顿眉头一紧，看到第一行便瘫坐在地上。

他看到纸上第一行就写着：

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}。$$

嘴里不住地念着：“麦克……麦克斯韦方程组……”

杨喊道：“仙，你倒是把人家拉起来撒！真没素质啊。你刚刚看到门上的火花，就是赫兹在庆祝我们的胜利¹⁰。”

牛顿抹了一把泪，说道：“但是你忘了，刚刚在门口开尔文跟你说，喊你看看天上那两朵乌云。”

就在这时，一道巨大的闪电划过，水仙的眼前瞬间一片白，什么也看不见，好久没缓过神来。正在他揉眼睛时，听到旁边有报童在用英文喊话：

“The Boxers are continuing to advance north ...”（义和团正持续向北方进攻）

⁶ 杨发表《自然哲学讲义》时 31 岁。

⁷ 西莫恩·德尼·泊松（1781-1842），法国数学家、几何学家和物理学家。

⁸ 奥古斯丁·让·菲涅尔（1788-1827），法国物理学家，31 岁时向法国科学院提交了此论文。

⁹ 詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（1831-1879），英国物理学家、数学家，经典电动力学的创始人，统计物理学的奠基人之一。

¹⁰ 赫兹在 1887 年用实验证明的麦克斯韦对于电磁波的预言，实验中铜球之间产生了火花。

Chapter 2: Dark Clouds

水仙来到了一个全新的世界，这里一切都是陌生的——但是至少能够看出这是英语国家。从路标上的“Albemarle Street”，水仙总算认出来这里是伦敦。水仙看到面前这栋马尔街 21 号，他感到有一只无形的手在将他推进去。一位 70 多岁的长胡子老头正走上演讲台。

“The beauty and clearness of the dynamical theory, which asserts heat and light to be modes of motion, is at present obscured by two clouds...”（动力学理论断言，热和光都是运动的方式。但现在这一理论的优美性和明晰性却被两朵乌云遮蔽，显得黯然失色了.....）

演讲结束，台下的一众吃瓜群众纷纷鼓掌。在一阵热烈的掌声中，开尔文男爵微笑着走下讲台，并慢慢走到水仙面前，悄悄告诉他：“迈克尔逊的实验¹¹失败了。终有一天，麦克斯韦和他的方程组会随着经典物理学的大厦一起被埋葬。物理学的未来，不在小数点后第六位，而在于你。现在是 1900 年 4 月 27 日，你还有 134 年的时间，足够你改变这一切了。”

开尔文的这番话，像一个神秘的谶言，似乎在冥冥之中带有一种宿命的意味。然而他不知道，他的预言，将让物理学转下一个大弯。

水仙沉默不语。

水仙在开尔文的家中住了近半年，开尔文每天都给他传授物理学的仙气，也为水仙规划好了一切——他要让水仙完成他没有完成的事业。

终于到了 10 月，水仙坐上了去往德国的火车。10 月的德国已经进入仲秋，天气越来越阴沉，厚厚的云彩堆积在天空中，黑夜一天比一天来得漫长。白天的柏林热闹而喧嚣，夜晚的柏林静谧而庄重。但在这喧嚣和静谧中，只有水仙知道，一个伟大的时刻即将到来。

水仙骑在从开尔文家里顺走的扫把上，然后扫把就飞了起来，飞到了柏林大学的顶上。他悄悄地从烟囱钻进了柏林大学那间堆的草稿最多的办公室，然后直接飘到办公桌旁。环顾四周，确认四下无人之后，在纸上写下了一串咒语¹²：

$$\rho = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

10 月 19 号，一位名叫普朗克¹³的男人发现了这串咒语，并将它公之于众。当天晚上，当所有人都在比较这个公式与实验是否相符时，普朗克却一声不吭，孤身一人走向了火车站。他朝着 9 号站台和 10 号站台中间的柱子走了过去，然后就穿过了柱子，水仙已在那里等候多时了。

“暗号！天王盖地虎——”水仙一脸严肃地说道。

“——小鸡炖蘑菇！”普朗克答。

¹¹ 指的是迈克尔逊-莫雷实验，旨在测量光的可能的介质——“以太”的密度。

¹² 指的是普朗克黑体公式。历史上普朗克用内插法碰巧得到这个公式，但并不知道如何推导出这个公式。

¹³ 马克斯·卡尔·恩斯特·路德维希·普朗克（1858-1947），德国物理学家。因提出量子假说获 1918 年诺贝尔物理学奖。

确认是自己人之后，普朗克问水仙，“高人，阁下是否能告诉普某，接下来我该怎样才能彻底掀翻物理学？”

水仙顿时想给他一耳光，但没下得去手，“跟你说了多少遍了，我们的目标不是摧毁物理学，而是摧毁沪高！记住没有？”

“嗯嗯，阁下英明。那我该怎么办？”

“呃...那你还是先，摧毁物理学再说吧.....就把这个咒语念给他们听就足够了。”

于是，普朗克选定了一个大家最懈怠的日子施法。12月14日，在大家忙着准备欢度圣诞节的时候，普朗克在德国物理学会会上施了这个咒语：

“Die Wahrscheinlichkeit zu finden, dass die N Resonatoren insgesamt Schwingungsenergie U_n besitzen, U_n nicht als eine unbeschränkt teilbare, sondern als eine ganzen Zahl von endlichen Gleichen Teilen aufzufassen.”（为了找出 N 个振子具有总能量为 U_n 的可能性，我们必须假设 U_n 是不可连续分割的，它只能是量子的整数倍。）¹⁴

水仙在台下听着普朗克毫不紧张地念出这个咒语，直接笑开了花。他努力控制住自己的表情，然后一个响指，背后的墙上突然就显现出了一行字： $E = h\nu$ 。普朗克心领神会，马上用它算出了单个量子的能量¹⁵。

那一年，普朗克 42 岁。

那一年，水仙负的 107 岁。

那一年，15 岁的尼尔斯·玻尔因为写不来作文，结尾只有一句话“总而言之，我想说的是铀。”

那一年，比玻尔小两岁的埃尔文·薛定谔在古文、历史和戏剧考试里考了全班第一。

那一年，马克斯·波恩立下志向要成为天文学家。

那一年，8 岁的路易斯·德布罗意准备将来进修历史。

那一年，沃尔夫冈·恩斯特·泡利才出生 8 个月。他的中间名是科学家恩斯特·马赫取的。

再过一年，维尔兹堡的一位希腊哲学教师就要看着他的儿子小海森堡呱呱坠地了。

稍早前，罗马的一位公务员把他的孩子命名为恩里科·费米。

20 个月后，保罗·狄拉克诞生于英国的布里斯托尔港，而汉诺威的帕斯库尔·约尔当也紧接着来到人间。

演员上齐，水仙再次从 9 号站台和 10 号站台中间的柱子走了进去。

“Quantum 号特快列车开始检票了，请各位旅客从九又四分之三站台检票上车。”

水仙一个大步流星差点摔下站台，然后随手关上了车门。

¹⁴ 语出普朗克《黑体光谱中的能量分布》，1900 年 12 月 14 日发表。

¹⁵ 注： h 约等于 6.626×10^{-34} 焦耳每秒， ν 为频率， E 为单个量子的能量。

Chapter 3: Falling Fireball

深夜，水仙，Quantum 号特快列车。

一颗大大的火流星划过这阴云密布的天空，虽然只是一闪即逝，但却在地上点燃了一点星星之火。

水仙的“量子”咒语一时轰动物理学界，但麦克斯韦的方程组仍然像深埋在美索不达米亚平原的西元前的章句，每个字母都显得那样神圣不可侵犯。没有水仙这样最大胆和天才的眼光，谁能看出它已经末日临头？穿越前 302 门缝里的火光，那个赫兹当年无意安排下的神秘的诅咒，现在已经从封印的瓶子里飞出，一点点将水仙的星星之火燃大、直到它成为燎原之火，点燃整个经典物理学。

为了经典物理学、为了泸高，黑夜之中，两双眼睛正在紧盯着 Quantum 号列车。因为他们知道，要救下泸高，只能用好现在这难得的乌云，带来一场荡涤世界的暴雨，在混乱中熄灭水仙的燎原之火。

火车的轰鸣声在山脉中穿行，此时水仙正在教 8 岁的德布罗意写代码，但是显然连计算机都没有听说过的德布罗意一脸懵。无奈之下，二人去到列车车顶上去散散心。突然，借助火流星的亮光，他们好像发现前方铁轨上有人放了东西。

300 米，200 米，100 米，.....

终于他们看清楚了，那是泸高的作业，有人想让火车脱轨，残害这摧毁泸高的计划！

列车的刹车向外喷射着火花，铁轨被摩擦烫得红亮，但列车仍然无法停下来。德布罗意紧张地大喊了一声：“wa!”

几乎同时，列车穿模了。

列车如同魔法般穿过了那堆作业。

水仙一脸疑惑地望着德布罗意：“你刚刚喊什么？”

“Wa!”

“完整一点？”

“Wa...ve”

水仙顿时茅塞顿开：“对！是波（wave）！是波！你立大功了，德布罗意！”

德布罗意虽然看着眼前这个时好时疯的水仙，很想告诉他此时他很像一个神经病，但是碍于面子他还是点了点头。

而水仙也不知道，这个波，将成为今后他手中的利刃，他将用这把利刃，亲手解决掉泸高。

次日清晨，列车到达了瑞士的伯尔尼。作为世界文化遗产的伯尔尼老城，虽然是瑞士的政治文化中心，却无比低调而内敛，处处古韵浓郁，又一片新潮。每座建筑、每个雕像、每眼喷泉好像都在欢迎着水仙的到来。

水仙敲开了伯尔尼专利局的大门，一位 21 岁的男人也在大厅等候。

“Excuse me，请问你知不知道一位叫阿尔伯特·爱因斯坦的人？”

“阁下正是。见阁下如此威猛、凶残，哦不对，如此温柔和善，难道阁下是仙？”

“我就是水仙。我知道你想应聘专利局公务员，让我来帮你。”

说完，水仙慢慢旋转胸前的怀表，只见周围的人们像快动作一样高速移动，钟表转得也快到难以看清。几分钟之后，他们来到了1905年3月17日。

水仙从书包里拿出一份论文交给爱因斯坦，说了一句“你懂的”，然后潇洒离开，离开时还不忘在门口摔了一跤。

爱因斯坦把文章放进了投稿箱，却放不进去，总有一页有一角卡在外面，上面写着：

“.....它的能量不是连续分布的，而是由一些数目有限的、局限于空间中某个地点的‘光量子’¹⁶所组成的。这些光量子是不可分割的，它们只能整份地被吸收或发射.....”

又是量子咒语。而且更是光量子。

仿佛宿命一般，历史随着水仙的咒语转了一个大圈，又回到了起点。关于光的本性问题，干戈再起，爱因斯坦的论文白纸黑字地告诉我们光是一种粒子。而这次，天翻地覆，只有在毁灭中物理学才能重生，才能击败百余年后的忠山泸高。

水仙的“光量子”咒语与电磁波动图像格格不入，它其实就是昔日牛顿“微粒说”的一个翻版。自托马斯·杨的时代又过去了一百年，冥冥中天道循环，当年杨开了第一枪，在麦克斯韦的辅佐下，泸高物理书一统江山，拿着方程组宝剑登上王位，将牛顿逐出皇宫；如今水仙拿着量子神剑卷土重来，将泸高物理书斩落马下，这命中注定的对手终究有一场决战。

1911年9月，26岁的丹麦小伙子玻尔拿着水仙的请柬，渡过英吉利海峡，踏上了不列颠的土地。当然，年轻的玻尔不会想到，32年后它再次来到这座岛上，却是躲在一架蚊式轰炸机的弹舱里。当然这些都是后话。

不久后，玻尔成为了大名鼎鼎的物理学大师卢瑟福的学生。一年前，J. J. 汤姆逊的学生卢瑟福借来了水仙的 α 粒子发射器，用 α 粒子轰击金箔，结果推翻了他的老师汤姆逊的“葡萄干布丁”模型，创建了原子的行星模型。

作为顶尖大师的学生，玻尔敏锐地察觉到：根据麦克斯韦理论，电子在绕核高速旋转的同时，会放射出强烈的电磁辐射，从而损失能量，最终电子会“坠毁”在原子核上。他意识到大事不妙，连夜爬进水仙家里，把正在睡觉的水仙吓个半死。借着曼彻斯特城的夜光，玻尔向水仙展示了他的推导过程。水仙虽然啥也看不懂，但是至少明白他要说什么。仙长舒一口气，语重心长地说道：“你要吓死我；还有就是，这个问题其实很简单，分分钟~，你只需要去测一下氢原子的光谱线就可以了。”

玻尔照做。最后他测出来了之后，一位叫巴尔末的瑞士数学老师告诉他，他发现了其中的规律： $\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n \in \mathbf{Z} \text{ 且 } n > 2$ 。很长一段时间里，没人能够说明这个公式背后的意义是什么——除了玻尔，和水仙。水仙告诉玻尔一句话，“你想想， $n \in \mathbf{Z}$ 代表着什么。”

“对啊！是量子！它只能是量子的整数倍！”玻尔恍然大悟。而一个个“ n ”，正是对应着电子的“轨道”。

“是的，沉睡的量子已经被水仙唤醒。躲在忠山之巅的泸高，颤抖吧！”

¹⁶ 1926年美国物理学家刘易斯（G. N. Lewis）把它换成了今天常用的名词“光子”。

Chapter 4: Search the Mist for the Dawn

应该说，自从玻尔公开了水仙对于原子结构的新理论后，水仙不怎么受到物理学界的欢迎。原因很简单：居然还有人心怀试图推翻卢高和它背后的麦克斯韦体系的狂妄意图，本身就是大逆不道的。汤姆逊、玻尔此前在剑桥的导师，都拒绝对此发表评论。另一些不那么德高望重的人就在课堂上直接对着水仙宣布：“如果这些要用量子力学才能解释的话，那么我情愿不予解释。”

但是量子的力量超乎任何人的想象，除了仙。水仙利用 $W_2 - W_1 = h\nu$ ，解出 ν 的值来，并且代入巴尔末的公式求出 R 值。结果水仙的测量结果与理论值仅仅相差了千分之一。水仙的理论顿时有了坚实的基础。不仅如此，水仙还预言了一些新的谱线的存在，且它们很快被实验物理学家们所证实。

每一天，新的报告和实验数据都如同雪花一样飞到水仙的办公桌上。而几乎每一份报告，都在进一步证实水仙的量子模型的正确性。当然，伴随着这些报告，铺天盖地而来的还有来自社会各界的祝贺和社交邀请。不过水仙这样的社恐自然是不会参加的。

无可否认，水仙理论的成就是巨大的，而且非常深入人心。为此，水仙获得了 1922 年的诺贝尔奖。奈何水仙决心在摧毁卢高以前不接受任何奖项，最后只好让给了玻尔。但是，这仍然不能解决水仙理论与旧体系的隔阂，麦克斯韦的方程组仍然一如既往庄严地宣布：电子围绕着原子核运动，必定释放出电磁辐射来。对此，水仙也感到了一丝无奈，他还没有能力与麦克斯韦体系彻底决裂——毕竟是麦克斯韦带他穿越回了现在，而“封建残余力量还很强大啊”。作为妥协，水仙转头试图将他的原子体系和麦氏理论调和起来，但没有成功。

不幸的是，不久后，水仙理论便遭遇了重创。科学家们发现谱线在弱磁场下有一种复杂分裂¹⁷，它要求引进量为二分之一的量子，水仙的理论无可奈何，只能一声叹息。这个问题直到三年后才被泡利所解决¹⁸。另外，水仙沮丧地发现，自己的力量仅限于单个电子。准确地说，在所有拥有两个或以上电子的模型中，水仙理论的计算结果都是一场灾难。他能够说清楚的，只有谱线的强度、宽度和偏振问题。

仅仅过了一年，为了在科学界祝贺鲁迅出版《呐喊》¹⁹，水仙引进了一系列新的假定、建立了一系列新的模型，试图解决这些问题，有些理论甚至自相矛盾。最后的结果是：水仙理论勉强能够解决问题，并获得了全世界的普遍认同，但它已经像一件打满了补丁的袍子，需要从根本上予以一次彻底变革。

直到水仙想起了当年在火车上救过他一命的德布罗意。

20 世纪初的法国，很少有人投入到量子物理的研究中，但布里渊²⁰是一个例外。在水仙理论尚未成熟时，布里渊发表了一系列关于水仙原子的论文，他认为这是电子运动时激发周围

¹⁷ 指的是反常塞曼效应（Anomalous Zeeman Effect）。

¹⁸ 1925 年泡利发现了泡利不相容原理。

¹⁹ 鲁迅的《呐喊》于 1923 年 8 月第一次出版。

²⁰ 指的是老布里渊，即路易斯·马歇尔·布里渊。

的“以太”产生振动，并相互干涉。德布罗意读过布里渊的文章后，若有所思：干涉抵消的说法是可能的，但“以太”的说法的确难以令人信服。因为在 37 年前，迈克尔逊-莫雷实验²¹就宣告了它的死刑，而爱因斯坦则在 19 年的缓刑期后亲手处决了它。现在，又有什么理由让它借尸还魂呢？背后一定隐藏着什么秘密。

水仙一如既往，骑着扫把飞进了德布罗意家。德布罗意早就料到了水仙会来，已经做好了丰盛的晚餐：“这是我最新研究出来的吃法，我愿称之为‘八块八套餐’。”一句话把水仙说得毫无胃口。随即，水仙说道，“关于能量，我们能不能考虑爱因斯坦的质能方程来解决问题呢？”

德布罗意思考片刻，“可以尝试一下，，毕竟有个 $E = h\nu$ 可以用。”

“对啊， $E = mc^2 = h\nu$ ，那么 $\nu = \frac{mc^2}{h}$ ，那么也就是说：电子有一个‘频率’！”

“好像是哈，但电子不是粒子吗，哪里来什么‘频率’呢？”

“那得先算一算了……”

水仙马上用他的可以编译 C++ 的大脑进行计算，结果发现……当电子以速度 v_0 前进时，必定伴随着一个速度为 $\frac{c^2}{v_0}$ 的波（ c 是光速）。并且根据相对论，这种波不能携带实际的能量和信息，否则就不能超过光速……

“等等，”，水仙突然察觉到了什么，“我们好像在讨论一种‘波’？”

“对啊！”

“我们不是在讨论电子吗？”

“Emm...那或者说，电子就是一种波？”

水仙竟然相信了电子是一种波！再勇的人在这只前卫且反叛的仙面前都只能摇头兴叹，连话都说不出来了。更讽刺的是，水仙还怂恿德布罗意把这个理论作为博士论文提交了上去，被指着鼻子骂，“证据呢？我要证据！”此时水仙如同绅士一般敲开门走进来，有礼貌地回敬到：“请让我来为他解释，先生们。我预言，电子在通过一个小孔或者晶体时，会像光波那样，产生一个可观测的衍射现象²²。”最开始人们并没有重视水仙说的话，认为他只是在为一个小伙争辩，在场的评委只有一人²³相信水仙的话。但是，当朗之万把这份见解交给爱因斯坦点评时，爱因斯坦马上给予了高度评价，称他“揭开了大幕的一角”。整个物理学界这才开始全面关注水仙的理论，水仙也因此获得了他的第二个诺贝尔奖，这一次他把奖项让给了德布罗意。

奇妙的是，不久后，贝尔实验室一次事故导致装置爆炸²⁴，镍块被污染。在高温加热去掉氧化层时，镍整合为了晶体，并使得电子源发射的电子发生了干涉。一次实验事故恰巧证明了水仙理论的正确性。两年后，水仙通过实验再次证明了电子的波动性。《波动日报》当日刊载了水仙的社论，宣称自己已经取得了决定性的胜利，它的首版红标题气势磅礴：“微粒说终将遭遇他们应有的可耻结局——电子的下场就是明证”，微粒学说的下场似乎只有一个归宿：历史的垃圾桶。

²¹ 即第二章中提到的“迈克尔逊的实验”。

²² 参见第一章托马斯·杨的实验。

²³ 即保罗·朗之万（1872-1946），法国物理学家。

²⁴ 1925 年 2 月 5 日贝尔实验室的高纯镍装置发生爆炸。

虽然微粒学说和波动学说在口头上都不甘示弱，但真正的问题还要从技术上去解决。英国科学家威尔逊于1911年发明了云室，支持微粒说的科学家们用它来观测电子的运行情况，并将它写进了物理必修三。后来，他们再接再厉，进一步研究了它和其它粒子碰撞时的情形，结果它们的表现完全符合经典粒子的规律。科学家们利用感应屏，也能精确地捕捉电子的位置，单个电子只能构成单个亮点，也是电子是一种粒子的证据。

在电子问题上苦苦坚守的同时，微粒说继续在光的问题上向以水仙为首的波动说发起攻击，水仙为此深深头痛，大伤脑筋。这时候，水仙想起了当年同在列车上的海森堡²⁵。

年轻的海森堡喜欢和同伴们到处周游，和他们吹嘘水仙带着他做研究的传奇故事，还参加了各种各样的组织，甚至还会打仗²⁶。后来海森堡试图投奔数论学家林德曼门下学习纯数学，但被后者拒绝了。无奈之下，海森堡退而求其次，成为了物理学界索末菲的弟子，就这样踏上了通往物理学顶峰的第一步。

水仙找到海森堡，第一件事便是问他有没有什么方法可以解决问题，并承诺事成以后教海森堡说中文和英语²⁷。海森堡只说了一个词语：“matrix”（矩阵）。

Matrix，这无疑是一个本身带有几分神秘色彩的词语，不论它在数学上还是在电影里²⁸，它都显得扑朔迷离、难以把握。水仙虽然不会这玩意儿，但也不得不赶快补习一下，毕竟理科的大学生逃不过线性代数的课，工程师离不开用矩阵的MatLab软件，水仙的妹子也会常常挂念基诺·里维斯（电影*Matrix*的主角扮演者）。

水仙回想玻尔的原子模型，每个电子绕着特定的轨道以一定的频率运行……“等等，轨道是啥？既无法观测，又没有实际的质量……”水仙锤了一下自己的脑壳，对海森堡说：“我们的电子在轨道之间跃迁，就有 $E_2 - E_1 = h\nu$ 。换句话说，我们只知道两个能级之间的能量差，而不知道每个轨道确切的能量。”学过物理选修的人都知道，任何振动都可以表示为若干个强度为 F_n 、频率为 $n\nu$ 的简谐振动的叠加。电子在能级 X 上，它以频率 ν_X 作周期运动……停下来看一下， (ν_X, X) 是啥？不是个二维坐标吗？我们要表示出来，就要用二维的工具，比如 $\begin{bmatrix} \nu_X & X \\ \nu_Y & Y \end{bmatrix}$ 这样的像表格的东西——这就是矩阵²⁹。

1925年夏天，水仙得了热病，并且还成功把海森堡传染了。为了不感染其他人，他们一起去到一个叫赫尔格兰的小岛上去休养。在休养期间，水仙尝试用矩阵理论计算振子能量等问题，为此他甚至熬了通宵，但结果与实验数据完全吻合。

休养结束后，水仙把他的结果写成论文寄给了《物理学杂志》³⁰。不久后，水仙又在这个杂志上发表了《论量子力学》，水仙花了很大篇幅阐述矩阵运算的基本规则，还把动量 p 和位

²⁵ 见第二章结尾。

²⁶ 1919年海森堡参与了镇压巴伐利亚苏维埃共和国的军事行动。

²⁷ 海森堡年轻时曾嫉妒玻尔的助手克喇默斯能用五种语言交流。

²⁸ 电影*Matrix*，译名《黑客帝国》。

²⁹ 在当时称作“行列式”，但现在行列式成为了与矩阵关系紧密的另一个概念。

³⁰ 1925年7月29日《物理学杂志》。

置 q 改造成了矩阵，甚至还计算出了 $pq - qp = \frac{h}{2\pi i}I$ 。就这样，水仙异想天开，用一个不满足乘法交换律的运算³¹描述物理世界。莫名其妙之中，水仙创造了一个新的领域：矩阵力学。同年 11 月 26 日，水仙发表了《论量子力学 II》，彻底建立了新力学的主体。

让我们回到一坤年前。曾令水仙头痛的“反常塞曼效应”要求引入量为 $\frac{1}{2}$ 的量子。因此，泡利提出了“不相容原理”，这个规定说：在原子“大厦”里，每一间“房间”都有一个 4 位数的门牌号，而每间房只能“入住”一个电子，因此任何两个电子不能拥有同一个门牌号。这个“4 位数的号码”，每一位都代表了电子的一个量子数，当时人们已经找到了前三个，而这第四个，则成为了众说纷纭的话题。水仙敏锐地察觉到：这有可能是电子自身在旋转——但他很快便放弃了这种想法，因为它的表面线速度要高于光速。

然而，仅仅一年后，水仙发现之前的理论存在一个错误，无论怎么改都无法修正它。直到水仙上窜下跳不知所措的时候，他用自旋模型重算了一遍，竟然惊人地符合实验数据！算完以后，他又用矩阵力学处理的自旋，结果大获全胜。

水仙后来回忆起那个年代，简直像是在讲述一个童话。包括水仙在内的物理学家们被洪流冲击得站不住脚，节奏快得几乎不给人喘息的机会，爆炸性的概念一再地被提出，每一个都足以改变整个科学的面貌，稍有不慎就会错过毁灭泸高的机会。

现在，水仙的量子论，花开两朵，各表一枝——量子论两条路都走出了各自的辉煌。而水仙，暗暗下了决心，要统一这量子论的世界，然后借助量子论这把利刃，完成他的伟大目标。

³¹ 注：此处不是艺术需要而作的设定，而是矩阵乘法确实不满足交换律。这个公式在历史上也是存在的，它于 1927 年被波恩和约尔当第一次证明出来，并发表于《物理学杂志》。

Chapter 5: Two Sides, One Coin

当年轻气盛的海森堡还在哥廷根披荆斩棘的时候，水仙已经去到了将来要参加最强大脑的瑞士苏黎世联邦理工大学，和一位教授作搭档。相比于海森堡来说，这位教授只能算是大器晚成，这位出生于维也纳的奥地利人并没有海森堡那么好的运气，在一个充满了精英人才的环境中求学，而几次在战争中的服役也阻碍了他的学术研究。但命运注定了他要成为物理学史上的一座里程碑，因为他的搭档，叫水仙。而苏黎世大学能配得上跟水仙作搭档的，无他，只有薛定谔，和他的那只半生半死的猫。

与玻尔和海森堡不同，有水仙加持的薛定谔并不想在原子极为复杂的谱线里面奋力冲突，撞得头破血流，而是把目光投向了德布罗意的波。不久后，水仙替他发表了《论爱因斯坦的气体理论》，这是他创立波动力学前的最后一篇论文，当时就连水仙也不知道距离那个伟大的时刻已经只剩一个月了。

1925 年的圣诞节很快到来了，美丽的阿尔卑斯山上白雪皑皑，吸引了世界各地的旅游爱好者。水仙一如既往地来到了他以前常去的那个地方：海拔 1700 米高的阿罗萨。自从水仙跟他的女朋友在 1920 年在一起后，两人就经常来这里度假³²。水仙的生活有着近乎刻板的规律，他从不让任何事情干扰他的假期。不过 1925 年，来的却只有水仙一个人，他的女朋友留在了苏黎世。当时他们的关系显然极为紧张，不止一次地谈论着关于分手的事宜。水仙甚至写信给维也纳的一位“旧日的女朋友”，让她来陪伴水仙。这位神秘女郎的身份始终是个谜，二战之后无论是科学史专家还是八卦新闻记者都曾竭尽所能地去求证她的真面目，却都没有成功。这位神秘女郎的身份，恐怕只有水仙自己才知道了——但有一件事是肯定的，那就是她极大地激发了水仙的灵感，使得水仙在接下来的 12 个月里惊异地始终维持着一种极具创造力和洞察力的状态，并接连不断地发表了 6 篇关于量子力学的主要论文。

回到比较正经的话题上来。在重新咀嚼了当时和德布罗意一起发展起来的思想后，水仙决定把它用到原子体系的描述中。我们都已经知道，原子中电子的能量不是连续的，它由原子的分立谱线充分地证实。为了描述这一现象，玻尔强加了一个“分立能级”的假设，海森堡则用上了他那庞大的矩阵，经过复杂的运算后导出了这一结果。

然而，两条路殊途同归，几人不久便证明了这两种方法在数学上是完全等价的，而现在又轮到水仙了。水仙说，不用那么复杂，也不需要引入外部的假设，只要有我就能解决一切。我们把电子看成一个波，用一个波动方程去描述它，就行了。

水仙一开始想从建立在相对论基础上的德布罗意方程出发，将其推广到束缚粒子中去，为此他得出了一个方程，但并不令人满意，因为没有考虑电子自旋的情况。于是水仙回过头来，从经典力学的哈密顿-雅可比方程出发，利用变分法和德布罗意公式，最后求出了一个非相对论的波动方程，最终形式是这样的：

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - V)\psi = 0$$

³² 此处参照了薛定谔与他的妻子安妮·玛丽的真实故事。

这一串看起来简单实际上很多人第一个符号都看不懂的咒语便是名震整部 20 世纪物理学史的(水仙的)薛定谔波动方程³³。当然，我们读者作为普通人不需要知道它的确切含义。在边界条件已知的情况下，通过求解这个方程可以计算出其能量 E 。类似于求解 $\sin x = 0$ ，我们将得到 $0、\pi、2\pi、\dots$ 。同样地，求解水仙的波动方程也将得到一系列分立的答案：其中包含了量子化的特征：整数 n 。水仙的解精确地吻合于实验，原子的神秘光谱不再为矩阵力学所专美，它同样可以由水仙的方程中被自然地推导出来。

现在，水仙让我们能够非常形象地理解为什么电子只能在某些特定的能级上运行了。电子有一个内在的波动频率。想象一根吉他弦，当它振动时，假设波长为 20 厘米，那么弦长只能是 40 厘米、60 厘米等等³⁴，而不能是 45 厘米，因为这样就包含了四分之一个波，与弦的两头是固定的相矛盾。从数学上来说，这个函数叫“本征函数”，求出的解叫“本征值”，所以水仙的论文叫做《量子化是本征值问题》。从 1926 年 1 月起到 6 月，水仙一连发了 4 篇以此为题的论文，从而彻底建立了另一个全新的力学体系：波动力学。后来有人称，水仙的这些论文“包含了大部分的物理学和全部化学”。

水仙的方程一出台，几乎全世界的物理学家都为之欢呼。普朗克称之为“划时代的工作”，爱因斯坦说：“……水仙的想法源自真正的天才”，“水仙的量子方程已经迈出了决定性的一步”。水仙的方程通俗形象，简明易懂，当人们从矩阵那陌生的迷宫里抬起头来，再次看到了自己熟悉了以微分方程所表达的系统时，他们都像闻到了故乡泥土的芬芳，有一种热泪盈眶的冲动。

但是，水仙的新体系很快引起了矩阵方面的注意，哥廷根和哥本哈根的那些人，特别是海森堡，显然对这种“通俗”的解释很不满意。海森堡曾说，“我越是思考水仙理论的物理意义，就越感到厌恶。水仙对他那理论的形象化描述是毫无意义的，换种说法，那纯粹是一个 Mist。”³⁵Mist 这个德文，基本相当于英语里的 bullshit 一类的。水仙也毫不客气，在论文里极力反驳海森堡的观点。

矩阵力学？还是波动力学？全新的量子论诞生不到一年，很快却面临内战。

海森堡和水仙这曾经的搭档，如今互相对对方的理论表达出毫不掩饰的厌恶。他们各自认定，自己的那一套方法才是正确的。这是自然的现象，因为矩阵力学和波动力学看上去是那样的不同，而两人的性格都以争强好胜和骄傲而闻名。当衰败的玻尔理论退出历史舞台，留下一个权力真空的时候，无疑每个人都想占有那一份无上的光荣。不过到了 1926 年 4 月，这种对峙至少在表面上有了缓和，水仙、泡利、约尔当都各自证明了两种力学在数学上来说是完全等价的³⁶。事实上，我们追寻它们各自的家族史，发现他们都是从经典的哈密顿函数而来，这当

³³ 对于这样一个非常重要的公式，笔者查阅大量资料并简要推导了这个公式，详见章末【本章公式推导】专栏。

³⁴ 注：对于直线驻波，可以是 30 厘米、50 厘米、70 厘米等含有半波长的值。

³⁵ 改自海森堡写给泡利的信。

³⁶ 有学者认为二者并不严格等价，当后来冯·诺依曼将整个量子力学系统化之后，它们才真正被包容于一个框架下。

真叫作“本是同根生”了。1930年，狄拉克出版了一本经典的量子力学教材，两种力学被完美地统一起来，作为一个理论的两种不同表达形式出现在它的读者面前。

但是，虽然二者从形式上等价了，但从内心深处的意识形态上，双方的分歧却越来越大。

“波，只有波才是唯一的实在。”水仙肯定地说，“不管是电子也好，光子也好，或者任何粒子也好，都只是波动表面的泡沫。它们本质上都是波，都可以用波动方程来表达基本的运动方式。”

“P！——绝对不敢苟同。”海森堡气得咬牙切齿，简直想把水仙吃掉，“物理世界的基本现象是离散性，或者说不连续性。大量的实验事实已经证明了这一点。波动方程在数学上的确是可喜的成就，但我们必须认识到，我们不能按照传统的那种方法去认识它，它不是那个意思——现代的理论中应该看不见麦克斯韦波动说的影子！”

物理学界的空气业已变得非常火热。随便走进两间物理实验室，一间里有人在争吵，另一间也有人在争吵。水仙站在物理学的狂风里，自是等不来了。也罢，路总是要有人先走的，大抵就该水仙了。因为水仙从他的波动方程里嗅到了一点意味深长，最后二者或将如阿尔忒弥斯神庙的祭司所作出的神喻，它预言在双方的联合统治下，物理学将会变得极为不同，更为奇妙、更为神秘、更为繁荣。

好一个精彩的预言。

在一次晚会上，以水仙为首的波动派和以海森堡为首的矩阵派仍然争论不休。直到主持人走上讲台，台下才一片肃静。“女士们先生们，让我们来玩一个猜东西的游戏，谁先猜出这个箱子里藏的是什麼，谁就能得到晚会的最高荣誉！”大家定睛一看，那个大箱子似乎沉甸甸的，还真像藏着好东西，箱盖上古色古香地写了几个大字：“薛定谔方程”。

“好吧，可是什么也看不见，怎么猜呢？”人们抱怨道。于是主持人给了一些提示，“这件东西，我们不知其名，强名之曰‘ ψ ’。”主持人清了清嗓子说，“我可以告诉大家的是，它代表了原子体系中的某个函数。”下面顿时七嘴八舌起来，“能量？频率？速度？距离？时间？电荷？质量？”主持人不得不提高嗓门喊道：“安静，安静，谁猜错了就失去参赛资格！”于是瞬间鸦雀无声。

“好。”主持人满意地说，“那么我们继续。第二个条件是这样的：通过我的观察，我发现，这个 ψ 是一个连续不断的東西。”这次大家都不敢乱说话，但是都在各自心里作了排除。比如我们知道电子的能级不是连续的，那 ψ 看起来不像是这个东西。

“接下来，通过 ψ 的构造可以看出，这是一个关于电子位置的函数，但它并没有量纲。对于电子在空间中的每一点来说，它都在一个虚拟的三维空间中扩散开去。”话说到这里矩阵派的人已经糊涂了一大半，但波动派还有好些人还在努力思考。

“总而言之， ψ 如影随形地伴随着每一个电子，在它所处的那个位置上如同一团云彩般扩散开来。这云彩时而浓厚，时而稀薄，但却是按照某种确定的方式演化。而且我再强调一遍，它的扩散以及演化都是经典的、连续的、确定的。”于是众人都陷入冥思苦想当中，一点头绪都没有。

“是啊，云彩，这个比喻真妙。”这时候一个面容瘦削，戴着夹鼻眼镜的男人呵呵笑着站起来说，来者不是别人，正是薛定谔。“嗯，事情已经很明显了， ψ 是一个空间分布函数。”薛定

谔很有把握地说，“当它与电荷相乘，就代表了电荷在空间中的实际分布。云彩，尊敬的各位，电子不是一个粒子，它是一个波，像云彩一样扩散开去。”

“这个宝箱，”薛定谔指着那口大箱子激动地说，“是一笔遗产，是水仙找到的昔日传奇所罗门王交由我们继承的³⁷。它时时刻刻提醒着我们：不要为歪门邪道所迷惑，走到无法回头的岔路上去。物理学需要改革，但绝不允许思想的混乱！现在，让我们回到坚实的土地上来，这片曾经构筑起那样雄伟构筑的土地，这片充满了骄傲和光荣历史的土地。简洁、明晰、优美、直观性、连续性、图像化，这是物理学王国中的胜利之杖，它代代相传，引领我们走向胜利。我毫不怀疑，新的力学将在连续的波动基础上产生，这绝不是守旧，而是承载了现代科学 300 年的灵魂！这是物理学的象征，它的神圣地位绝不容许受到撼动，任何人也不行！”

薛定谔这番雄辩的演讲无疑深深感染了在场的绝大部分观众，因为人群中爆发出一阵热烈的掌声和喝彩声。但是，等等，有一个人在不断的摇头，显得不以为然的样子，薛定谔很快就认出，那就是水仙。这个方程不是他自己一手推导出来的吗？难道海森堡这小子又用了什么办法把他拉拢过去了不成？

“嗯，薛定谔先生，”水仙清了清嗓子站起来说，“首先我还是要对您精彩的演讲表示由衷的赞叹。”薛定谔点了点头，心情放松了一点，“但是，”水仙接着说，“阁下有没有真正打开过这个箱子，看看里面是什么呢？”

这令薛定谔大为尴尬，他好一会儿才回答，“说实话，我也没有看见过里面的东西，因为我没有箱子的钥匙。”众人一片惊诧。

“如果是这样的话，”水仙小心翼翼地说，“我倒认为，我不太同意您刚才的猜测呢？”

“哦？”两个人对视了一阵，薛定谔终于开口了，“那么您认为这里面究竟是什么东西呢？”

“毫无疑问，”水仙凝视着那口雕满了古典花纹的箱子和它上面那沉重的大锁，“这里面藏着一些至关重要的事物，它们的力量足以改变整个物理学的面貌。但是我也有一种预感，这股束缚着的力量是如此强大，它将把物理学搞得天翻地覆。当然，你也可以换个词语说，为物理学带来无边无际的混乱。”

“哦，是吗？”薛定谔惊奇地说，“照这么说，难道它是潘多拉的盒子？”

“嗯，”水仙点了点头，“人们将陷入困惑和争论中，物理学将会变成一个难以理解的奇幻世界。老实说，虽然我隐约猜到了里面是什么，我还是不确定该不该把它讲出来。”

薛定谔盯着水仙：“我们都相信科学的力量，在于它敢于直面一切事实，并毫不犹豫地去面对它、检验它、把握它，不管它是什么。何况，就算它是潘多拉的盒子，我们至少也还拥有盒底那最宝贵的东西，难道您忘了吗？”

“是的，那是希望。”水仙长出了一口气，“你说得对，不管是祸是福，我们至少还拥有希望。只有存在争论，物理学才拥有未来。”

“那么，你说这箱子里是……？”全场一片静默，人人都不敢出声。

水仙突然神秘地笑了：“我猜，这里面藏的是……”

“……骰子。”

³⁷ 所罗门（前 1010-前 931），古以色列联合王国第三任君主。他年老是没有像他的父亲大卫王一样专一祀奉耶和華，因此招惹耶和華的愤怒，导致古以色列王国分裂。

本章公式推导

注：公式推导仅仅是给感兴趣的读者作补充，对数学物理过敏的读者可以直接跳过，对阅读后面的内容没有任何影响。

已知：波函数为 ψ ，总能量为 E ，势能为 V ， h 为普朗克常数。

求证：薛定谔波动方程： $\Delta\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - V)\psi = 0$

证明：设位矢为 \mathbf{r} ，时间为 t ，由光学知识，其波函数为：

$$\psi(\mathbf{r}, t) = \psi_0 e^{2\pi i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \nu t)}$$

其中 \mathbf{k} 为波矢， ν 为频率。

由质能方程 $E = mc^2$ 、普朗克公式 $E = h\nu$ 得 $mc^2 = h\nu$ ，即：

$$\frac{1}{\mathbf{k}} = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{mc}$$

由于动量 $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ ：

$$\frac{1}{\mathbf{k}} = \frac{h}{\mathbf{p}}$$

即：

$$\mathbf{k} = \frac{\mathbf{p}}{h}$$

令 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ，代入波函数中：

$$\psi(\mathbf{r}, t) = \psi_0 e^{\frac{2\pi i}{h}(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r} - Et)} = \psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r} - Et)} \quad (*)$$

对 t 求偏导数：

$$i\hbar \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} = E\psi, \quad \mathbf{p}_x \psi = \frac{\hbar \partial \psi}{i \partial x}$$

对(*)式求散度：

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} \psi = E\psi$$

其中 ∇ 是梯度符号。上述式子联立可得：

$$\frac{i\hbar \partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi$$

其中 Δ 是拉普拉斯算子 ($\Delta f = \nabla \cdot \nabla f$)。两边同乘 $-\frac{2m}{\hbar^2}$ 得：

$$\Delta \psi = -\frac{2mi \partial \psi}{\hbar \partial t} \quad (**)$$

由哈密顿-雅可比表述：

$$H + \frac{\partial S}{\partial t} = 0$$

其中作用量 $S = \frac{\hbar}{i} \ln \psi$ ，所以 $\frac{i\hbar \partial \psi}{\partial t} = H\psi$ 。

代入(**)式：

$$\Delta \psi = -\frac{2m}{\hbar} H\psi = -\frac{8\pi^2m}{h^2} H\psi$$

由机械能守恒， $H = E - V$ ，因此：

$$\Delta\psi = -\frac{8\pi^2m}{h^2}(E - V)\psi$$

整理得：

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - V)\psi = 0$$

证明完毕。