上帝掷不掷骰子？

爱因斯坦与玻尔的表面之争和缝隙之争

王德生　著

德麦国际出版社
DEMAI INTERNATIONAL PRESS

出 版 信 息

书名	《上帝掷不掷骰子？——爱因斯坦与玻尔的表面之争和缝隙之争》
著者	王德生
执笔	复合主体：王德生立题、口述命题与裁定，Claude 执笔与统稿
出版	德麦国际出版社（Demai International Press）・新加坡
编号	德麦国际专著第 205 号
ISBN	979-8-90690-343-3
定价	US$30
开本	170 mm × 240 mm
字数	约 23 万字
版次	2026 年 9 月第 1 版

AI 协作声明：本书的立题（「表面之争」与「缝隙之争」两层读法）、书名、书号与定价由王德生给出；读法所用的「发现大师的缝隙和悖论」方法，据王德生二〇二六年九月二十七日的六条口述整理。两人的判语与第 35 章的发现学／发生学读法为初判，待作者口述确认。文字在其指令下由 AI（Claude）协作成稿，每卷经一道独立核查、全书经两轮统稿，并经作者审定。书中所引两人及海森堡、罗森菲尔德、埃伦费斯特等人的话，凡加引号者均注明出处，多数为转述；回忆性史料与核不实的条目，汇总于附录四「引文核对表」与附录五「失效户」。书中陪读人物老秦、小满、老周，以及各章日常故事里的人物与场景，均为虚构。

全书结构：出版信息、作者介绍、前言、导读、目录；导论与六卷四十章；结语、参考书目、附录六件。

作 者 介 绍

王德生，SDE（显露 Show · 差异序列 Difference · 特征纠缠 Entanglement）本体论的创立者，德麦国际（Demai International Pte. Ltd.，新加坡）创始人、董事长。

生长于中国农村，1990 年进入湘潭大学。后获中国科学院数学研究所博士学位，并在中国科学院计算数学研究所从事博士后研究，研究方向包括 Voronoi 图、Delaunay 剖分、质心 Voronoi 剖分与有限元方法。曾在英国斯旺西大学、新加坡南洋理工大学工作，现居湖南娄底。

他的思想体系先后经历四站：三视角·知识的结构和体系（2017 年起）、321 智慧系统（2022 年起）、SIO 本体论（2024 年起），以及 SDE 本体论（2026 年起；同年 5 月起，“结构”改读为“显露”）——从“并排放着的三样”，走到“互相生出来的三样”。

他在德麦国际出版社出版了多部专著。本书是他用“发现大师的缝隙和悖论”这把刀，第一次去读一场争论：爱因斯坦与玻尔之间那场三十五年的争论，桌面上争了什么，缝里又争了什么。

一场争论，要读两遍：

桌面上看谁对谁错，

缝里看每个人手里的刀，

是从哪里来的。

—— 本 书

前 言

一场争论，要读两遍

这本书起于一句话。二〇二六年九月二十七日，我对一起做书的人说（王德生口述）：

“我们来做一个爱因斯坦和玻尔之争论，有表面之争，还有后面的‘缝隙之争’，写成专著，20 万字。”

话很短，里头有两层意思。第一层，是史书上那场有名的争论：光是一颗一颗的还是一片一片的，世界算不算得准，量子力学说完了没有，看一眼算不算数，远处的东西能不能被这里的事牵动。从一九二〇年两人在柏林初见，到一九六二年玻尔去世，前后四十多年，其中真刀真枪交手、彼此放不下的，是三十五年。这一层叫表面之争，不是说它浅，是说它摆在桌面上，人人看得见。

第二层，是桌面底下的东西。我想知道的不只是谁对谁错，而是每个人手里那把刀是从哪里来的。一个人拿什么去打对手，常常比他打赢了没有更能说明他是谁。这一层，我叫它缝隙之争。

◆ 一、为什么偏偏是这两个人

讲爱因斯坦和玻尔的书已经很多。通行的讲法大致是一句话：爱因斯坦反对量子力学，说上帝不掷骰子，后来实验证明他错了。这句话不算错，可它装不下两个人。

它装不下爱因斯坦。第一个把“偶然”郑重写进原子怎样放光的，正是他。一九一六到一九一七年，他在论文末尾坦白承认，自己的理论把基本过程发生的时间

和方向留给了偶然，这是一个弱点，但他对这条路有信心。一个说“他不掷骰子”的人，是最早把骰子放上桌的人之一。只说他“错了”，这一截就丢了。

它也装不下玻尔。玻尔一辈子讲“互补”，光像波也像粒子，两样都要，缺一不可。可是从一九一三年造出原子模型起，他抗拒“光是一颗一颗的”这个说法十几年，一直到一九二五年实验把话说死。只说他“赢了”，这一截也丢了。

还有两块黑板。一九五五年爱因斯坦在普林斯顿去世，办公室黑板上留着没擦的算式，一般认为写的是他自己的统一场论；照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张。一九六二年玻尔在哥本哈根去世，去世前夜，黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦一九三〇年出给他的那只光子盒；为什么画、画给谁，没有留下记载。一个到最后还在写自己，一个到最后还在答对方。“谁错了、谁赢了”那句话，解释不了这两块黑板。我想换一种读法，把这两块黑板读通。

还有一件事，那句通行的话也装不下：这两个人是朋友。一九二〇年春天在柏林头一回见面，爱因斯坦事后对朋友埃伦费斯特说，自己也像他一样“爱上”了玻尔，随后写信给玻尔，大意是一生中很少有人仅凭在场就给他带来这样的快乐。

据玻尔后来回忆，一九二三年爱因斯坦到哥本哈根，两人在电车上谈物理，谈得忘了下车，坐过了站，又坐回来，又坐过了站。三十五年里，他们谁也没说服谁，可谁也没有撕破脸。一场争论能吵这么久、吵得这么认真、又吵得这么体面，在科学史上不多见。我相信，这样的争论底下，一定埋着比输赢更值得看的东西。

再说一个时间上的巧合。一九二四年，玻尔和两位合作者写了一篇论文，为了保住“光是连续的波”，宁可让能量守恒只在平均上成立，一次一次的碰撞里可以不守恒；爱因斯坦坚决反对，他要每一次碰撞都守恒，要一颗一颗的光子。那一年，要统计、要“大概如此”的是玻尔，要“每一件事都有个准”的是爱因斯坦。三年以后，两人的站位正好倒了过来。一个人站在哪一边，原来并不像教科书写的那样，从一开始就定好了。

◆ 二、为什么是现在

还有一个理由，是今天的读者。

这些年，“量子”两个字常在新闻里出现。二〇一六年，中国发射了“墨子号”量子科学实验卫星，第二年完成了千公里级的纠缠分发；二〇二二年，诺贝尔物理学奖发给了用纠缠的光子做实验的三位物理学家。手机里天天刷得到“量子纠缠”“量子通信”“量子计算”，底下的评论常常是一句：“爱因斯坦输了。”

很多人认得这个词，却不知道它从哪里来。它不是某个实验室某一天挖出来的，是两个人吵了许多年、吵到谁也说服不了谁的地方，旁边一个人给那个地方起的名字。一个今天被拿来造工具的东西，最早是被拿来挑毛病的。我觉得，一个普通人在新闻里读到“纠缠”两个字的时候，值得知道它的来历：它是吵出来的，而且是两个互相敬重的人，用最好的方式吵出来的。

这也是这本书想补上的一块。熟悉教科书的人，缺的是缝里那一层；熟悉新闻的人，缺的是来龙去脉。一本书同时补这两样，未必补得好，但值得试一试。

◆ 三、和第 166 号的关系

这种读法，来自站上的另一本书，德麦国际第 166 号《生活在缝隙和悖论中的大师》。

那本书读了二十位大师，读出一条规律：大师教给别人的，是他写下来的那一半道理；他自己真正靠的，常常是他活过、却没写进道理的那一半。两半之间有一道缝。读一位大师，就是找到这道缝，再压成一句“他教的是甲，他靠的是乙”。

爱因斯坦是那二十位里的一位。那一章给他的判语是：“他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论。”他相信世界最深处是一整片连续的场，可让他成名的，是光一颗一颗的那一面，和他一辈子跟人争出来的那些思想。那一章把他归进大师悖论的第三种：让自己成名的东西，后来被自己否定了。

这本书接着那一句往下写，不改判。第 166 号一句带过的“一阵一阵的争论”，在这里展开成一整本书。

两本书用的是同一套办法，看的却不是同一样东西。第 166 号读的是一个人身上的一道缝：他写下的和他活过的，怎样错开。这本书读的是两道缝在一场争论里怎样对撞。一个人身上的缝，平时藏得住；两个人吵起来，每个人都要从身上拔一把刀，刀一拔，缝就露出来了。

更有意思的是，刀的来处和刀砍中的地方，常常是交叉的：爱因斯坦拿“一个定好的世界”去打量子力学，可他自己活过偶然和统计；玻尔一九三〇年回答光子盒，用的是爱因斯坦自己的广义相对论。每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。

所以，第 166 号是一面镜子照一个人，这本书是两面镜子对着照。对着照的时候，会照出一个人自己照不出来的东西。

◆ 四、判词

全书有一句判词，会在前言、导读、卷四和结语里完整出现四次，每次一字不改。这是第一次：

> **桌面上，他们争的是上帝掷不掷骰子；缝隙里，每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。争了三十五年，缝里长出来的第三样东西叫“纠缠”：它不是谁的发现，是两个人一起的发生。**

这句话分三截。第一截是桌面，卷一的六个回合都在这里。第二截是缝隙，卷二、卷三各读一个人，卷四让两道缝撞在一起。第三截是缝里长出来的东西：一九三五年，两人为“远处”那道难题吵得最凶的那一年，薛定谔在论文里给其中那种说不清的相连一个正式的名字，叫“纠缠”；三十年后贝尔把它变成了可以在实验

台上判的题；再往后，它成了今天量子通信、量子计算的材料。它不是爱因斯坦找到的，也不是玻尔找到的，是两个人一起吵出来的。卷五专讲这一截。

判词里“发现”和“发生”两个词要分清。发现，是东西本来在那里，等人去挖出来，像地里的一块石头。发生，是东西本来没有，几样东西顶在一起、一步一步走，才长出一个原来没有的样子。这本书说纠缠是“发生”，就是这个意思。

◆ 五、这本书对普通读者有什么用

两位物理学家吵架，和一个普通人有什么相干？我想用一件小事来回答。

设想县城里有一位退休的老照相师傅，姓黎，在照相馆干了三十多年。女儿在长沙上班，前些日子陪他去了一趟张家界，拍了不少照片。回来以后，女儿把照片修了一遍：天调蓝一点，人脸调亮一点，他眼角的皱纹也抹淡了，发到了家族群里。

黎师傅看了不高兴，在群里回了一句：“照片要真。修成这样，还是我吗？”

女儿也不高兴：“照片是给人看的，好看才有人看。您那张脸，原片发出去，大家只看得见皱纹。”

两个人在群里你一句我一句。桌面上争的是一件事：照片该不该修。

可是往下看一层，事情就有意思了。黎师傅嘴上的那把刀是“要真”，可他自己活过的恰恰是“修”。胶片那些年，照相馆里的人像底片，他是要一张一张拿铅笔去修的：脸上的斑点点掉，暗处的眼睛提亮一点，放大的时候这里遮一遮、那里多给一点光。他干了三十多年这门手艺，靠的正是修。

女儿嘴上的那把刀是“好看”，可她自己也活过“要真”。她结婚那年拍婚纱照，影楼把她的脸修得又瘦又白，她拿到样片，在店里哭了一场，说“这不是我”，最后坚持挑了几张没怎么动过的放进相册。

也就是说，父亲拿自己写下的“真”，去打女儿身上的“修”，可他自己修了半辈子；女儿拿自己写下的“好看”，去打父亲身上的“真”，可她自己为“真”哭过一场。两个人手里的刀，都是从对方那一边拿来的，而对方那一半，自己也活过。

要是只看桌面，这件事的结局无非两种：父亲让步，照片照样修；或者女儿让步，把原片再发一遍。谁赢谁输，过几天就忘了。

可是假如这场争论吵到了缝里，就可能长出第三样东西。比如某一天，女儿想起婚纱照那件事，先说了一句：“其实我也受不了修过头的。”父亲也松了口：“我当年修底片，也修过不少人。”两个人坐下来，一张一张重新挑，定了一条家里的规矩：修光，不修人。天可以调蓝，脸上的光可以补，皱纹和斑点留着。这条规矩不是父亲原来的“要真”，也不是女儿原来的“好看”，是两个人吵过这一场才有的。

这就是这本书想给普通读者的一样东西：一场吵架，至少要读两遍。第一遍，听桌面上争什么，这一遍谁都会。第二遍，问一问每个人手里的刀是从哪里来的，特别是问自己：我拿来打对方的这把刀，是不是我自己也活过对面那一半？这一问问下去，吵架就不只是分输赢，还可能长出一样两个人都没想到的东西。

爱因斯坦和玻尔的争论，比家里修不修照片深得多，也体面得多。可它的形状是一样的。看清了大人物的缝，再回头看自己，常常看得更清楚一点。这本书的最后一卷，就是专门把这面镜子转过来，照普通人家里、单位里的吵架。

还要说一句：说一个人有缝，不是说他虚伪，更不是揭他的短。理论只写得下能讲清楚的东西，活过的总比写下的多。越是大师，活过的越多，缝也就越显眼。读完这两个人，我希望读者更敬重他们，而不是更看轻他们。

所以这本书守着一条规矩：说一个人漏了什么之前，先说他对在哪里。缝隙读法把这叫“保底”。爱因斯坦一九三五年抓住的那个“远处”的难题是真问题，今

天长成了一个行当；他对海森堡说的“是理论决定我们能观察什么”，至今是对的。玻尔一九三〇年对光子盒的回答，不论细节是否严密，守住了不确定关系；“现象要把仪器算进去”，至今是量子测量的真问题；他在哥本哈根办的研究所，是二十世纪最开放的物理学“客厅”之一。

这些先认下，缝才有地方落。一个人的缝之所以值得读，正因为他写下的那一半是真的，是用一辈子压出来的。黎师傅的“要真”和他女儿的“好看”，也都是真的；吵到缝里，不是要谁把自己那一半扔掉，是要各自认下，自己身上还有另一半。

◆ 六、这本书的限度

一本书能说到哪里，也要先交代清楚。有几处，读者读的时候要心里有数。

第一，史料多靠回忆。这场争论里最有名的几个场面，一九二七年索尔维会议上“早饭出题、晚饭交卷”，一九三〇年光子盒那一夜玻尔的沮丧和第二天的得意，一九三五年那篇论文“像晴天霹雳”，都来自在场的人多年以后的回忆：海森堡、施特恩的，罗森菲尔德的，还有玻尔本人一九四九年的长文。

回忆是珍贵的，也是会走样的。书里凡是靠回忆的地方，都写了“据某某回忆”；拿不准的写“相传”“据说”“常被归到他名下”；两人的原话只引那几句有据可查的短句，比如“他不掷骰子”，比如“是理论决定我们能观察什么”，其余一律转述。宁可少说一句，不替他们编一句。

第二，“回写”是本书的读法，不是史书上的事实。本书说这场争论没有结局，是因为两个人都缺“回写”：吵完了，没有回过头去改自己的出发点。这一条和别的几条不一样。别的判断，都能落到一封信、一篇论文、一次实验上；这一条说的是两个人“没有做”什么，而“没有做”最怕新材料。我查到的材料，指向这个读法；可没查到不等于没发生。说“从来没有”之前，先问一句：是真没有，还

是没查到。这是我给自己立的判读纪律，书里每一条判决都挂着推翻条件，结语会逐条验收，哪条站得住，哪条要收窄，照实写。

第三，SDE 的读法是初判。书里用 SDE 这套发生学读法看两个人：爱因斯坦是一种“世界早已定好、等人去找”的姿态，玻尔往前走了一步，承认看的方式是事情的一部分，却停在了仪器口。这一层集中在卷四第29章、卷五第35章和结语，属于初判，还要我口述确认，确认之前不当定论读。给两人的判语也是一样。

第四，本书不当物理学的裁判。表面之争照今天物理学的共识说话，共识没定的地方就写“悬着”；今天几种主要的读法，哥本哈根的、玻姆的、多世界的，各给一句公道话，不替物理学家在它们中间选边。物理内容一律用大白话和家常比方讲，不上公式。这样讲难免粗一点，专业的读者会看出哪里省了、哪里绕了；但我宁可粗一点而不说错，也不愿为了精确把普通读者挡在门外。

第五，书里的日常故事和陪读人物都是构想的。每一章用一件家常事帮读者看清一个道理，上面黎师傅父女就是一例；这些故事只借一个形状，不证明任何史实，也不说明物理学的纠缠就是家里的一场争吵。故事和两位大师对得上的地方，本书叫“同构”，对不上的地方，书里会说出来。

第六，私生活不写。两人的婚姻、家事，除非和缝隙直接相关，一概不写。战争、原子弹、时局，只写和缝隙相关的公开事实，不做表态。

◆ 七、致谢

这本书能写成，首先靠的是那些把史料一页一页整理出来的人：编爱因斯坦全集的学者，保存物理学史口述访谈的档案馆，写下回忆的当事人和后来的传记作者。书里的每一句“据某某回忆”，都是欠他们的一笔账。

也谢谢德麦国际参与这本书编写和核查的同人。书里每一处存疑的地方，都交给了独立的核查环节，核出来有出入的，照改。还没能核实的，列进书末附录，不藏着。

还要谢谢第 166 号的读者。那本书读的是一个人一个人的缝，这本书想试一试，两道缝碰到一起会怎样。没有那本书垫在下面，这本书无从写起。

最后，谢谢拿起这本书的你。这是一本讲吵架的书。希望你读完以后，下一次和人争起来，能多问自己一句：我手里这把刀，是从哪里来的？

王德生　2026 年 9 月　于湖南娄底

导 读

这本书怎么读

这本书有导论、六卷四十章和结语，二十万字上下。它不要求从第一页读到最后一页。这篇导读只做几件事：把六卷的路线摊开，给几种读法，把书里用到的几个 SDE 词先用大白话过一遍，再把判词、判语和随身三问放在手边，最后介绍两位陪你读书的人。

先说每一章是怎样搭起来的，认得了这个样子，翻到哪一章都不会迷路。

每章开头有一句“这一章的问题”，一句话说清这一章要回答什么。接着是一个画得出来的场面，多半是一个矛盾的瞬间，比如一只挂在秤上的盒子，一块没擦的黑板；凡是构想的场面，书里都写明了“不妨想象”或“这是我构想的场景”。然后是正文，几个小节。

每章都有一件家常事做主例，洗碗、晒被子、找钥匙、修鞋摊，全书四十多个故事，一个故事只用一次。章末是一句“带走的话”，不超过七十个字；再往后是两行“小账”，按卷换问题，比如卷一问“这一回合，桌面上谁占了上风”和“缝里，谁手里拿着对方的哪一半”，卷五问“缝里长出了什么”和“它属于谁”。

时间紧的读者，只读每章的“这一章的问题”和“带走的话”，也能把全书的骨架过一遍。

一、六卷路线图

先看一张全书的路线表。

部分	章次	它回答什么
导论　一块黑板上的盒子	导论	为什么活得更久的那一个，去世前夜的黑板上还留着对方的盒子；为什么这场争论要读两遍
卷一　表面之争：六个回合	第1—8章	桌面上两人争了什么，照今天物理学的共识，谁赢了
卷二　爱因斯坦的缝隙	第9—15章	爱因斯坦教的是什么，靠的是什么
卷三　玻尔的缝隙	第16—22章	玻尔教的是什么，靠的是什么
卷四　缝隙之争：两道缝怎样对撞	第23—29章	两道缝在哪里碰上，碰出了什么，为什么没有结局
卷五　缝里长出来的东西	第30—35章	“纠缠”怎样从缝里长出来，它属于谁
卷六　普通人版：你家里的爱因斯坦与玻尔	第36—40章	你家里、单位里的吵架，桌面上争什么，缝里争什么
结语　两块黑板	结语	五条判决，哪条站得住，哪条要收窄

下面一卷一段，说说每一卷怎样走。

卷一写桌面，只讲史书上有的事。一九二〇年春天，两人在柏林一见如故，分歧从第一天就埋下了。然后是光量子二十年：一个人信了一辈子，却说自己没弄懂；一个人不信了十几年，直到一九二五年实验把话说死。一九二六年春天，海森堡来访，说自己只用看得见的量是跟相对论学的，爱因斯坦回了那句“是理论决定我们能观察什么”。一九二七年第五届索尔维会议，据在场者回忆，爱因斯坦早饭时出题，玻尔一方晚饭时交卷。

一九三〇年第六届索尔维会议，一只挂在秤上的光子盒让玻尔整晚沮丧，相传一夜无眠，第二天他用爱因斯坦自己的广义相对论把盒子拆开。一九三五年那篇四页的论文，据罗森菲尔德回忆，对玻尔“像晴天霹雳”。然后两人各走各的余生：

一个在普林斯顿独行，一个在哥本哈根身边总有人。卷一最后一章是计分板，四道题加一道测量问题，一题判负，两题悬着，一题双方都没赢，一题两人都没解。

卷二读爱因斯坦。先说他的秘籍，一个不看也在、一丝不乱的世界，先认下这一半是真的。然后是四道缝：信一整片场，成名靠一颗一颗的光，这一道接着第166号的判；只认秩序，最漂亮的活却做在涨落和统计里；要物理学写一个没有观察者的世界，最有名的发现却是先把自己放进去、再和别的观察者对表换来的；晚年只信方程的简洁，年轻时却靠一幅一幅的画面想事情，数学是向老同学格罗斯曼求助借来的。

第14章写统一场论三十年，怎样把四道缝收成一面墙，这面墙挡住了随大流，也挡住了他自己活过的那一半。第15章收账：七条保底、一张缝隙定位卡、一句判语，还有普通人怎样补他的缝。

卷三读玻尔，走法和卷二对称。先说他的秘籍，两样都要。然后是三道缝：讲波粒互补的人，前半生只要波；把“必须说清楚”当成科学门槛的人，自己的话以难懂出名；把“对立即互补”刻进家徽的人，他的学派对玻姆、埃弗雷特两种新读法都没有开门。

另有一道缝在脚下：他的学说只讲我们怎样说，他这一生却是靠一整片地站住的：家底、基金会、一九二一年落成的研究所、一九三三年起救助流亡学者、一九四三年渡海出逃、一九五〇年致联合国的公开信。第21章回到他最后那块黑板。第22章收账，也是保底、定位卡和判语。

卷四是全书的腰。卷二、卷三各给了一张缝隙定位卡，这一卷把两张卡叠在一起。先看交叉的刀：每个人打向对方的刀，是从哪里来的。再看一九二四年的换位：那一年要统计的是玻尔，要逐个守恒、要光子的是爱因斯坦，和三年以后正好相反。

再看两人各拿一半的“观察者”，和两人在最要紧的那一回合都没写清楚的那句话。第27章讲友谊这片地，为什么吵了三十五年还吵得下去。第28章把两人的缝摆在同一张九宫图上，像玻尔家徽上的太极图，黑鱼的眼睛是白的，白鱼的眼睛是黑的。第29章回答为什么没有结局：两个人都缺回写。判词在这一章第三次出现。

卷五写缝里长出来的东西。第30章讲“纠缠”这个名字：一九三五年，薛定谔和爱因斯坦频繁通信，同年在剑桥哲学学会会刊和《自然科学》上发表论文，让这个词正式亮相，还写了那只猫；爱因斯坦的信里用过一桶会自燃的火药做类似的例子。第31章讲被关在门外的人怎样把问题带回来：一九五二年的玻姆，一九六四年的贝尔。

第32章讲可判性的到来：一条画在纸上的界线，被一代又一代的人搬上实验台，把漏洞一条一条堵上，堵到二〇一五年。第33章对账，第8章那张计分板上，一格判负，一格收窄，三格没动。第34章讲今天的桌面，纠缠怎样成了造工具的材料，又为什么不能拿来送信。第35章是本书用 SDE 对两人做的读法：两种发现学的姿态，都差一步。

卷六是普通人版，镜子转过来照你自己。第36章讲怎样听出一场吵架底下的缝；第37章讲单位会议上的“光子盒”，也就是拿对方自己的道理去驳对方，怎样认得出，怎样用得体面；第38章讲说清楚与说真话之间差在哪里；第39章讲只学爱因斯坦的人和只学玻尔的人，各会在哪里卡住；第40章读你自己：你嘴上站哪一边，身上活在哪一边。结语回到两块黑板，把五条判决逐条验收，站得住的说站得住，要收窄的照实收窄。

◆ 二、几种读法

不同的读者，可以走不同的路。

只想听故事的，读导论和卷一。卷一是一部通俗的争论史，六个回合，一个接一个，人物、会议、书信、思想实验都在里面，读完就知道这场有名的争论到底吵了些什么、吵成了什么样。想再看一眼结局，可以接着读结语。

只想学方法的，读卷二、卷三、卷四和卷六。卷二、卷三各示范一遍怎样读一个人的缝：先说他对在哪里，再找他写下的和活过的怎样错开，最后压成一句判语、开出补法。卷四示范两道缝碰到一起怎样读。卷六把这套方法搬回家里和单位。对物理完全没有兴趣的读者，也可以照导论里的建议，先读导论、卷四和卷六，再回头补卷一。

关心今天量子科技的，读卷五。新闻里的量子通信、量子卫星、量子密钥，来历都在这一卷里：一个当年被拿来挑毛病的词，怎样一步一步成了工具。读卷五之前，最好先翻一翻卷一第8章那张计分板，卷五第33章要拿它来对账。

几条路走完，最后都会走到判词那里。这本书真正想说的话，在两遍读法的交界处。

◆ 三、几个词的大白话速查

书里借用了 SDE 这套发生学读法，只用到下面几个词。每个词第一次在正文出现时都会再讲一遍，这里先放在一起，方便翻查。

显露，字母是 S。一件事最后长出来的样子：一个人成了什么人，说出了什么道理，一套理论最后写成了什么样。相对论、互补原理，都是显露。要紧的是“长出来”三个字，它不是本来摆在那里等人去捡的。

差异，字母是 D。走出来的那条路：一步一步试，错了改，改了再试。一个想法从模模糊糊到清清楚楚，中间的每一步都是差异。

特征纠缠，字母是 E，书里更常说“脚下那片地”。一个人站在哪里：家庭、时代、身边的人、手里的工具、被迫接受的处境。人回头讲自己怎么成功的，常常讲得清路，讲不清地。这三样谁也不能单独当起点：样子是在路上、在地上长出来的，路是在地上朝着某种样子走出来的，地又会被走过的路和长成的样子一点一点改写。

这里要特别分清两个“纠缠”。物理学里的“量子纠缠”，说的是两个曾经在一起的小东西，分开以后仍像一个整体，测了这一个，就知道那一个，这是物理学的原名，书里照用。SDE 的“特征纠缠”，说的是脚下那片地里许多东西缠在一起、分不开。两个词不是一回事，但有一个相同的形状：分开看，看不懂；合起来看，才看得懂。这种形状上的相同，书里叫“同构”。

九宫。显露、差异、脚下那片地，各分三个方面，三三得九，排成一张九格的表。本书只用到其中三格。一格是样子以什么形态出现：一颗一颗的粒子，一阵一阵的波，一整片的场。一格是信息靠什么传：画面和语言，推理，算式。一格是一个人活在哪个世界里：想法的世界，现实的世界，自己心里的世界。

三号位。看一件事站在哪个位置：一号位站在事外看，二号位站在人和人之间、在过程里看，三号位从自己心里看。爱因斯坦的理论站一号位，他最漂亮的活却是在三号位和二号位里干成的；玻尔的理论站二号位，他的学派后来却把一种读法当成了一号位上定死的东西。

显露光谱。一样东西长出来的样子，是一锅粥的时候叫混沌态，正在成形的时候叫介生态，定了型的叫秩序态。爱因斯坦的理论要一个秩序态的世界，他却最会在一锅粥里找规律。

回写。SDE 讲一件新东西怎样发生，有一个三拍：第一拍，两样东西顶着，劲儿越攒越多；第二拍，劲儿攒够了，事情的样子变了；第三拍，回过头去，把这次变出来的东西写回自己脚下那片地里，改自己的出发点。第三拍就叫回写。回写不是认输，也不是改答案；一个人可以一辈子不停地改答案，却一次也不回写。本书说两人吵了三十五年没有结局，就落在这个词上。

就这些。书里不在这几个词之外另编名目。

◆ 四、判词和两人的判语

判词在这里第二次出现，一字不改：

> **桌面上，他们争的是上帝掷不掷骰子；缝隙里，每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。争了三十五年，缝里长出来的第三样东西叫“纠缠”：它不是谁的发现，是两个人一起的发生。**

判词说的是这场争论。落到两个人身上，各有一句判语，句式照缝隙读法的老规矩：他教的是甲，他靠的是乙。

爱因斯坦：他教的是一个不掷骰子的世界，他靠的是第一个把骰子放上桌。压成更短的一句：他反对的，正是他开的头。这一句接着第 166 号那一句“他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论”，不改判。第 166 号说的是形态，本书说的是定没定型；两句合起来，是同一个人的两面。

玻尔：他教的是两样都要，他靠的是一次只认一样。短句：他讲互补，守的是门。“守门”有两层意思，一层是字面上的，他年轻时踢足球当过门将，弟弟哈拉尔还拿过一九〇八年奥运会足球银牌；一层是书里慢慢讲的，前半生守“光是连续的波”这扇门，后半生守“哥本哈根的读法”这扇门。

还有一句说争论本身：两人都缺回写，一个一辈子不改框架，一个只改答辞不改框架。缝里长出来的是纠缠。

这几句判语都是初判，作者还会再推敲。读的时候，请把它们当成一张地图上先画下的几条线，不是刻在碑上的字。

◆ 五、判词底下的五条判决

判词是一句话，底下压着五条判决。结语要一条一条验收，这里先列出来，读的时候可以边读边对。

第一条，表面之争没有一个总赢家：定域实在论被实验判负，这是爱因斯坦方输的；“量子力学已经说全了”没有被证明，玻尔方也没赢；世界掷不掷骰子至今悬着；测量问题两人都没解决。第二条，爱因斯坦的缝在秩序与涨落之间。第三条，玻尔的缝在互补与关门之间。第四条，缝隙之争是交叉的：每个人打对方的刀，都来自自己理论没写下、自己却活过的那一半。第五条，没有结局，是因为两人都缺回写；纠缠是争论本身长出来的，不属于任何一方。

每一条都挂着推翻条件。比如，要是查到可靠史料，说玻尔在一九二〇年代初就接受了光量子，第三条就要收窄；要是查到爱因斯坦晚年明确承认统计的描述可以是根本的，第二条就要收窄。结语会照实报账：哪条站得住，哪条已经收窄，哪条最弱。读者读到任何一章，觉得哪条判决说满了，也可以拿这几个条件去对一对。

◆ 六、随身三问

读每一章，可以带着三个问题：

一问，他桌面上争的是什么？

二问，他手里那把刀，是从谁那里来的？

三问，这场吵架停下来以后，缝里长出了什么？

第一问问桌面，最好答，但要答准，别把题目说大或说歪。第二问问缝，最难答，问别人的时候要看证据，问自己的时候要老实。第三问问的是吵完以后：有没有一样两个人事先都没想到的东西长出来。这三问读大师管用，读自己家里的事也管用。卷六和结语会把它们用到普通人身上。

◆ 七、陪读的老秦和小满

这本书请了两位陪读的人。他们是构想出来的人物，只负责提问和复述，不负责讲史实，只在导论、各卷卷首语、卷六和结语里出来说话。

老秦六十三岁，在湘中一个县城的中学教了三十四年物理，退休后住在老教师宿舍，爱下象棋，常在楼下的石桌上一个人摆残局。课本上“爱因斯坦反对量子力学，后来实验证明他错了”那一段，他在讲台上讲了三十多年。他熟悉桌面上的那盘棋，缺的是缝里那一层。

小满是老秦的外孙女，二十七岁，在长沙一家做软件的公司当测试工程师，周末常坐车回县城看外公，手机里一刷到“量子”的新闻，就拿去问他。她熟悉新闻里的词，却不知道这些词是从哪里来的。做测试的人有个好习惯：一个程序出了错，先问是哪一处错，不说整个程序没用。

两个人一老一少，一个缺缝里那一层，一个缺来龙去脉，正好是这本书想同时补上的两样。老秦爱说复盘：下完一盘棋，赢的人未必每一步都对，输的人也未必每一步都错，要紧的是看清每一步是从哪里想出来的。这句话，差不多就是这本书的读法。

好，棋盘摆好了。从导论那块黑板上的盒子开始。

目 录

作者介绍 · · · iii
前言　一场争论，要读两遍 · · · v
导读　这本书怎么读 · · · xiv

导论　一块黑板上的盒子 · · · 1

卷一　表面之争：六个回合 · · · 18
第 1 章　1920 柏林：一见如故的两个人 · · · 19
第 2 章　光量子二十年：一个信，一个不信 · · · 28
第 3 章　1926 年春天的那场谈话：“是理论决定我们能观察什么” · · · 41
第 4 章　1927 第五届索尔维：早饭出题，晚饭交卷 · · · 50
第 5 章　1930 第六届索尔维：一只盒子和一夜无眠 · · · 63
第 6 章　1935 EPR：晴天霹雳和不到两个月 · · · 74
第 7 章　各自的余生：普林斯顿的独行，哥本哈根的学派 · · · 86
第 8 章　表面之争计分板 · · · 95

卷二　爱因斯坦的缝隙 · · · 103
第 9 章　他的秘籍：一个不看也在的世界 · · · 104
第 10 章　第一道缝：信一整片场，靠一颗一颗的光 · · · 112
第 11 章　第二道缝：只认秩序，靠的是涨落和统计 · · · 121
第 12 章　第三道缝：写事外的世界，靠把自己放进去 · · · 130
第 13 章　另一道缝：信方程的简洁，靠画面和借来的数学 · · · 139
第 14 章　理论反噬：统一场论三十年 · · · 148
第 15 章　保底、定位卡与判语：他对在哪里 · · · 157

卷三　玻尔的缝隙 · · · 166
第 16 章　他的秘籍：两样都要 · · · 167
第 17 章　第一道缝：讲波粒互补的人，前半生只要波 · · · 176
第 18 章　第二道缝：要求说清楚的人，自己说不清楚 · · · 186
第 19 章　第三道缝：理论容纳对立，学派对异见关门 · · · 196
第 20 章　另一道缝：理论不谈地，人生全靠地 · · · 206
第 21 章　晚年的黑板 · · · 215
第 22 章　保底、定位卡与判语：他对在哪里 · · · 223

卷四　缝隙之争：两道缝怎样对撞 232
第 23 章　交叉的刀 233
第 24 章　1924 年的换位 242
第 25 章　同一个“观察者”，两人各拿一半 251
第 26 章　两人都没写清楚的那句话 260
第 27 章　友谊这片地：为什么吵了三十五年还吵得下去 269
第 28 章　九宫镜像：两个人的缝摆在一张图上 277
第 29 章　为什么没有结局：两个人都缺回写 287

卷五　缝里长出来的东西 297
第 30 章　“纠缠”这个词是怎么来的：薛定谔、那只猫和那桶火药 298
第 31 章　被关在门外的人把问题带了回来：玻姆与贝尔 307
第 32 章　可判性的到来：从哲学之争到实验台 316
第 33 章　公允的计分：谁输了，谁也没赢 325
第 34 章　今天的桌面：纠缠成了工具 334
第 35 章　SDE 的读法：两种发现学姿态，都差一步 343

卷六　普通人版：你家里的爱因斯坦与玻尔 352
第 36 章　怎样听出一场吵架底下的缝 353
第 37 章　用对方的理论打对方：单位会议上的“光子盒” 362
第 38 章　说清楚与说真话之间 371
第 39 章　两派追随者的天花板 380
第 40 章　读你自己：你嘴上站哪一边，身上活在哪一边 388

结语　两块黑板 397

参考书目 407

附录 417
附录一　双人年表 417
附录二　九宫缝隙总表 423
附录三　四个思想实验大白话图解 425
附录四　引文核对表 429
附录五　失效户 434
附录六　与站上各卷的对账 440

导 论

一块黑板上的盒子

这一章的问题

两个人吵了三十五年，为什么活得更久的那一个，去世前夜的黑板上，还留着对方的盒子？

一九六二年十一月十八日，尼尔斯·玻尔在哥本哈根去世，享年七十七岁。

就在前一天，他还在接受一场访谈。来访的人里有一位研究科学史的学者，名叫托马斯·库恩，就是写《科学革命的结构》的那一位。他们在做一件抢时间的事：趁量子物理那一代创始人还在，把他们的回忆一句一句录下来。美国物理联合会的档案里，至今存着这一轮访谈的记录，最后一次的日子，正是十一月十七日。第二天，他走了。

去世前夜，他的黑板上留下两幅草图，其中一幅，画的不是他自己的原子模型，也不是他那面印着太极图的纹章，而是一只盒子。

盒子里装着光。盒壁上开着一扇小门，门由盒子里的一只钟控制，到了某个时刻，门开一下，放出一个光子，再关上。盒子挂在一杆秤上，放光之前称一次，放光之后再称一次，两次的差，就是那个光子带走的能量。钟告诉你光是什么时候出去的，秤告诉你光带走了多少能量。两样都测准了。

这只盒子不是玻尔的。它是阿尔伯特·爱因斯坦在一九三〇年的一次会议上提出来的，专门用来难住玻尔。那一回，据在场的罗森菲尔德回忆，当晚玻尔很沮丧；相传他一夜没睡，第二天早上才找到回答。三十二年过去，爱因斯坦已经去世七年，玻尔的黑板上，还画着这只盒子。

玻尔晚年不缺可以画的东西。一九四七年，丹麦授给他大象勋章，按规矩要自选一枚纹章。他选的图案是中国的太极图，一黑一白，互相抱着；铭文是一句拉丁文，意思是“对立即互补”。那是他一生思想的招牌。可是最后那一夜，黑板上留下的不是这个招牌，是对手的题。

这个场面值得多看一会儿。

七年前，一九五五年四月十八日，爱因斯坦在普林斯顿去世，七十六岁。他办公室里也有一块黑板。那块黑板在他去世后被拍了下来，照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张：上面是没擦掉的算式，一行一行，写得很密。那是他留在办公室里的最后一块板书。

两块黑板放在一起看，很有意思。

爱因斯坦的黑板，写的是他自己的事。从一九二五年前后开始，他把后半生的大部分力气投进了一个计划：想找到一套理论，把引力和电磁这些东西统一到一片“场”里去。人们习惯把这叫作“统一场论”。他追了三十年，没有追到。一般认为，他最后那块黑板上的推算，也属于这条路。对他来说，和玻尔的争论早就不是他黑板上的主题了；他要做的，是把他相信的那个世界完整地写出来。

玻尔的黑板，写的却是别人的事。准确地说，写的是那个人当年用来难他的东西。三十多年前他已经回答过这只盒子，而且在大多数物理学家看来，那一仗是他赢了。赢了的人，最后的黑板上还留着输了的人出的题。

一个在写自己，一个在画对方。

这不是玻尔第一次回头。一九四九年，美国哲学家席尔普编了一本书，题目是《爱因斯坦：哲学家—科学家》，请各路学者写文章评爱因斯坦，最后由爱因斯坦本人写一篇《答评论》。

玻尔交去的是一篇长文，题目就叫《就原子物理学中的认识论问题与爱因斯坦的讨论》，把两人二十多年的交锋一回合一回合重讲了一遍，连那只盒子都画了

图：钟、快门、吊着盒子的弹簧、指针和刻度，画得像一台真机器。爱因斯坦在《答评论》里回应了他，立场没有变。到那时，离两人在索尔维会议上当面交锋已经快二十年，可两个人谁都没有把它放下。

教科书上的说法是：爱因斯坦反对量子力学，玻尔捍卫量子力学；后来实验证明爱因斯坦错了。这话不算错，但它讲不通这两块黑板。如果争论真的有了结果，赢的一方为什么放不下？如果爱因斯坦真的只是“错了”，为什么他的一个盒子能让对手记三十年？

这本书想回答的，就是这个问题。回答的办法，是把这场争论读两遍。

◆ 一、两遍读：桌面上争什么，缝里争什么

第一遍，读桌面上的争论。所谓桌面，就是史书上写着的、会议上当面吵的、论文里白纸黑字的那些东西。

这场争论从一九二〇年开始。那年春天，两个人在柏林第一次见面，一见如故。那时玻尔三十四岁，已经因为一个新的原子模型出了名；爱因斯坦四十一岁，名气更大。他们之间的分歧，那时候就有了。

桌面上吵的，大致是五件事。这五件事都很玄，但每一件都可以先用一句家常话说清楚。

第一件，光是一颗一颗的，还是一片一片的？爱因斯坦早在一九〇五年就说，光在某些时候像一颗一颗的小粒子，后来人们叫它“光子”。玻尔很长时间不信，他认为光就是连续的波，像水面的涟漪，一圈一圈，没有一颗一颗的道理。

第二件，世界到底是不是算得准的？旧物理学认为，只要知道了此刻的一切，下一刻的一切都能算出来。新的量子力学却说，有些事情只能算出可能性：这个原子什么时候放出光，你只能说“大概率在这段时间”，说不出准点。爱因斯坦不甘心，他在一九二六年十二月给朋友玻恩的信里写，无论如何，他相信那位“老头

子”——他指的是造物主，也就是自然最深的道理——“他不掷骰子”。“上帝掷不掷骰子”这句话，就是从这里传开的。

第三件，量子力学说完了没有？爱因斯坦承认量子力学算得准，但他认为它没说完，就像一本账，每一笔都对，却有几页没写。玻尔认为它说完了，至少在原则上说完了，剩下的空白不是账没记全，而是世界本来就只能这样记。

第四件，看一眼算不算数？在量子力学里，你测量一样东西，好像会改变这样东西。那么，在你看它之前，它到底是什么样？玻尔说，这个问题要把你用来看的仪器一起算进去才谈得上；爱因斯坦说，东西就是东西，你看不看，它都在。据年轻的物理学家派斯回忆，爱因斯坦晚年曾问过他：你真的相信月亮只有在你看它的时候才在那里吗?

第五件，远处的东西能不能被这里的事影响？一九三五年，爱因斯坦和两位合作者提出一个难题：两个曾经在一起、后来分开很远的东西，量子力学说测了这一个，就能立刻知道那一个。爱因斯坦认为，要么远处那一个本来就有自己的样子，量子力学没写出来，所以它不完整；要么这里的测量能瞬间影响到远处，这是他绝不接受的，他后来把它叫作“鬼魅般的超距作用”。

这五件事，从一九二〇年吵到一九六二年，大致可以分成六个回合：柏林初见，光量子二十年，一九二六年的一场谈话，一九二七年的会议，一九三〇年的盒子，一九三五年的难题。然后是各自的余生。卷一就按这六个回合写。

桌面上的这场争论，后来有了一部分答案。一九六四年，一位叫贝尔的物理学家把爱因斯坦那个“远处”的难题，改造成了可以在实验台上检验的形式。几十年的实验做下来，结果不利于爱因斯坦。二〇二二年的诺贝尔物理学奖，就发给了做这些实验的三个人。

但是，只是“一部分”答案。爱因斯坦输掉的，是他那种特定的主张：远处的东西各有各的样子，互不干扰。至于量子力学是不是已经说完了，世界到底是不是

掷骰子，看一眼到底意味着什么，今天的物理学界仍然有好几种读法，谁也没说服谁。这一点，卷一最后一章会算一笔公道账。

所以第一遍读下来，结论是：表面之争没有一个总赢家。

第二遍，读桌面底下的东西。

这要借用一个读人的方法。德麦国际出过一本书，叫《生活在缝隙和悖论中的大师》，是本系列第 166 号。那本书读了二十位大师，发现了一条规律：大师教给别人的，是他写下来的那一半道理；他自己真正靠的，常常是他活过、却没写进道理的那一半。两半之间有一道缝。那本书把这道缝叫作“缝隙”，把“教的是甲，靠的是乙”叫作大师的悖论。

爱因斯坦是那本书里的一位。那一章给他的判语是：他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论。这本书接着那一句往下写，把“一阵一阵的争论”展开成一整本书。

用这个方法再读一遍这场争论，会看到一件奇怪的事。

爱因斯坦一辈子反对“上帝掷骰子”。可是，第一个把“掷骰子”郑重写进物理学基本过程的人，恰恰是他自己。一九一六到一九一七年，他写了几篇关于光怎样被原子吸收和放出的论文，里面有一个关键的设定：原子什么时候放光、往哪个方向放，只能用概率来说。他在论文末尾坦白承认，这是理论的一个弱点，把时间和方向交给了“偶然”。但他对这条路很有信心。后来，量子力学正是沿着这条路走下去的。

玻尔一辈子讲“互补”：光既像波又像粒子，两样都要，缺一不可。可是，他前半生恰恰只认一样。他抗拒光是一颗一颗的这个说法，从一九一三年造出原子模型起，抗拒了十几年，一直到一九二五年实验把话说死了为止。

还有更奇怪的。一九三〇年那只光子盒，玻尔是怎么回答的？他用的是爱因斯坦自己的广义相对论：钟放在引力场里，高一点低一点，走得就快一点慢一点。盒

子一称重，就会上下动，钟就不准了。爱因斯坦用来难玻尔的盒子，被玻尔用爱因斯坦的理论拆掉了。

再往前，一九二六年，年轻的海森堡对爱因斯坦说，他建立新力学的办法——只用看得见的量——是从相对论里学来的。爱因斯坦回答，也许我当初是这样想过，但这照样是胡说，“是理论决定我们能观察什么”。海森堡后来说，就是这句话，引出了他的不确定关系。而不确定关系，后来成了玻尔一方最硬的武器。

还有一年最值得记住，是一九二四年。那一年，玻尔和两位合作者写了一篇论文，为了保住“光是连续的波”，宁可让能量守恒只在平均上成立，一次一次的碰撞里可以不守恒。换句话说，玻尔那时要的是统计，是“大概如此”。爱因斯坦坚决反对，他要的是每一次碰撞都守恒，要的是一颗一颗的光子。两个人的站位，和三年以后正好反过来：后来说“只能算概率”的是玻尔一方，说“每一件事都该有个准”的是爱因斯坦。

再往后，一九三五年那个“远处”的难题，爱因斯坦署了名，文章却是合作者执笔的，他自己事后抱怨，最要紧的东西被一堆学问闷住了；玻尔的回应，又以难懂出了名。两个人在最要紧的那一回合，都没把最想说的话说清楚。

把这几件事摆在一起，就能看出桌面底下还有一场争论。它不是“掷不掷骰子”，而是这样的：每个人手里用来打对方的那把刀，恰恰是从自己理论没写下、自己却活过的那一半里拿出来的。爱因斯坦拿“不掷骰子”去打量子力学，可他自己活过掷骰子的那一段；玻尔拿“两样都要”去回应爱因斯坦，可他自己活过只要一样的那些年。对方活过的那一半，自己其实也活过。

这就是本书说的“缝隙之争”。它不是史书上的争论，是两道缝在争论里撞在了一起。

先说清楚一件事：说一个人有缝，不是说他虚伪，更不是揭他的短。理论只写得下能讲清楚的，活过的东西总比写下的多。越是大师，活过的越多，缝也就越显眼。读完这两个人，读者应当更敬重他们，而不是更看轻他们。

◆ 二、一件家常事：谁洗碗

这样说还是有点抽象。换一个家家都有的场面。

设想有这样一对小两口，男的叫建平，女的叫晓琴，结婚五年，孩子上幼儿园。两人都上班。晚饭后，桌上一摞碗，谁洗？

这件事他们吵过不止一次。每次吵，桌面上的话都差不多。

建平说：“说好了的，谁做饭谁不洗碗。今天是你做的饭？是我做的。”

晓琴说：“你做的饭？你就煮了个面条。我下班去接孩子、去买菜、回来给孩子洗澡，这些不算？”

建平说：“那也说好了轮流。上周三、周五都是我洗的。”

晓琴说：“上周三你是洗了，锅是我刷的，灶台是我擦的。”

听上去，两个人在争一条规矩：谁做饭谁不洗，还是轮流洗，洗碗算不算刷锅。如果只看桌面，这件事好办。拿一张纸，把家务一样一样列出来，排个表，贴在冰箱上，照着做。很多家庭就是这么解决的。

可是很多家庭排了表，还是吵。为什么？

因为桌面底下吵的不是碗。晓琴心里那句话是：我做的事，你看不见。孩子的疫苗该打了，洗洁精快没了，周末要去看她妈，这些都是她记着的，没人给这些排班，也没人说一声辛苦。建平心里也有一句话：我做的事，你也看不见。上个月加了十几天班，家里的水管是他修的，车是他去年检的，这些也不在任何一张表上。

桌面上吵“谁洗碗”，缝里吵的是“谁的付出没被看见”。

再往下看一层，还能看到更有意思的东西。

建平手里的那把刀，是“说好了的规矩”。他拿规矩去打晓琴那一天的累。可是，他自己也活过不按规矩的时候：他加班那半个月，一次碗也没洗，晓琴也没拿规矩说他。晓琴手里的那把刀，是“你看不见我干了多少”。她拿这个去打建平的规矩。可是，她自己也活过靠规矩的时候：刚结婚那年，正是她提出“谁做饭谁不洗”，因为那时建平总说“随便，谁有空谁洗”，结果总是她有空。

也就是说，每个人手里的刀，都是从对方那一边借来的。建平用的“规矩”，本来是晓琴当初立的；晓琴用的“看不见的付出”，建平加班那半个月也正在指望对方看见。每个人都拿自己嘴上说的那一半，去打对方心里活着的那一半，而那一半，自己也活过。

这就是这本书要讲的那种缝隙之争。爱因斯坦和玻尔的争论，比洗碗深得多，也体面得多，但它的形状是一样的。

那么，吵到最后呢?

设想建平和晓琴有一次终于吵到了底。两个人都累了，坐下来。晓琴拿了一张纸，没写“谁洗碗”，写的是“这周家里发生了什么”。孩子咳嗽了两天，谁带去看的；物业费交了没有，谁交的；她妈生日，谁订的蛋糕。建平也加了几行：修了卫生间的灯，给车换了雨刮。写完一看，两个人都有点意外。这张纸，不是谁的规矩，也不是谁的委屈，是两个人一起写出来的，只有吵过这一架才会有。后来他们家冰箱上贴的，就是这样一张每周换一次的纸。

吵架没有分出输赢。但是缝里长出了一样新东西。它不属于建平，也不属于晓琴，是两个人一起的。

这个故事里有三样东西，和后面要讲的那场争论一一对得上。一是桌面上的题目，洗碗，对应掷不掷骰子；二是手里的刀，规矩和委屈，每一样都是自己嘴上说、对方身上活过的；三是缝里长出来的那张纸，谁也没打算写，吵到底才写出

来。还有一点也对得上：如果两个人只盯着“谁洗碗”，这张纸永远不会出现。吵得出新东西的吵架，都是吵到了缝里的吵架。

爱因斯坦和玻尔吵了三十五年，缝里也长出了一样新东西。它的名字叫“纠缠”。这个词是薛定谔一九三五年正式亮出来的。那一年他正和爱因斯坦为那个“远处”的难题频繁通信，随后在当年发表的两篇论文里用上这个词，为的是说清楚这道难题里，两个分开的东西到底是怎么回事。

几十年后，它从一个哲学上的难题，变成了实验台上的现象，又变成了今天量子通信、量子计算的工具。它不是爱因斯坦的发现，也不是玻尔的发现。没有这场争论，它不会在那个时候、以那个样子长出来。

◆ 三、老秦和小满

这本书会请两位陪读的人，在导论、各卷开头和最后一卷里出来说几句话。他们是构想出来的人物，只负责提问和复述，不负责讲史实。

老秦今年六十三岁，在湘中一个县城的中学教了三十四年物理，退休后住在老教师宿舍，爱下象棋。小满是他的外孙女，二十七岁，在长沙一家做软件的公司当测试工程师，周末常坐车回县城看外公。

不妨想象这样一个周六的下午。宿舍楼下的石桌上摆着棋盘，老秦一个人在摆残局。小满坐在旁边刷手机，忽然把屏幕递过去。

“外公，你看，又是量子。说什么‘量子纠缠证明爱因斯坦错了’。”

老秦接过手机，眯着眼看了一会儿，把手机还给她。“这话，我在讲台上也讲过。课本上那一段，我讲了三十多年：爱因斯坦反对量子力学，说上帝不掷骰子，后来实验证明他错了。”

“那不就是错了吗？”

“错是错了一部分。”老秦拈起一枚棋子，又放下，“你下棋输了一盘，是不是每一步都下错了？”

小满笑：“我哪会下棋。”

“那换个说法。你们公司做测试，一个程序出了错，是不是整个程序都没用？”

“那当然不是。可能就一个地方的逻辑不对，其他地方好好的。有时候还是测试用例本身写错了。”

“对。”老秦说，“我教书那些年，只来得及讲他哪一步错了。没来得及讲，他那一步为什么那样走，对面那个人为什么那样应。更没来得及讲，两个人吵了三十多年，吵出了什么。”

“吵出了什么？”

“吵出了你手机上那个词。”

小满愣了一下，把手机翻过来又看了一遍。“纠缠？这是吵出来的？我还以为是哪个实验室某一天发现的。”

“实验室是后来的事。”老秦说，“先有两个人吵，吵到一个地方谁也说服不了谁，旁边一个人给那个地方起了个名字。又过了三十年，才有人想出办法拿到实验台上去试。再过几十年，才变成你们新闻里的卫星、密钥。”

“那你说，他们两个到底谁对？”

老秦没有直接回答。他把棋盘上的一枚车往前推了一格，又推回来。“下完一盘棋，赢的人未必每一步都对，输的人也未必每一步都错。要紧的是复盘的时候，看清楚每一步是从哪里想出来的。”

这是这本书的起点。老秦熟悉桌面上的那盘棋，他在讲台上讲过无数遍；小满熟悉手机上的“量子”新闻，却不知道这些新闻从哪里来。一个缺的是缝里那一层，一个缺的是来龙去脉。这本书想同时补上这两样。

以后每一卷开头，他们会出来问一两个问题。到最后一卷，镜子会转过来：你们家里的那场吵架，桌面上争什么，缝里争什么。

◆ 四、先放下两张漫画，再亮两句判语

在讲这两个人的缝之前，要先把两张流行的漫画放到一边。

第一张漫画里，爱因斯坦是一个固执的老人。年轻时是革命者，推翻了牛顿的时空；老了跟不上新一代，抱着“上帝不掷骰子”不放，在普林斯顿孤零零地算一个永远算不出来的方程。

第二张漫画里，玻尔是一个说话玄乎的教主。他用“互补”这样的词把一切矛盾都裹起来，说什么“看不看会改变结果”，带出一个学派，谁不同意谁就是没弄懂。

这两张漫画都有一点影子，但都画歪了。

爱因斯坦不是跟不上。他比同时代几乎所有人都更早看见量子世界的怪处：光的一颗一颗，原子放光的偶然，后来“纠缠”所说的那种远处的相连。他不是没看见，是看见了以后不肯接受。一个人看见了还不肯接受，里面一定有他更深的理由。

玻尔也不是故弄玄虚。他比同时代几乎所有人都更认真地对待一件事：在原子那么小的地方，你用来看的仪器，本身就是事情的一部分，不能假装它不在。这件事，今天的物理学仍然在认真讨论。他说话难懂，是因为他一边说一边在想，一句话要改几十遍，不是故意让人听不懂。

漫画是怎么来的？这就是缝隙方法里说的“传播中变宽”。大师本人身上的缝最窄，因为他还活着另外那一半；到了学生一代宽一些；到了教科书和通俗读物里，常常只剩一句口号。“爱因斯坦错了”是一句口号，“玻尔赢了”也是一句口号。这本书要做的，是把口号还原成两个活人。

缝隙方法读一个人，最后要压出一句判语，句式是：他教的是甲，他靠的是乙。这本书给两人的判语是初判，作者还会再推敲，但可以先在这里亮一下。

爱因斯坦：他教的是一个不掷骰子的世界，他靠的是第一个把骰子放上桌。压成更短的一句：他反对的，正是他开的头。

玻尔：他教的是两样都要，他靠的是一次只认一样。短句：他讲互补，守的是门。

后一句的“守门”有两层意思。一层是字面上的：玻尔年轻时踢足球，当的是门将，他弟弟哈拉尔是数学家，还拿过一九〇八年奥运会足球银牌。另一层是这本书要慢慢讲的：他把“两样都要”讲给全世界听，可他自己每一次守的，都是一扇门。前半生守的是“光是连续的波”这扇门，后半生守的是“哥本哈根的读法”这扇门。

判语说的是缝，但缝隙方法有一条硬规矩：说一个人漏了什么之前，先说他对在哪里。这叫“保底”。

爱因斯坦的保底是：一九三五年他抓住的那个难题，是真问题。远处的两个东西怎样相连，今天仍是物理学的中心问题之一，还成了量子通信的根。他对海森堡说的“是理论决定我们能观察什么”，今天看来仍然是对的：你用什么理论，决定了你把什么当作看得见的东西。

玻尔的保底是：一九三〇年那只盒子，他的回答不论细节是否严密，确实守住了不确定关系。后来的物理学家对他论证的细节有争议，但对结论大多没有异议。“现象要把仪器算进去”，至今是量子测量的真问题。他在哥本哈根办的研究

所，是二十世纪最开放的物理学“客厅”之一，世界各地的年轻人在那里争论、吵架、成长。

保底不是客套。它是缝隙读法能站住的前提。一个人的缝之所以值得读，正因为他写下的那一半是真的，是用一辈子压出来的。

◆ 五、读这本书要用到的几个词

第二遍读，要借一套看东西的办法。它叫 SDE，是王德生提出的一套发生学读法。这里不讲它的全貌，只讲够读懂后面几卷的几个词。每个词先说大白话，术语放在后头。

第一个词是“显露”，字母是 S。它指的是一件事最后长出来的样子：一个人成了什么人，说出了什么道理，一套理论最后写成了什么样。爱因斯坦的相对论、玻尔的互补原理，都是显露。注意，显露是“长出来”的，不是本来就摆在那儿等人去捡的。

第二个词是“差异”，字母是 D。它指的是走出来的那条路：一步一步试，错了改，改了再试。一个想法从模模糊糊到清清楚楚，中间走过的每一步，都是差异。爱因斯坦一九〇五年那几篇论文，玻尔一九一三年那三篇原子论文，背后都有一条很长的路。

第三个词是“脚下那片地”，字母是 E，术语叫“特征纠缠”。它指的是一个人站在哪里：家庭、时代、身边的人、手里的工具、被迫接受的处境。玻尔的母亲出身富裕的银行世家，他有一个同样聪明的弟弟，后来有嘉士伯基金会支持的研究所；爱因斯坦年轻时在专利局上班，身边有几个一起读书争论的朋友。这些都是地。人回头讲自己怎么成功的，常常讲得清路，讲不清地。

这三样东西，谁也不能单独拿出来当起点。样子是在路上、在地上长出来的；路是在一片地上、朝着某种样子走出来的；地又是被过去的路和长成的样子一点点改过的。这是 SDE 最根本的一条，后面只在需要的地方提一提。

三样东西各自又分三个方面，三三得九，排成一张九格的表，叫“九宫”。这本书只用到其中三格，用到时再细说，这里先认一认。

一格是“样子以什么形态出现”，分粒子、波、场三种：一颗一颗分明的，一阵一阵起伏的，一整片弥漫的。爱因斯坦的缝，有一道就落在这一格。他相信世界最深处是一整片连续的场，可他成名靠的是“光是一颗一颗的”。

一格是“信息靠什么传”，分符号、逻辑、数学三种：画面和语言，推理，算式。爱因斯坦晚年只信方程的简洁，年轻时却靠脑子里的画面想问题；玻尔要求一切实验结果都要用清清楚楚的日常语言说出来，他自己说话写文章却出了名地难懂。两个人都在这一格上有缝。

一格是“一个人活在哪个世界里”，分理念、现实、自我三界：想法的世界，环境和钱、人、时局的世界，自己心里的世界。玻尔的理论不谈地，可他的一生全靠地。

九宫之外，还会用到两组看法。

一组叫“三号位”：一号位是站在事外看事，二号位是在人和人之间、在过程里看，三号位是从自己心里看。爱因斯坦认为物理学写的是一号位的世界，东西在那里，不管谁看；可他最漂亮的活——相对论——讲的恰恰是不同的观察者之间怎样对表、怎样换算。

一组叫“显露光谱”：一锅粥的时候叫混沌态，正在成形的时候叫介生态，定了型的叫秩序态。爱因斯坦的理论站在秩序态，一个严格因果、样样定型的世界；可他成名的那几篇论文里，布朗运动那一篇，恰恰是在一锅粥里找规律：水里的花粉乱动，他从乱里算出了规律；后来他讨论原子放光，又是在一次次说不准的偶然里找规律。

就这些。以后每用到一个，都会先用大白话说一遍。

顺带说一句这套读法和两个人的根本分歧。爱因斯坦相信世界在人看之前就已经定好了，物理学的事是把它找出来，这可以叫“发现”的姿态。玻尔往前走了一步：他说现象里要算上仪器，看的方式是事情的一部分。可他走到仪器口就停下了。从 SDE 看，样子、路和地是一起长出来的，这叫“发生”。两个人各差一步，这一点留到卷四和卷五再细说。

还有一个词要特别说明，就是“纠缠”。

物理学里的“量子纠缠”，说的是两个曾经在一起的小东西，分开以后仍然像一个整体，测了这一个，就知道那一个。这是物理学的名字，本书照原样用。

SDE 里的“特征纠缠”，说的是一个人、一件事脚下那片地，许多东西缠在一起、分不开，一起托着上面长出来的东西。

这两个“纠缠”不是一回事，一个是物理现象，一个是读人读事的看法。但它们有一个相同的形状：都是“分开看，看不懂；合起来看，才看得懂”。两个光子分开测，结果看起来是乱的；合起来一对，才看出它们是一对。一个人的成功分开看，这里是天分，那里是运气；合起来看，才看出是一片地托着。这种形状上的相同，本书叫它“同构”。书里会分清两个词，不混用；只在卷五讲“纠缠这个词是怎么来的”时，把两个放在一起看。

◆ 六、六卷怎么走，和一句预告

这本书分六卷，外加前言、导读、导论和结语。

卷一，写表面之争，六个回合。从一九二〇年柏林初见写起，经过光量子二十年、一九二六年海森堡的来访、一九二七年和一九三〇年的两次索尔维会议、一九三五年的难题，写到两人各自的余生，最后算一笔计分账：哪些地方谁赢了，哪些地方到今天还悬着。这一卷只讲史书上有的事，拿不准的写“据某某回忆”。

卷二，读爱因斯坦的缝。他的理论站在哪里，他的人生另活在哪里：信一整片场，靠一颗一颗的光；只认秩序，靠涨落和统计；写事外的世界，靠把观察者放进去；信方程的简洁，靠画面和借来的数学。最后写统一场论那三十年：一套理论押成了全部，反过来成了他自己的天花板。

卷三，读玻尔的缝。讲波粒互补的人，前半生只要波；要求说清楚的人，自己说不清楚；理论容纳对立，学派对不同的读法关门；理论不谈地，人生全靠地。最后回到那块黑板。

卷四，写两道缝怎样撞在一起。交叉的刀；一九二四年两个人的站位正好反过来；同一个“观察者”，两人各拿一半；两人都没写清楚的那句话；为什么吵了三十五年还吵得下去。这一卷会把两个人的缝摆在同一张九宫图上，然后回答：为什么这场争论没有结局。

卷五，写缝里长出来的东西。“纠缠”这个词的来历；被关在门外的人怎样把问题带回来；哲学之争怎样变成了实验台上可以判输赢的事；今天，纠缠成了工具。最后一章，用 SDE 的读法看两个人：他们都差了一步。

卷六，是普通人版。你家里的爱因斯坦与玻尔：怎样听出一场吵架底下的缝，单位会议上的“光子盒”，说清楚与说真话之间，两派追随者的天花板，以及最后一面镜子：你嘴上站在哪一边，身上活在哪一边。

读法上有一个建议。对物理没兴趣的读者，可以先读导论、卷四和卷六，再回头读卷一。对物理有兴趣、对“缝隙”没兴趣的读者，卷一和卷五可以当一部通俗的量子力学争论史来读。但这本书真正想说的话，在两遍读法的交界处。

这本书有一句判词，全书会在前言、导读、卷四和结语里完整出现四次。这里只预告它的前半句：

桌面上，他们争的是上帝掷不掷骰子；缝隙里，每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半……

后半句说的是那一半的下落，和缝里长出来的那样东西。留到后面。

读每一章的时候，可以带着三个问题：

一问，他桌面上争的是什么？

二问，他手里那把刀，是从谁那里来的？

三问，这场吵架停下来以后，缝里长出了什么？

回到开头那块黑板。一九六二年十一月，玻尔在黑板上画下那只盒子的时候，他在想什么，没有人知道；为什么画、画给谁，没有留下记载，我们也不去替他编。能说的只是：那只盒子是爱因斯坦的题，玻尔的回答用的是爱因斯坦的理论；画在黑板上，它既不完全属于出题的人，也不完全属于答题的人。

这本书就从这只盒子往回走。

带走的话

一场争论要读两遍。桌面上看谁对谁错，缝里看每个人手里的刀是从哪里来的。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——教科书说是玻尔。其实爱因斯坦只输了“远处的东西各有各的样子”这一条；量子力学说没说完、世界掷不掷骰子，至今悬着。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——爱因斯坦拿着“偶然”，那是量子力学后来的底；玻尔最后的黑板上留着爱因斯坦的盒子，他当年拆它，用的是爱因斯坦的相对论。

卷 一

表面之争：六个回合

卷 首 语

周六傍晚，县城老教师宿舍的石桌边。小满问外公：“你说要复盘，那从哪一步复起？”

老秦说：“从两个人第一次见面复起。下棋的人都知道，开局那几步看着平平常常，后面的变化全埋在里头。”

“他们一见面就吵？”

“一见面就喜欢上了对方。”老秦说，“可喜欢归喜欢，两个人手里的东西，从第一天就不一样。”

这一卷写的是桌面上的那场争论，也就是史书上有、会议上当面吵、论文里白纸黑字的那一部分。它分六个回合：一九二〇年柏林初见；光量子二十年；一九二六年春天海森堡的来访；一九二七年第五届索尔维会议；一九三〇年第六届索尔维会议上的光子盒；一九三五年的那篇论文和玻尔的回应。最后是两个人的余生，和一笔计分账。前四章写前四个回合，后四章写光子盒、那篇论文、余生和计分账。

这一卷只讲史实，缝隙读法只在每章末尾的小账里露一下头。读的时候可以留意一件事：每一回合里，两个人手里的刀是从哪里来的。等到卷四回头看，会发现这些刀的来路，比刀本身更有意思。

拿不准的地方，本卷一律写“据某某回忆”“相传”。两人的原话，只引那几句有据可查的短句，其余一律转述。宁可少说一句，不替他们编一句。

01

第 1 章

1920 柏林：一见如故的两个人

这一章的问题

两个一见面就喜欢上对方的人，为什么第一次见面就站在了对面？

一九二〇年四月，柏林。

那是第一次世界大战结束后的第二个春天。德国战败，城里缺粮，日子过得紧。一位三十四岁的丹麦物理学家来到这座城市访问。他叫尼尔斯·玻尔，七年前因为一个新的原子模型出了名。相传他带来了一些丹麦的食物，送给战后缺吃的柏林同行。

在柏林，他第一次见到了阿尔伯特·爱因斯坦。

两人具体谈了些什么，没有逐字的记录留下来。玻尔在将近三十年后写的那篇长文里回忆说，第一次见面时，量子理论那些根本性的问题就是他们谈话的主题：原子世界里，旧物理学讲的因果和连续，是暂时放一放，还是要永远放弃。他还记得，那几次谈话让他在钦佩之外，对爱因斯坦那种超然的态度印象很深。同一篇文章里，玻尔还说起爱因斯坦爱用一些很形象的说法，比如“给光子引路的鬼场”；他特意替老朋友说明，这不是故弄玄虚，背后是一种很深的幽默。

不妨想象那个场面：一个说话慢、句子绕、边说边改的丹麦人，和一个爱笑、爱打比方、脑子里全是画面的柏林教授，坐在一间不太暖和的屋子里，谈光到底是什么。

分开以后，两个人都有一点被打动的感觉。爱因斯坦给他们共同的朋友埃伦费斯特写信说，他像埃伦费斯特一样，也“爱上”了玻尔。他又直接给玻尔写信，大意是：一生中很少有人，仅仅凭他在场，就给自己带来这样的快乐。玻尔回信说，与他见面、交谈，是自己一生中最重要的经历之一。

这个场面值得多看一会儿。两个人一见如故，这是真的；但从玻尔的回忆看，他们第一次谈的，恰恰是后来吵了三十五年的那些事。喜欢和分歧，是同一天开始的。

◆ 一、两个人从哪里来

先看一看，一九二〇年春天坐在一起的，是两个什么样的人。

爱因斯坦生于一八七九年，比玻尔大六岁。一九〇五年，他在瑞士伯尔尼的专利局当职员，一年里写出了几篇后来改变物理学的论文。其中一篇说光在某些时候像一颗一颗的小粒子；一篇解释了水里的花粉颗粒为什么会不停地乱动，也就是布朗运动；还有一篇就是狭义相对论。后来他又花了十年，把相对论推广到有引力的情形，也就是广义相对论。到一九二〇年，他已经是全世界最有名的物理学家。

玻尔生于一八八五年，是哥本哈根人。父亲是生理学教授，母亲出身一个富裕的银行世家。他有一个弟弟叫哈拉尔，是数学家，年轻时还是丹麦国家足球队的队员，拿过一九〇八年奥运会的足球银牌；尼尔斯本人也踢球，踢的是守门员。

一九一一年，玻尔拿到博士学位，去英国剑桥投奔发现电子的汤姆孙。这一段不太顺，两人谈不到一块去。一九一二年，他转到曼彻斯特，跟着卢瑟福做研究。卢瑟福那时刚提出，原子中间有一个很小很重的核，电子在外面绕着转。可是照旧

物理学算，绕着转的电子会不停地往外放光、损失能量，很快就会掉进核里，原子根本不可能稳定。

一九一三年，玻尔发表了三篇论文，后来人们叫它原子模型“三部曲”。他的办法很大胆：电子只能待在几个固定的“台阶”上，待在台阶上的时候不放光；只有从高台阶跳到低台阶时，才一下子放出一份光。这一份光的能量是多少，就看两级台阶差多少。

这个模型解释了氢原子发出的几种特定颜色的光，一下子让玻尔出了名。但它有一个说不清的地方：电子什么时候跳，往哪里跳，模型不管。它只说会跳，不说为什么这一刻跳。

所以，一九二〇年坐在一起的，是一个把光拆成一颗一颗的人，和一个让电子一级一级跳的人。两个人都在旧物理学的墙上凿了一个洞。

那一年，两个人脚下的地也很不一样。爱因斯坦在柏林，身处一个战败国的首都，名气如日中天，日子却和全城人一样紧巴。玻尔在哥本哈根，正在筹建一个理论物理研究所，第二年，也就是一九二一年，研究所落成，嘉士伯基金会等出了钱。一个是已经站在山顶的人，一个是正在给自己盖房子的人。后来的几十年里，爱因斯坦的“房子”始终是他自己的脑子和几个合作者；玻尔的房子，却成了全世界年轻物理学家来来往往的地方。这一点，卷三会细讲。

◆ 二、各自手里拿着对方的一样东西

有意思的是，这两个洞是互相借着凿的。

玻尔的原子里，电子一跳放出的那一份能量怎么算？用的是普朗克在一九〇〇年提出、爱因斯坦在一九〇五年推得更远的那个“一份一份”的算法：光的颜色越偏紫，一份的能量就越大。可以说，玻尔原子的心脏里，装着爱因斯坦的东西。

可玻尔只接受一半。他承认原子交出能量是一份一份交的，却不承认交出去的光本身是一颗一颗的。在他看来，光离开原子以后，仍然是连续的波，像水面上一圈一圈的涟漪。这个立场，他守了十几年，下一章细讲。

爱因斯坦那边呢？一九一六到一九一七年，他写了几篇论文，讨论原子怎样吸收光、放出光。他用的，正是玻尔原子里那些台阶。原子待在高台阶上，会不会自己掉下来、放出一颗光？他的回答是：会，但什么时候掉、往哪个方向放，说不准，只能说一个概率。好比一屋子的人都坐在高凳子上打瞌睡，你知道一个钟头里大概会有几个人栽下来，却说不准是哪一个、在哪一刻。

他在论文末尾坦白承认，这是理论的一个弱点：它把基本过程发生的时间和方向，交给了“偶然”。但他又说，他对这条路完全有信心。

这就是骰子第一次被郑重地放上物理学的桌面。放上去的，是爱因斯坦。

他自己心里也不踏实。一九二〇年，也就是见到玻尔的那一年，他在给朋友玻恩的信里提到，因果性那件事也让他很烦恼。一个把骰子放上桌的人，已经开始为骰子发愁。

于是，一九二〇年春天，两个人手里各拿着一样东西。玻尔手里是爱因斯坦的“一份一份”，他用它造了原子，却不肯让光也变成一颗一颗。爱因斯坦手里是玻尔的“台阶”，他在台阶上放了一只骰子，却为这只骰子发愁。

两个人一见如故，也许部分原因就在这里：他们都在对方身上，看见了自己正在用、却还没想通的东西。

再回头看玻尔记下的那个“鬼场”。玻尔没有说这个词是哪一次谈话里听来的，但它说的正是这几年爱因斯坦放不下的事。这个半开玩笑的说法，其实透露了爱因斯坦心里的一个打算：光既然有时像一颗一颗的粒子，有时又像一片连续的波，那么也许二者本来是一体的——有一片看不见的场，引着一颗一颗的光子走。粒子是看得见的那部分，场是看不见的那部分。

这是爱因斯坦很典型的想法。他相信世界最深处是连续的、一整片的场，粒子只是场里的某种样子。可他出名，靠的偏偏是把光拆成一颗一颗。第 166 号那一章给他的判语，说的就是这一点：他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光。一九二〇年，他还在想办法把两头缝到一起。这个“鬼场”没有写成正式的理论，但它的影子，后来在别人那里又出现过。卷五会讲到。

◆ 三、一见如故，是怎么一回事

“一见如故”这四个字，用在这两个人身上，不是客套。

两个人的脾气很不一样。爱因斯坦的想法，常常从一幅画面开始：追着一束光跑，会看见什么；一个人在封闭的升降机里下落，会觉得自己有没有重量。玻尔的想法，常常从一场谈话开始：他需要一个对面的人，一边说，一边改，一句话改到第几遍，意思才慢慢清楚。据记载，他写论文多半靠口授，由身边的人记下来，他再逐字逐句地改，一篇稿子改上几十遍是常事。对他来说，想清楚和说清楚是同一件事，都要靠一遍一遍地磨。

可是，在一件事上他们是一样的：两个人都不肯假装难题已经解决了。那时候，量子理论是一堆补丁，这里一条规则、那里一个假设，算得出一些结果，却说不出道理。很多人满足于能算。爱因斯坦和玻尔不满足。他们都想知道，到底发生了什么。

这种不满足，就是他们能谈到一起的地方。

那年六月，爱因斯坦先去挪威讲学，回程坐船到了哥本哈根。据爱因斯坦文集编者的考订，他六月二十四日到，第二天在丹麦天文学会讲了一场“引力与几何”，讲的正是广义相对论。这一回是爱因斯坦登门，看的是玻尔的城市和玻尔正在盖的那栋楼。两年后，一九二二年十一月，瑞典科学院同时公布了两个诺贝尔物理学奖：补授给爱因斯坦的一九二一年奖，理由是他发现了光电效应的定律；授给

玻尔的一九二二年奖，理由是他对原子结构和原子辐射的研究。两个人同一天成了诺贝尔奖得主。

一九二三年，爱因斯坦又到哥本哈根。据玻尔后来回忆，他到车站去接爱因斯坦，两个人坐上电车，一路谈得太投入，坐过了站，只好下车往回坐，结果又坐过了站，就这样来来回回坐了好几趟。

这个小故事常被人讲，因为它好笑。但它也说明一件事：两个人谈的，从来不是客气话。能把一趟电车坐过好几次站的谈话，一定是有分歧的谈话。完全同意的两个人，三句话就说完了。

还值得多想一层。科学史上，意见不合的两个大人物，很多都是越吵越远，最后连面都不见。爱因斯坦和玻尔不一样。他们后来当面吵过好几场，书面上吵了几十年，一方始终没说服另一方，友谊却一直没断。一个人去世前夜的黑板上，两幅草图里有一幅是对方的题；另一个人把对方写进了自己晚年最重要的回应文章里。

为什么吵得下去？一个原因，就是一九二〇年春天打下的这个底子。两个人在还没有什么可争的时候，先确认了一件事：对面这个人是真在乎真相的。有了这一条，后面再怎么吵，吵的都是问题，不是人。用 SDE 的话说，这份友谊是这场争论脚下的那片地。地托得住，路才走得长。卷四第 27 章专门讲这一片地。

◆ 四、豆腐摊边的两个师傅

这种“又喜欢、又不同意”，在日常生活里并不少见。

比如有这样一个县城的菜市场。市场里原来只有一家豆腐摊，摊主姓罗，做了二十多年卤水豆腐，大家叫他罗师傅。有一年，市场里又来了一家，摊主姓邓，四十出头，在外地学过手艺，做的是石膏豆腐。

两家摊子隔着一条过道。开张头一天，罗师傅没去看热闹，也没说难听话，只是收摊以后，端着自己的一块豆腐走过去，说：“尝尝。”邓师傅也切了一块自己的递过来。两个人站在过道上，你一口我一口，都没说话。

后来邓师傅跟人说，那天他就知道，这个老罗是真懂豆腐的人。罗师傅也跟熟客说，新来的那个小邓，手上有功夫。

可两个人一开口聊手艺，就聊不到一块去。罗师傅说，豆腐靠的是手感，点卤的时候眼睛看、手指试，差一口气都不行，这东西写不下来。邓师傅说，豆腐靠的是配方，豆子泡几个钟头、浆煮到几度、石膏放几克，一样一样定下来，谁来做都一样。

有意思的是，两个人都在对方的豆腐里吃出了自己没说的东西。罗师傅说邓师傅“手上有功夫”，夸的恰恰不是配方，是手感；邓师傅说罗师傅“真懂豆腐”，因为他看出罗师傅每天的豆腐出品稳得出奇，那种稳，只有心里有一本细账的人才做得到。后来有一次聊到深夜，罗师傅才承认，他那口“手感”，其实是每天记着天气和豆子产地，一年一年攒下来的规矩，只是从没写在纸上。邓师傅也承认，他那张配方，是他跟着一位老师傅，一锅一锅试出来的，配方后面，全是手感。

两个人一见如故，是因为他们在对方身上，看见了自己心里有、嘴上却不说的那一半。两个人吵了好几年，也是因为这个：每个人嘴上说的那一半，都和对方嘴上说的正好相反。

买豆腐的人倒是得了好处。市场里有了两家，老主顾们开始比：今天罗家的嫩，明天邓家的香。两位师傅谁也不肯输，罗师傅悄悄换了一种豆子，邓师傅把点浆的时间往后挪了几分钟。几年下来，那条过道上的豆腐，比只有一家的时候好吃多了。可是你要问他们谁的道理对，两个人还是各说各的。

这个故事和一九二〇年的柏林，有三处对得上。一是一见面就认准对方是懂行的人；二是一开口就发现嘴上的道理正好相反；三是每个人都在对方的活里，吃出

了自己没说出口的那一半。它和那两位物理学家也有一处对不上：豆腐师傅吵到深夜，终于各自认了自己的另一半。爱因斯坦和玻尔，吵了三十五年，谁也没有这样认过。

◆ 五、第一回合的样子

这一回合，严格地说，还算不上交手。

桌面上，两个人还没有正式的论战。玻尔不接受光量子，爱因斯坦知道；爱因斯坦为骰子发愁，玻尔大概也知道。但那时还没有量子力学，只有一堆半新半旧的规则，两个人都在摸索，谁也没有一套完整的东西可以拿来压对方。

所谓“一堆补丁”，可以这样想：好比一个老电工修一栋老楼的线路，这里接一根，那里跳一根，灯是亮了，可谁也画不出一张完整的线路图。玻尔的台阶能算氢原子，却算不好更复杂一点的原子；爱因斯坦的光量子能解释光电效应，却和一百年来证明光是波的无数实验摆在一起，怎么也对不齐。每个人手里都有几段接对了的线，没有人有图纸。

在这种时候吵架，吵不出输赢。两个人都知道对方手里那几段线是接对了的，只是不知道它们怎样接到一起。

如果一定要在这一回合里找出一点“输赢”的苗头，那也只能说，两个人的立场已经各自站好了。爱因斯坦站在“光是一颗一颗的”这一边，同时对自己放上桌的骰子不放心；玻尔站在“光是连续的波”这一边，同时对自己原子里那一跳说不出道理。一个信光量子、不信偶然；一个不信光量子，却要靠说不清的一跳过日子。这两个立场，在接下来五年里都要受到实验的检验。

这一回合留下来的，是一份友谊，和一个问题的轮廓。友谊很快就要经受考验：接下来的几年里，光到底是不是一颗一颗的，会被实验逼到一个非此即彼的地步。而那一次，站错边的，是玻尔。

带走的话

一见如故和第一次分歧，是同一天开始的。两个人各自手里，都拿着对方的一样东西。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——平手。还没有量子力学，两人只是在同一堆难题前各有各的立场。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——玻尔的原子里装着爱因斯坦的“一份一份”；爱因斯坦的偶然，是放在玻尔的台阶上的。

◆

02

第 2 章

光量子二十年：一个信，一个不信

这一章的问题

光是一颗一颗的，一个人信了一辈子，一个人不信了十几年；最后让不信的人松口的是什么，而信的人自己，为什么也说没弄懂？

一九二二年冬天，斯德哥尔摩。

这一年十一月，瑞典科学院同时公布了两个诺贝尔物理学奖。补授给爱因斯坦的那一个，理由写的是他“发现了光电效应的定律”。这个措辞很讲究：奖给的是定律，是那条算得准的规律，不是规律背后那个“光是一颗一颗的”大胆想法。

同一年，玻尔站在诺贝尔讲台上，讲他的原子理论。讲到光，他仍然不接受光量子。在他看来，原子放出的光，离开原子以后就是连续的波。

这个场面值得多看一会儿。同一个冬天，同一份荣誉，一个人因为光的定律获奖，定律背后的想法却没被写进奖状；另一个人站在诺贝尔的讲台上，当众否定这个想法。获奖的那一个这时远在日本讲学，没有到场。那时离爱因斯坦第一次提出光量子，已经过去十七年了。

这一章讲的，就是这二十年。

◆ 一、一九〇五至一九〇九：光是一颗一颗的，他要的却是融合

先把光电效应说清楚。

拿光去照一块金属，金属表面会跑出电子来。这件事在十九世纪末就有人看到了。怪的是它的规律。照理说，光是波，波越强，能量越大，打出来的电子应该跑得越快。可实验发现，光开得再亮，电子也不跑得更快，只是跑出来的更多；要想让电子跑得快，得换光的颜色，越往紫的方向换，电子越快。更怪的是，红光照上去，开得再亮，一个电子也打不出来。

这就好比往一扇窗户上泼水。按“波”的想法，水泼得越猛，玻璃越容易碎。可现实是：泼一整桶水，玻璃纹丝不动；扔一颗小石子，玻璃就碎了。碎不碎，看的不是总共多少水，而是每一下有多重。

一九〇五年，爱因斯坦给出的解释就是这个意思：光在和物质打交道时，是一份一份的，每一份的能量由颜色决定，颜色越偏紫，一份越重。一份光打中一个电子，够重就把它打出来，不够重，来多少份也没用。

同一年，他还写了解释布朗运动的论文，和狭义相对论。那年他二十六岁，在专利局上班。

光量子这个想法太大胆了。一百年来，光的干涉、衍射，无数实验都证明光是波。说光是一颗一颗的，等于跟整个十九世纪的光学作对。所以，据史家的一般看法，在此后很多年里，几乎没有几个物理学家把它当真。人们可以接受他算出的那条光电效应规律，因为它和实验对得上；却不肯接受规律背后那句话，因为它和一百年的光学对不上。十七年后的那份诺贝尔奖状，措辞正是这个分寸。

爱因斯坦自己也没有把光量子当成最后的答案。

一九〇九年，爱因斯坦在奥地利萨尔茨堡的一次学术会议上做了一场报告。他在报告里说了一个预言：未来的光的理论，将是波动理论和微粒理论的某种融合。

这个预言不是凭空说的。在那前后，他仔细算过一炉子光里能量的“涨落”，也就是一会儿多一点、一会儿少一点的那种起伏。算出来的式子里，同时有两项：一项正是波会带来的起伏，一项正是一颗一颗粒子会带来的起伏。两项都在，缺一不可。他是从一炉光的起伏里，同时看见了波和粒子。

这句话很重要，因为它说明，爱因斯坦从来不是“只要粒子”的人。他知道光的波动性是千真万确的，他只是看出，光除了波的一面，还有粒子的一面。他要的，是一套把两面合成一体的理论。

后来玻尔讲“互补”，说的也是光有两面。但两人的意思不一样。爱因斯坦要的是融合：两面底下有一个统一的东西，找到它，两面就合在一起了。玻尔后来说的是互补：两面不能合成一幅画，只能轮流看，看这一面就看不到那一面，但两面都要。

一个要合，一个说合不了、只能轮着看。这个分歧，一九〇九年就埋下了。只是那时玻尔还没开始研究原子，而爱因斯坦的那句预言，要等十几年后才有人接上。

◆ 二、一九一六至一九一七：骰子上桌

第1章说过，一九一六到一九一七年，爱因斯坦用玻尔原子的台阶，讨论原子怎样吸收和放出光。这里再多说几句，因为这几篇论文是整场争论里最大的一个伏笔。

他把原子和光打交道的方式分成三种。第一种，原子吸收一份光，从低台阶跳到高台阶。第二种，原子待在高台阶上，自己掉下来，放出一份光，这叫自发辐射。第三种，一份光路过一个待在高台阶上的原子，把它“碰”下来，放出一份和路过的那份一模一样的光，这叫受激辐射。

有了这三种方式，他很漂亮地重新推出了普朗克的热辐射公式。这是理论上的一次大胜。第三种方式，受激辐射，在当时只是推导里的一环，几十年后却成了激光的原理，这是后话。

但代价是：第二种方式，原子什么时候自己掉下来，往哪个方向放光，理论说不准。只能说，在一段时间里，掉下来的可能性有多大。每一个原子的那一刻，都交给了概率。

为什么非得用概率？因为在这套推导里，他只知道一大群原子平均下来怎样吸收、怎样放出，就足以算出一炉子光的颜色分布。至于其中某一个原子，他的理论里没有任何东西能告诉他它哪一刻掉下来。这就像保险公司，知道一个城市一年大概出多少起事故，就能把保费算准，却说不出哪一辆车明天会出事。算一大群，准；问一个，不知道。

他还在论文里算了一件事：一份光被原子放出去的时候，会给原子一个反冲，像开枪时枪托往后顶一下。这说明，光不但带着能量，还带着一个方向上的“冲劲”，也就是动量。一份有能量又有方向的东西，就更像一颗粒子了。

论文末尾那段“弱点”的自白，第1章已经说过。值得补一句的是，这里的“偶然”和掷硬币的偶然不一样。掷硬币说不准，是因为手劲、风向这些细节我们没算全，算全了就说得准；而在爱因斯坦这套推导里，并没有哪一个没算全的细节可以去补，偶然是直接写进规则里的。他自己看得清这一点，所以才叫它“弱点”。

骰子上了桌，放它上桌的人，心里开始不安。这份不安，会在几年以后变成他反对量子力学的核心理由。

◆ 三、玻尔这一边：宁可动守恒，也不动光

再看玻尔这一边。

玻尔不接受光量子，不是因为他看不懂，而是因为他看得太清楚了。光的干涉是铁打的事实：两束光叠在一起，会出现明暗相间的条纹，亮处加亮、暗处抵消。一颗一颗的粒子，怎么会互相抵消？在他看来，光量子这个想法，拿一个说不通的东西，去换另一个说不通的东西，不划算。

况且，他的原子理论里有一条他很看重的原则：原子世界的规律，在大尺度上要能平滑地接回旧物理学。后来人们把这条原则叫作“对应原理”。打个比方，一条新修的山路，在山顶上可以随便绕，可到了山脚，必须和原来那条大路接上，不能凭空断在半空。光是连续的波，这正是旧物理学最牢靠的一块，是山脚下那条大路。守住它，新旧两头才接得上。

所以，玻尔不信光量子，不是守旧，而是守一个接口。在他看来，一颗一颗的光，会让新理论在山脚下接不上大路。这个顾虑是认真的，只是后来的物理学找到了别的接法。

一九二三年，美国物理学家康普顿发表了一个实验：用 X 射线照电子，射出来的 X 射线颜色变了，变多少，正好可以用“一颗光子撞一个电子，像两个台球相碰”来算。这是光量子到那时为止最有力的证据。为什么颜色会变？因为光的颜色对应一份光的能量。一颗光子撞上电子，把电子撞飞，自己损失了一点能量，颜色就往红的方向偏一点；撞的角度越大，损失越多，偏得越多。算出来的偏移和量出来的偏移，对得严丝合缝。用波的说法，很难解释这种随角度一点一点变化的偏移。很多人开始动摇。

玻尔没有动摇。一九二四年，他和两位年轻的合作者克拉默斯、斯莱特一起，写了一篇论文，后来人们用三个人名字的头一个字母，叫它 BKS 论文。这篇论文想做一件事：不要光量子，也能解释康普顿那样的实验。

办法是很激进的。他们说，原子和光之间的能量交换，不必每一次都守恒，只要平均起来守恒就行了。一次碰撞里，能量可以多一点、少一点，成千上万次加起来，账是平的。

这是什么意思？能量守恒，是物理学里最硬的一条规矩：能量不会凭空多出来，也不会凭空消失。为了保住“光是连续的波”，玻尔宁可让这条最硬的规矩在一次一次的事件里松动，只在统计上成立。

这个选择，把他对“连续的光”有多看重，表现得清清楚楚。

爱因斯坦坚决反对。一九二四年，他在给玻恩的信里说了一句后来常被人引用的话，大意是：如果真是这样，他宁愿去当鞋匠，甚至去赌场做个雇员，也不当物理学家。

这句话很有意思，放到后来看，更有意思。一个说“宁可去赌场”也不接受统计守恒的人，两年以后成了“上帝不掷骰子”的那个人；而一个为了保住连续的光、宁可只要统计的人，三年以后成了“世界只能用概率描述”那一方的领袖。两个人在一九二四年的站位，和一九二七年以后正好反过来。这一点卷四第 24 章专门讲，这里先记下。

BKS 论文的好处，是它说得很具体，可以拿实验去试。

一九二五年春天，两组实验先后给出了结果。一组是德国的博特和盖革，一组是美国的康普顿和西蒙。他们用不同的办法，盯着一次一次的碰撞看：X 射线打中电子以后，被弹开的光和被撞飞的电子，是不是每一次都同时出现，能量和冲劲是不是每一次都对得上。

打个比方。如果 BKS 说得对，被弹开的光和被撞飞的电子之间，没有一一对应的账，它们只是各自按平均的规律出现，就像两个互不相识的人各自进出一栋楼，偶尔同时出现，纯属碰巧。如果光真是一颗一颗的，那么每一次碰撞，两样东

西都该成对出现，就像一对舞伴，一个转出去，另一个一定同时转过来。实验要做的，就是在两边各放一个“守门的”，看它们是不是总是一起响。

结果是：每一次都对得上。守恒不是只在平均上成立，而是在每一个单独的事件里都成立。

BKS 被判负了。

玻尔很快接受了这个结果，放弃了统计守恒的想法。这一点应该说清楚：他是一个在实验面前认账的人。

但他仍然不热心“光子”这个说法。守恒回来了，光的一颗一颗也被证实了，可在他心里，光的波动那一面，不是可以轻易放下的。两年以后，他找到了一个办法，把两面都留下，那就是互补。从一九一三年的原子，到一九二五年认账，他对光量子抗拒了十几年；再到一九二七年讲互补，又是两年。而整场光量子之争，从爱因斯坦一九〇五年提出算起，到玻尔一九二七年用光的两面立起互补，前后二十多年。

回头看，光量子这一回合有一个后来几个回合都没有的特点：它能被实验判输赢。

原因在于 BKS 论文说得太具体了。它不是笼统地说“光是波”，而是说“一次一次的碰撞里，能量可以不守恒”。这句话给实验留下了一个明确的靶子：去看一次一次的碰撞，看守恒是不是每一次都成立。看了，就知道了。

后面的回合就没有这么好判了。一九二七年、一九三〇年的交锋，靠的是思想实验，也就是在脑子里搭一台装置，推一推会发生什么。一九三五年的难题，更是直接问“量子力学说完了没有”，这不是一台仪器能量出来的。这一类问题，要等到三十年后贝尔把它改写成一个可以在实验台上检验的形式，才重新有了判输赢的可能。

所以，光量子这一回合是整场争论里唯一一次早早有了裁判的回合。有意思的是，恰恰在这唯一一次有裁判的回合里，输的是玻尔。后来大多数人认为他赢了的那几个回合，裁判都迟到了几十年。这件事，卷五第 32 章还会回头讲。

◆ 四、信的人在做什么，又信了五十年还没弄懂

玻尔在抗拒的这些年，爱因斯坦也没闲着。

一九二四年，一位印度物理学家玻色寄给他一篇论文。论文用一种新的数法去数光子，推出了普朗克的公式。据记载，这篇论文先前投给一家英国刊物，没有被接受。爱因斯坦看出了它的价值，亲自把它译成德文，替他投了出去。接着，他把玻色的数法推广到原子这样的物质粒子上，预言了一种奇特的现象：在极低的温度下，许多原子会挤到同一个最低的状态里，像一群人齐步走，变成一个整体。这就是后来所说的玻色—爱因斯坦统计和玻色—爱因斯坦凝聚。

同一时期，法国的德布罗意提出，不但光有粒子的一面，电子这样的粒子也有波的一面，这叫物质波。这个想法当时也没人当真，爱因斯坦却公开表示支持。

这两件事都有一个共同的特点：它们都是从统计、从一大群东西的集体行为里看出新规律，都在把波和粒子往一起推。一两年后，薛定谔正是受了德布罗意和爱因斯坦的启发，写出了波动力学。

也就是说，在量子力学诞生的前夜，爱因斯坦是它最重要的接生人之一。他亲手推开了好几扇门。等到门后的房子盖起来，他却不肯住进去。

这二十年里，两个人做研究的样子，也值得并排看一眼。

爱因斯坦的光量子，几乎是一个人扛下来的。一九〇五年他在专利局，身边没有导师，没有实验室；后来到了大学、到了柏林，他也很少带一大群学生。他提出光量子，多年没人响应；他支持玻色、支持德布罗意，靠的是一封封信和一篇篇推荐。他的武器是一支笔和一颗脑子。

玻尔却很早就有了一群人。BKS 论文的另外两位作者，克拉默斯和斯莱特，都是在他身边工作的年轻人。一九二一年研究所落成以后，哥本哈根成了年轻物理学家来来往往的地方。玻尔想问题，是和一群人一起想；他错，也是和一群人一起错；认账以后，这群人又和他一起往下一个方向走。

这一点，在光量子这一回合里还看不出太大的分别。但到了后面几个回合，它会变得很要紧：当争论从一对一变成一个人对一个学派，桌面上的分量就不一样了。而这种分别，恰恰落在两个人理论里都不谈的那一片地上。卷二、卷三会各自回到这里。

还有一件事，要跳到很远以后。

一九五一年十二月，爱因斯坦给他年轻时的老朋友贝索写信。信里说，整整五十年有意识的思考，并没有让他更接近“光量子是什么”这个问题的答案；如今人人都以为自己知道，其实他们错了。

这是一句很重的话。第一个提出光量子的人，在提出它将近五十年后，说自己还是不知道它是什么。

放在这一章里看，这句话把“信”和“不信”的界线弄得不那么分明了。玻尔不信光量子，最后被实验逼着认了它的实在；爱因斯坦信光量子，信了一辈子，却认为谁也没弄懂它。量子力学后来给了光子一个完整的数学描述，大多数物理学家对此很满意；爱因斯坦不满意，他要的不只是一套算得准的规则，而是一幅“光子到底是什么”的画面。在他看来，量子力学给出的，是一本记得很准的账，不是那样东西本身。

这个区别，用一个家常的比方说：一家银行的流水账，每一笔进出都记得分毫不差，月底一对，一分不少。可你问“这笔钱现在到底在哪里、是什么样子”，流水账回答不了，它只告诉你进了多少、出了多少。多数物理学家觉得，能把账记准

就够了，再问“钱本身在哪里”是多余的。爱因斯坦觉得不够：账记得再准，也总得有一样东西，是这本账在记的。

这就接上了后面的争论。他后来反对量子力学“完备”，根子在这里。

下面这张表，把光量子这二十多年排一排。

年份	爱因斯坦	玻尔
1905	提出光量子，光在打交道时一份一份	还在读书，尚未研究原子
1909	萨尔茨堡报告：未来的光理论是波与粒子的融合	—
1913	—	原子三部曲：电子跳台阶，交出一份能量
1916—17	用玻尔的台阶讲吸收与放出，偶然上桌	光仍是连续的波
1922	获补授诺贝尔奖，奖的是光电效应定律	诺贝尔讲演仍否定光量子
1924	反对 BKS，“宁可当鞋匠”；替玻色投稿，支持物质波	BKS：宁可只要统计上的守恒
1925	—	实验判负 BKS，认账，但仍不热心光子
1951	致贝索：五十年没弄懂光量子是什么	—

◆ 五、一个小区的电梯

光量子这二十年，有一个很家常的影子。

比如有这样一栋老小区的六层楼，没有电梯。住六楼的刘阿姨七十多岁，膝盖不好，好几年前就在业主群里提：咱们楼加装一部电梯吧。

住一楼的黄叔不同意。他不是不讲理的人，他的理由很具体：电梯井一装，挡他家的光；电梯一响，吵他家的觉；他一楼用不上电梯，却要跟着出钱。群里一吵，就是好几年。

第三年，黄叔提了一个方案：不装电梯了，楼道里每层装扶手，拐角放折叠座椅，大家平均出一点钱。“总体上，楼里上下楼方便了，谁也不吃大亏。”这个方案听上去很周到，其实是为了保住他最看重的那一样，一楼的采光和清静，宁可让别的东西将就：扶手和座椅解决不了七十岁的人爬六楼，只是在“平均”上让大家好受一点。

刘阿姨不干。她说，账不能这么平均着算，一户一户地算：六楼的人天天爬，一楼的人不爬，这个差别不能用“总体方便”抹平。

后来，街道请了第三方做了一次实测，拿仪器量了一整天的日照。结果出来：电梯井装在北边楼梯口，一楼只在冬天下午少晒不到一个钟头；电梯的噪音，在一楼卧室里几乎听不见。

这次实测有一个讲究：它不是量一个“全楼平均采光”，而是专门量一楼那一户，一个钟头一个钟头地量。黄叔的方案讲的是平均，实测偏偏去看最具体的那一户、那一个钟头。

实测说了话。黄叔在群里回了一句：“数据我认。”不再反对了。但电梯开工那天，他没下楼看，电梯装好以后，他也从来不坐。

刘阿姨呢？电梯装好了，她天天坐，高兴得很。可有一次，有人在群里问她：这电梯以后坏了谁修，维保费谁出，出了事谁负责？她答不上来。她信了好几年的电梯，真装好了，她才发现，自己其实并不清楚这东西到底是怎么一回事。

还有一个细节很有意思。到了商量怎么分摊费用的时候，两个人的说法反过来了。黄叔说，一户一户地算，一楼不用，就该少出或者不出；刘阿姨说，都是一栋楼的邻居，平均摊一摊算了。几年前主张“一户一户算”的人，这时要“平均”；主张“平均”的人，这时要“一户一户算”。

把这个故事和光量子的二十年放在一起，能对上好几处。不信的一方，为了保住自己最看重的一样东西，宁可提一个“平均上说得过去”的方案；实测一来，他

认了账，却始终不热心。信的一方，坚持了好几年，最后赢了，可真正追问下去，她也说不清自己信的那个东西到底是什么。而在某一个关口，两个人的站位，正好对调过一次。

◆ 六、第二回合的样子

这一回合，在桌面上是有胜负的。

到一九二五年，光是一颗一颗的，已经被实验证实；玻尔为了回避光量子而提出的统计守恒，被实验否定。这一回合，爱因斯坦赢了。

可他赢下的，是“光有粒子的一面”。他没能赢下的，是他一九〇九年就想要的那个“融合”，以及他一九五一年还在追问的那个“光子到底是什么”。而他为了解释光的吸收和放出、亲手放上桌的那只骰子，在接下来的两年里，会被一群更年轻的人拿起来，当成新力学的基石。

玻尔输了这一回合，但他从输里带走了一样东西：他比谁都更清楚，光的波和粒子两面，哪一面都放不下。两年以后，这份清楚，会变成他的互补原理，也会变成他手里最有力的武器。

> 带走的话
>
> 信的人赢了光子，却说自己没弄懂它；不信的人输了光子，却从输里拿到了“两面都放不下”。

> **小账**
>
> 这一回合，桌面上谁占了上风？——爱因斯坦。一九二五年实验判定光量子为真、BKS为负。
>
> 缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——一九二四年，玻尔拿着“只在统计上成立”，那是爱因斯坦一九一七年放上桌的骰子；爱因斯坦拿着“每一次都守恒”，这一条后来写进了量子力学，住进了玻尔一方的房子。

◆

03

第 3 章

1926 年春天的那场谈话：“是理论决定我们能观察什么”

这一章的问题

一个年轻人拿老前辈自己的办法去说服老前辈，老前辈为什么说那是胡说——而这句“胡说”，又怎样变成了对手手里的武器？

一九二六年四月二十八日，柏林。

一位二十多岁的德国物理学家刚在柏林大学的物理讨论会上讲完他的新力学。他叫维尔纳·海森堡。台下坐着好几位他读书时只在书本上见过名字的前辈，爱因斯坦是其中一位。

讲座之后，他和爱因斯坦有过一次长谈。这次谈话，海森堡在四十多年后写进了回忆录《部分与整体》（英译本题为《物理学及其他》）。下面的内容，都来自他的回忆。回忆写于多年以后，细节未必分毫不差，但两人各自的立场，是清楚的。

不妨想象那个场面：柏林四月的傍晚，一老一少，老的四十七岁，已经是物理学的传奇；少的二十四岁，刚刚提出一套连他自己都说不太清楚的理论。少的那一个很紧张，他知道，眼前这个人如果不认可，他的新东西在柏林就很难站住。

据海森堡回忆，爱因斯坦先问的是轨道：你承认原子里有电子，却不肯谈电子的轨道；可在云室里，人们明明能看到电子飞过留下的一道痕迹，这是为什么?

海森堡的回答大意是：原子里电子的轨道，谁也看不见。我们能看见的，只是原子放出来的光：什么颜色，多亮。一套理论，应该只用看得见的量来建立。

然后，他说了一句很聪明的话。大意是：您当年创立相对论，不也是这样做的吗?您不谈谁也测不出来的“绝对时间”，只谈钟怎样走、尺怎样量。我这是跟您学的。

爱因斯坦的回答，按海森堡的回忆，大意是：也许我当初是这样推理过，但这照样是胡说。接着他说了那句后来很有名的话：“是理论决定我们能观察什么。”

这个场面值得多看一会儿。年轻人拿着老前辈的办法去说服老前辈，老前辈却说：这办法是我用过的，但它不对。

◆ 一、那套新力学说了什么

先说海森堡那套新理论是怎么回事。

一九二五年夏天，海森堡想出了一个新办法算原子。旧的办法是：先想象电子在原子里沿着某条轨道转，再算它放出什么光。海森堡说，这个“轨道”谁也没见过，何必去想它?干脆只抓住量得出来的东西：原子放出的光有哪些颜色，每种颜色多亮。把这些量排成一张一张的表，直接去算表和表之间的规律。

打个比方。隔着一堵墙，听见隔壁传来琴声。旧的办法是先猜隔壁有一架什么样的琴、琴放在哪间屋、谁在弹，再推出你会听见什么。海森堡的办法是：别猜琴在哪，只记听见的音高和响度，直接找音高和响度之间的规律。

这个办法后来叫矩阵力学。它很快就算出了一些旧办法算不出的结果。

但它付出的代价也很明显：它不给你画面。旧理论里，原子像一个小小的太阳系，电子像行星，谁都想象得出来。新理论里只有一张一张的表，表里是数，你算

得出结果，却想象不出原子里到底是什么样子。对一个靠画面想问题的人来说，这是很难接受的。爱因斯坦正是这样的人。

一九二六年初，奥地利的薛定谔又提出了另一套办法，叫波动力学，他把电子看成一种波，写出了一个描述这种波怎样变化的方程。两套办法看上去一个像账本、一个像水波，却在同一年被证明是一回事，是同一样东西的两种写法。

还有一个关键的人，是玻恩。就在那一年，他提出了对薛定谔那个“波”的一种读法：波本身不是电子，波在某处的大小，代表在那里找到电子的可能性有多大。电子落在哪里，只能说概率。

这就是说，到一九二六年，爱因斯坦一九一七年放上桌的那只骰子，被正式写进了新力学的地基。

◆ 二、相对论里的“只看看得见的”，和“是理论决定”

海森堡说他是跟相对论学的，这话有没有道理？

有道理。一九〇五年的狭义相对论，出发点之一就是一个很朴素的问题：两个不在一处的钟，怎样才算“同时”？爱因斯坦的回答是：你不能凭空说它们同时，你得给出一个办法，比如在两钟中间点亮一盏灯，看光是不是同时到达两个钟。怎样对表，决定了什么叫同时。

换句话说，相对论不谈那个谁也测不到的“宇宙统一时间”，只谈一个个观察者手里的钟和尺，以及他们之间怎样互相换算。这正是海森堡所说的“只用看得见的量”。

可是，这里面有一层很微妙的东西。

爱因斯坦的理论写下来的，是一个不依赖任何观察者的世界：物理规律在所有观察者那里都一样，世界本身是确定的、客观的，谁看都一样。但他得到这个世界

的路径，却是从观察者出发：先问每个观察者的钟怎么走、尺怎么量，他们之间怎样对表。他的理论站在“事外”，他的路却是从“人和人之间”走出来的。

用本书导论里的话说，他写下的是一号位，事外的世界；他活过的，是二号位，观察者之间对表。

海森堡看见的，是爱因斯坦活过的那一半。他拿着这一半，来说服爱因斯坦。爱因斯坦回应他的，是自己写下的那一半：那些钟和尺背后，站着一个理论；是这个理论告诉你，钟和尺可以用来量时间和距离。

这句话初听有点绕，其实可以说得很家常。

据海森堡回忆，爱因斯坦接着解释了他的意思。你说你“观察”到了原子放出的光，这件事并不简单：原子里发生了什么，光怎样走出来，怎样穿过仪器，怎样打在底片上、进到你眼睛里，最后成了你说的“看见了”。这一路上的每一步，你都默认了一套关于光、关于仪器的理论。如果没有这些理论，你连自己看见的是什么都说不出来。

所以，“看得见的”并不是摆在那里等你去捡的，它是被理论挑出来的。

一个很家常的例子：一支体温计显示三十八度五。你说你“看见”了发烧。可你真正看见的，只是一根细管里的一截银色液柱停在某个刻度上。从液柱到“发烧”，中间隔着一整套理论：液体受热会膨胀，膨胀多少对应多少度，人的正常体温是多少。没有这套理论，那截液柱什么也不是。

这句话，在爱因斯坦那里，是一次回击。他不同意海森堡把原子里的轨道一笔勾销。在他看来，电子有没有轨道，不能因为暂时看不见就说它不存在；恰恰相反，应该先有一套好理论，再由理论告诉我们，哪些东西能看见、该怎样看。

可是，这句话后来走的路，大大出乎两个人的意料。

◆ 三、一句话怎样变成了武器

柏林那场谈话之后没几天，一九二六年五月一日，海森堡到哥本哈根上任，在玻尔的研究所当讲师，也给玻尔当助手。那年秋天薛定谔来访以后，争论越来越紧；到了冬天，他和玻尔天天争新力学到底是什么意思，常常争到深夜。

一九二七年二月，玻尔去挪威滑雪度假。海森堡一个人留在哥本哈根，把他想到的东西写成了一封十四页的长信，寄给朋友泡利，接着改成了一篇论文。这就是不确定关系。

海森堡后来说，启发他的，正是爱因斯坦那句“是理论决定我们能观察什么”。他反过来想：既然是理论决定能观察什么，那就让新力学自己来告诉我们，它允许观察什么、不允许观察什么。

新力学的回答是：一个电子的位置和速度，不能同时测准。位置越准，速度越不准；速度越准，位置越不准。

他用了一个画面来说明。要看清一个电子在哪里，得拿光去照它；光的波长越短，看得越清楚。可波长越短，一份光的能量就越大，打在电子上，就把电子撞得越狠，它的速度就越乱。你想把位置看清，就得把速度搅乱。

玻尔滑雪回来，读了这篇稿子，和海森堡争得很凶。他不满意海森堡把这件事说成“测量时把电子撞乱了”，他认为根子更深：位置和速度，本来就是两种不能同时用满的描述，像波和粒子一样。海森堡在论文校样上加了一段附注，承认了玻尔的一些意见。玻尔则沿着自己的思路，在那年秋天讲出了“互补”。

海森堡的回忆里还有一个细节，正好把这一圈接上。据他说，在写出不确定关系之前的一个夜里，他走出研究所，到后面的费莱德公园里散步，忽然想起爱因斯坦那句话，又想起那道云室里的痕迹。他问自己：云室里我们真正看见的是什么？不是一条细细的、精确的轨道，而是一串水珠，每一颗水珠都比电子大得多。那串

水珠告诉你的，只是电子大概在这里、大概往那边走。也许，理论本来就只允许你看见“大概”。

一九二六年春天爱因斯坦拿来难他的那道云室痕迹，就这样被他用爱因斯坦的那句话化开了。

事情就这样绕了一圈。爱因斯坦用来反驳海森堡的那句话，成了海森堡建立不确定关系的钥匙；不确定关系，又成了玻尔互补原理最硬的一块基石；而在接下来的几年里，玻尔一方手里对付爱因斯坦的，正是不确定关系。

◆ 四、同年十二月的那封信

一九二六年十二月四日，爱因斯坦给玻恩写了一封信。玻恩是他的老朋友，也是那年提出“波代表概率”的人。

信里，爱因斯坦说，量子力学说了很多，却没有让我们更接近“老头子”的秘密。然后他写：无论如何，我相信“他不掷骰子”。

这是“上帝不掷骰子”这句话真正的书面出处。它不是在某次会议上当众喊出来的，而是写在给老朋友的一封私信里。它针对的，正是玻恩那一年的读法：电子落在哪里只能说概率。

把这封信和一九一七年那篇论文放在一起看，会有一种说不出的滋味。九年前，是他把“偶然”写进原子放光的过程，并说对这条路完全有信心；九年后，当别人沿着这条路把偶然写进了整个新力学的地基，他说：他不掷骰子。

他没有忘记自己当年写过什么。他在一九一七年就承认，这是理论的一个“弱点”。他的意思一直是：偶然只是暂时的，是因为我们还不知道得够多；将来有更好的理论，这个弱点会被补上。而新力学的意思是：偶然不是弱点，是世界本来的样子。

他开的头，他不肯让它当结尾。

这也是后来“完备不完备”之争的源头。在爱因斯坦看来，一套理论只能说概率，就说明它还缺了点什么：好比班主任说某个学生有七成把握考上本科，这不是说高考在掷骰子，而是说班主任对这个学生知道得还不够。知道够了，就能说准。所以，概率是理论没说完的标志。新力学的一方却认为，原子世界里的概率不是班主任知道得不够，而是没有更多可以知道的东西了。同一个“七成”，一个读成“账没记完”，一个读成“账就是这样”。一九三五年的那场大争论，吵的就是这个。

◆ 五、一个志愿表上的“胡说”

这种“你拿我的话来说服我，我说那是胡说”的场面，在家里也常见。

比如有这样一对父子。父亲在县城开了二十多年的装修队，是从小工一步步干上来的。他平时最爱说的一句话是：“看得见的才算数，别听人吹。”买材料看实物，招工人看手艺，从不信广告。

儿子高考完，填志愿。父亲希望他报本省一所师范，稳当。儿子想报外省一所大学的新闻专业。

儿子是这么说的：“爸，你不是一直说看得见的才算数吗？我看得见的就是：我数学物理一般，作文回回拿高分，班主任也说我适合写东西。这就是我看得见的，我按看得见的报。”

父亲愣了一下，然后说：“我是这么说过。可你这么用，照样不对。”

“哪里不对？”

“你看得见作文分，那是因为学校只给你看作文分。你看得见‘适合写东西’，那是因为你只见过语文老师。你见过一个学新闻的人毕业以后干什么吗？你没见过。你心里没那把尺子，你看见的就只是分数。”

这番话，和“是理论决定我们能观察什么”几乎是同一个意思：你能看见什么，取决于你心里先有什么尺子。

儿子没有吭声。那天晚上，他没去跟同学聚会，而是在网上找了好几位学新闻的学长学姐，一个一个问他们现在做什么、一天怎么过、后不后悔。第二天，他又去了县里的融媒体中心，找了一位记者聊了半个钟头。

几天以后，他拿着一张写得密密麻麻的纸，来找父亲。“你说得对，是心里的尺子决定能看见什么。我现在有了一把尺子。”纸上写着他问来的东西，也写着他为什么还是想报新闻，只是把学校从外省那一所换成了另一所课程更扎实的。

父亲看了很久，最后说：“你自己定吧。”

这个故事里，父亲那句“你这么用照样不对”，本来是用来拦儿子的；结果儿子拿着这句话，给自己造了一把尺子，最后用这把尺子说服了父亲。父亲的话赢了，父亲的主张却没赢。

一九二六年春天那场谈话，也是这样。爱因斯坦的话赢了，海森堡服了这句话；可海森堡拿着这句话造出来的，是一件后来专门用来对付爱因斯坦的东西。

◆ 六、第三回合的样子

这一回合还有一件事要交代：它几乎全靠海森堡一个人的回忆。回忆写于四十多年后，那时海森堡已经是名满天下的老人，那场谈话在他笔下有了一种“命中注定”的味道。史家对这类回忆一向留着一分小心。本书采用它，是因为爱因斯坦那句话的意思，和他在别处留下的文字是一致的；至于谈话里的每一个细节，只能当作海森堡记得的样子来读。

这一回合，桌面上很难说谁赢了。

那场谈话本身，爱因斯坦占了上风。他那句“是理论决定我们能观察什么”，海森堡当场没有驳倒，后来还心服口服地说它启发了自己。直到今天，大多数物理学家和哲学家也认为，这句话是对的。

可是，这句话一离开爱因斯坦的嘴，就去了对面；这一圈，前面已经走过一遍。

这是这场争论里很典型的一幕：每个人手里的刀，都在往对面跑。海森堡拿来说服爱因斯坦的，是爱因斯坦活过的那一半，观察者之间对表；爱因斯坦拿来回击的，是他写下的那一半，理论在先、世界在先。结果，写下的那一半被对手借走，变成了打他自己的武器。

带走的话

他那句“是理论决定我们能观察什么”是对的；可一句对的话，离开他的嘴，就成了对手的钥匙。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——谈话里是爱因斯坦，他那句话至今站得住；谈话之后是海森堡和玻尔，他们拿这句话造出了不确定关系。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——海森堡拿着爱因斯坦活过的那一半，观察者之间对表；爱因斯坦拿着自己写下的那一半，理论在先，结果被借到了对面。

04

第 4 章

1927 第五届索尔维：早饭出题，晚饭交卷

这一章的问题

一个人每天早上出一道题，另一个人每天晚上交一份答卷，几天下来，出题的人被说服了吗？

一九二七年十月，布鲁塞尔。

第五届索尔维物理学会议在这里召开，会议的主题是“电子与光子”。索尔维会议是一位比利时实业家出钱办的，每次只请二三十位最顶尖的物理学家，关起门来谈一个题目。这一次，量子理论的新老两代几乎都到了。

那时，新力学从海森堡的第一篇论文算起，才两年多。它算得准，这一点已经没有人怀疑；可它到底在说什么，电子到底是什么、测量到底意味着什么，还没有一个大家都认的说法。这次会议，某种意义上是在替一代人定一个读法。

据在场的人后来回忆，这次会议真正的交锋，不在会场上，而在会场外。

不妨想象那个场面：一家旅馆的早餐厅，几张桌子拼在一起，咖啡和面包还冒着热气。爱因斯坦坐下来，没等大家吃几口，就讲起他头天晚上想好的一个装置：一块挡板吊在弹簧上，后面还有一块开着两道缝的挡板，一个电子飞过去，打在最

后面的屏上……他讲得很具体，像在描述一台真的机器。讲完了，他看着对面的人：照你们的新力学，这里该怎么说？

对面坐着玻尔，还有海森堡、泡利这些年轻人。玻尔听完，眉头皱起来，开始一边想一边说，说到一半又停下来改。早饭就这样吃完了。

白天是会议，报告一个接一个。可玻尔一方的人，心思都在早上那道题上。他们在走廊里、在去会场的路上，三三两两地讨论。

到了晚饭时，玻尔拿出了答案：爱因斯坦的装置里，有一处他没算进去的东西，一算进去，他想要的那个结果就出不来了。

爱因斯坦听了，想了一会儿，没有被说服。第二天早上，他又带来一个新的装置。

据海森堡、施特恩等人的回忆，那几天就是这样过的：早饭出题，晚饭交卷。

这个场面值得多看一会儿。出题的人每天都换一道新题，交卷的人每天都交上了答卷。会开了那么几天，没有一道题难倒交卷的人，出题的人也没有一次认输。

◆ 一、一个月前，科莫

要看懂这场早饭和晚饭，先得回到一个月前。

一九二七年九月，意大利北部的科莫湖边召开了一次国际物理学会议。玻尔在会上做了一场讲演，第一次公开提出了“互补”这个想法。

这是他从那年春天在挪威滑雪时就开始琢磨的东西。说起来并不复杂。

电子也好，光也好，在有的实验里表现得像粒子，一颗一颗，打在屏上是一个一个的点；在另一些实验里表现得像波，会绕过障碍，会互相叠加，出现明暗条纹。这两种表现，看起来互相矛盾。

玻尔说：它们不矛盾，因为它们从来不会在同一个实验里同时出现。你用这一种仪器去看，它就像粒子；你换那一种仪器去看，它就像波。两种看法不能同时用满，但缺了哪一种，对这样东西的描述都是不完整的。所以两种都要，轮流着要。这就叫互补。

一个很家常的比方：用手机给一个正在跳舞的人拍照。快门调得很快，拍出来的是一张清清楚楚的定格，胳膊在哪、腿在哪，看得一清二楚，可你看不出她是怎么动的；快门调得很慢，拍出来的是一片带着拖影的模糊，你看得出动作的走向，却说不出她某一刻在哪里。两张照片都是真的，但你不可能用同一次快门，同时拍出清清楚楚的位置和完完整整的动作。要了解这支舞，两张都得看。

海森堡的不确定关系，在玻尔这里就成了互补的一个例子：位置和速度，就像那张定格和那张拖影。

玻尔还加了一条他非常看重的要求：不管原子世界多么奇怪，我们报告实验结果的时候，必须用经典物理的那些概念，用清楚的、日常的语言。仪器的读数、指针的位置、底片上的黑点，都要说得明明白白、没有歧义，让别人能照着重复。原子里再怎么说不清，仪器这一头必须说得清。

为什么非得这样？玻尔的理由是：科学要能交流，要能让别人照着重复。你在实验室里看到了什么，得能告诉另一个实验室的人，让他搭出同样的装置、看到同样的结果。这种交流，只能用大家共同的语言：尺子、钟、指针、底片。原子里可以说不清，这一头不能说不清。说到底，是在原子和仪器之间划一道线：线那边守新规矩，线这边守旧语言。

这一条要求，后来成了玻尔一方的一个基本立场，也成了他自己一生里一道很有意思的缝：要求人人说清楚的人，自己的话以难懂出了名。卷三会讲。

◆ 二、早饭的两道题：一道缝，两道缝

回到布鲁塞尔。爱因斯坦那几天出的题，有的在早饭桌上，有的在会上的总讨论里；玻尔在一九四九年那篇长文里回忆过几道。这里挑最有代表性的两道来讲。

第一道题，用的是一道缝。

让一个电子穿过挡板上一道很窄的缝。照新力学，电子穿过缝以后，像水波一样散开，在后面的屏上摊成一大片可能的落点。可是，每一个电子最后只会落在屏上的一个点。

爱因斯坦问的是：电子落在了 A 点的那一瞬间，屏上其他所有地方，比如远处的 B 点，就一下子不可能再有这个电子了。照新力学的说法，那片摊开的“波”本来遍布整块屏，怎么会在一瞬间，整片都知道了电子落在 A、别处都不要再落？这片波，难道能在一瞬间把消息传遍整块屏？

这道题的画面是这样的：一场雨下在一大片田里，雨的“可能性”遍布整片田；可这里偏偏只落了一滴雨，而且这一滴一落下，田里别的地方就都不会再有这一滴了。好像整片田在同一刻商量好了一样。

爱因斯坦的意思是：要么，电子在穿过缝的时候就已经有了一条确定的路，只是新力学没有写出来，那它就是不完整的；要么，就得承认远处的屏会在一瞬间被这里的事影响，这在他看来是说不通的。

这道题，其实已经是八年后那场大争论的雏形。一九三五年，他会把这个“一瞬间，远处都知道了”的难题，磨成一把更锋利的刀。

第二道题更有名，也更像一场正面的进攻。

在挡板上开两道缝。电子一个一个地飞过去，打在后面的屏上。飞的电子多了，屏上会出现一条一条明暗相间的条纹，这是波的标志：从两道缝里出来的波互相叠加，有的地方加强，有的地方抵消。

新力学说：如果你想知道每个电子是从哪一道缝过去的，条纹就会消失。要么知道路，要么看条纹，两样不能同时要。这正是玻尔说的互补。

爱因斯坦说：我偏要两样都要。

据玻尔一九四九年的记述，他的办法是在双缝前面再加一块挡板。这块前挡板上只开一道缝，电子先从这道缝穿过，再飞向后面开着两道缝的挡板。关键在于：前挡板不要钉死，用很软的弹簧吊起来，能上下轻轻晃动。电子穿过前挡板的那道缝时，要拐个弯才能去往上面那道缝或下面那道缝；往上拐和往下拐，前挡板被它顶的那一下方向不同。只要量一量前挡板被顶了哪一下，就知道电子接着走的是哪道缝。与此同时，照样看屏上的条纹。

如果这办法行得通，路和条纹就同时有了，互补就被打破了，量子力学说“两样不能同时要”就错了。

这道题的漂亮之处，在于它完全用了一个日常的画面：一块挂着的板子，被经过的东西顶了一下。谁都想象得出来。

◆ 三、晚饭的答卷：把挡板也算进去

玻尔的回答，抓住的正是这块板子。

他说：你要量出前挡板被顶了哪一下，这一下是非常非常轻的，轻到只有一个电子那么大的冲劲。要量出这么轻的一下，前挡板本身就得吊得非常自由，它的速度要能量得极准。可是，挡板也是由原子组成的，它也逃不出不确定关系：它的速度量得越准，它的位置就越不准。

前挡板的位置一不准，那道缝的位置也就跟着不准了，上下晃着。电子出发的那个口子一晃，屏上那些明暗条纹就会跟着晃。算一算晃多少，正好够把亮的地方和暗的地方搅在一起，条纹就糊掉了。

结论是：你想知道电子走哪道缝，就得把前挡板的冲劲量准；冲劲一量准，前挡板的位置就乱了，条纹就没了。路和条纹，还是只能要一样。

换成家常的画面：你想知道是谁从门口经过，就在门上挂一串很轻的风铃，谁碰一下，铃往哪边偏，就知道他从哪边来。可铃挂得越轻、越灵，它自己也晃得越厉害，连带着整扇门都在微微颤。门一颤，你原本想透过门缝看清的那幅图，也就跟着模糊了。要铃灵，门就稳不住；要门稳，铃就不灵。爱因斯坦想让一块挡板同时当风铃和门框，玻尔说，同一块板子，做不到。

这就是玻尔那几天一再使用的办法：把仪器也算进去。

爱因斯坦的每一个装置里，都有一件东西被他当成了“旧物理学里的普通东西”：一块板、一个快门、一只钟，它们的位置和速度，可以想量多准就量多准。玻尔每一次都把这件东西挑出来，说：它也得守新力学的规矩。一守规矩，它就带来刚好那么多的不准，刚好够把爱因斯坦想要的那个结果抹掉。

对那道一道缝的题，玻尔一方的看法是另一种。在他们看来，那片摊开的“波”，不是一样真在空间里铺开、需要往各处传消息的实物，而是用来算“落在哪里有多大可能”的工具。电子落在 A 点，别处不再可能，不是有什么消息一瞬间传到了 B 点，而是这本可能性的账翻过了一页。这个回答，爱因斯坦没有接受。在他看来，这恰恰说明新力学只是一本账，没有写出那样东西本身。

几天下来，情形大致就是这样：两道缝的题，爱因斯坦被驳回了；一道缝的题，两个人各说各的。

下面这张表，把这两道题排一排。

早饭的题	爱因斯坦想证明什么	晚饭的答卷	被算进去的仪器
一道缝，电子落在一点	要么电子本来有路，理论不完整；要么远处一瞬间被影响	波是算可能性的工具，落点只是账翻了一页	屏（记录落点的那块板）
双缝前加一块吊起来的单缝挡板	路和条纹可以同时要，互补被打破	量准前挡板的冲劲，它的位置就乱，条纹糊掉	吊起来的前挡板本身

这几天的交锋里，有一个现象很耐人寻味：玻尔的每一份答卷，算出来的“不准”，都刚好够用。不多不少，正好把爱因斯坦想要的结果抹掉。

对玻尔一方来说，这个“刚好”是新力学自洽的证据。一套理论，不管你从哪个角度去攻，它都刚好守得住，说明它的各个部分严丝合缝，是一个整体。

对爱因斯坦来说，这个“刚好”却有点可疑。他的想法大概是：每一次都靠同一招，把仪器也拉进来、让它也不准，这像是在补一件衣服，哪里破了补哪里，补丁的颜色还都一样。补得再好，也说明衣服底下有个东西没被写出来。

两个人看着同一个“刚好”，得出了相反的结论。这件事很关键，因为它说明这场争论已经不是“谁算错了”的问题。玻尔算得没错，爱因斯坦也承认他算得没错。两个人分歧的是：算对了，是不是就说完了。

这一点，要到一九三五年才被爱因斯坦正式说出来。一九二七年的布鲁塞尔，他还在试图从正面找一个破口。三年以后，他会带着一个更精巧的装置再来，那就是导论开头的那只光子盒。

还要注意，这几个回合和光量子那一回合很不一样：它们没有实验可以裁判。挂起来的挡板，在一九二七年只存在于脑子里，谁也造不出来。判输赢，靠的是在场的人被谁说服。在这种场合，一个有整个研究所、一群能干的年轻人站在身后的人，和一个独自出题的人，分量是不一样的。这不是说玻尔靠人多取胜，他的论证本身是站得住的；而是说，“大家认为谁赢了”这件事，本身也长在一片地上。

◆ 四、骰子、天意和画面：两人手里的语言

说到一九二七年的索尔维会议，很多书都会讲一段对话：爱因斯坦当众说上帝不掷骰子，玻尔当场回敬他，别替上帝规定该怎么做。这段对话流传极广，几乎成了这场争论的招牌。

它的出处却没有那么牢靠。

上一章说过，“上帝不掷骰子”真正的书面出处，是一九二六年十二月爱因斯坦写给玻恩的私信，不是一九二七年会上的当众发言。至于玻尔那句回敬，是后来流传的版本。

玻尔自己的说法是这样的。在一九四九年那篇长文里，他回忆说，爱因斯坦曾半带讥讽地问他们，是不是真的相信老天爷会掷骰子；他回答时，提醒要非常谨慎，古人早就告诫过，不要用日常的语言去给天意安上种种属性。

对比一下，差别很有意思。流传的版本里，玻尔像是在抢白爱因斯坦，一句话把对方噎回去，很痛快。玻尔自己的版本里，他没有抢白，他在讲一个他一辈子都在讲的道理：日常语言有它的边界，拿它去说那些超出日常经验的东西，要格外小心。这正是他在科莫讲的那条要求的另一面。

流传版本是怎样长出来的，也不难想象。一个认真讲道理的回答，传一次，去掉一点限定；再传一次，换成更顺口的说法；传到第十次，就成了一句针锋相对的妙语。这正是缝隙方法说的“传播中变宽”：到了大众那里，两个人的分歧只剩下两句顶嘴。

这件小事提醒我们一件大事：这场争论最有名的几句话，恰恰是最不可靠的。越好听、越像金句的话，越可能是后人磨出来的。本书引两人的话，只引有据可查的几句短句，其余一律转述，原因就在这里。

这场早饭和晚饭的交锋，还有一个容易被忽略的地方：两个人用的，都是画面。

爱因斯坦出的每一道题，都是一台在脑子里搭起来的机器：一块板、一道缝、一只挂起来的挡板。这是他从年轻时就擅长的本事。十几岁时，他问自己，如果追着一束光跑，会看见什么；后来，他想象一个人关在封闭的升降机里往下落，会不会觉得自己没了重量。相对论的两个最关键的念头，都是从这样的画面里长出来的。人们把这种办法叫作“思想实验”：不进实验室，在脑子里把实验做一遍。

有意思的是，这时候的新力学，恰恰是一套不给画面的理论。海森堡的表、薛定谔的方程、玻恩的概率，都很难画出来。爱因斯坦拿画面去攻一套没有画面的理论，是用他最拿手的东西，去打对方最不拿手的地方。

可玻尔并没有丢开画面去答。他的每一份答卷，也是一幅画：还是那块挡板、那道缝，只是在画里多添了一样东西，让挡板也挂着、也会晃，也守着不确定关系。他自己说，那些年他试着用一种“半写实”的画法把各种装置画出来：固定的挡板和底片架牢牢连在同一个结实的架子上，会动的挡板用软弹簧吊着。一九四九年的长文里，他把这些画一张一张配了进去，看上去像工厂里的真机器。

也就是说，这场交锋是在爱因斯坦的地盘上打的。题是他出的，画是他起的稿，玻尔在他的画上改。玻尔守住了阵地，用的却是对方的兵器。

这件事，与玻尔在科莫讲的那条要求也对得上：仪器这一头，要用清楚的、日常的、经典的语言来说。一块挂着的板子、一道缝、一根弹簧，正是这样的语言。玻尔把原子世界里说不清的东西，都推到了仪器那一头；而仪器那一头，他要求每个人都说得清清楚楚。爱因斯坦的画面，恰好就长在这一头。

◆ 五、两位老棋友

这种“一个出题、一个解题，谁也不服谁”的样子，在县城的公园里就能看到。

比如有这样两位老棋友，一位姓谭，一位姓龙，都七十出头，每天早上在公园的亭子里碰头。龙老爷子下了一辈子棋，最信一套开局，屏风马。他常说，这套开局防守滴水不漏，只要每一步走对，就不会输。谭老爷子不服，他认定这套开局有一个没人找到的漏洞，而且他要亲手把它找出来。

于是两个人有了一个习惯。每天早上，谭老爷子到了亭子，不急着下，先从口袋里掏出一张小纸条，上面是他头天晚上在家摆出来的一个局面：屏风马走到第十几步，红方来一个出人意料的弃子。“这个局面，你黑方怎么应？”

龙老爷子盯着棋盘，看了一会儿，说：“你等着。”那天他照常下棋、喝茶、跟人聊天，可心思一直在那张纸条上。到了傍晚，公园快关门的时候，他走回亭子，把棋子一摆：“这么走。你那一弃，我不吃，先把这匹马跳回来。”

谭老爷子一看，确实守住了。第二天早上，他又掏出一张新纸条。

这样下来，一个多月。谭老爷子的纸条一张比一张刁，龙老爷子的应法一次比一次妙，每一次都刚好守住。旁边看棋的人都说，龙老爷子赢了，屏风马确实滴水不漏。

可谭老爷子不这么看。有一天他说：“你每次都是临时找一步。今天这步，明天那步，每一步都不一样。真要是滴水不漏，你该能说出一个道理，一次把所有的洞都堵上。你说不出来，说明这套开局底下还有东西你没弄明白，只是我还没摆到那个局面。”

龙老爷子也不服：“我每次都守住了，这还不够？棋就是一步一步下的，哪来什么一次堵上所有的洞？”

两个人谁也没说服谁。

后来，那些纸条和应法，被公园里一个常来看棋的中年人一张一张抄进了一个硬皮本子。本子越记越厚，成了附近几个公园里下棋的人传着看的一本“屏风马百问”。本子里的东西，不是谭老爷子的，也不是龙老爷子的；没有谭老爷子的刁难，不会有这些局面，没有龙老爷子的死守，也不会有这些应法。

有意思的是，龙老爷子那一个多月的应法，好几次用的都是谭老爷子自己最拿手的招数：先弃后取，以退为进。谭老爷子平时下棋，最爱这么走。他出的题逼着龙老爷子走出了他自己的棋路。而谭老爷子那一张张纸条，本身就是一套“屏风马的变化研究”，比龙老爷子这辈子对这套开局想得还深。攻的人，把守的一方研究得最透；守的人，用的是攻的一方的手法。

这个故事和布鲁塞尔那几天的形状一样，前面几节已经对过，不再重复。这里多出来的一样东西，是那个硬皮本子。玻尔一九四九年那篇长文，某种意义上就是这样一本“百问”：一道题一道题，一份答卷一份答卷，配着图，记下来留给后人。没有出题的人，不会有这些题；没有交卷的人，也不会有这些答卷。

◆ 六、第四回合的样子

这一回合，桌面上是玻尔一方占了上风。

据后来一般的看法，一九二七年的索尔维会议之后，新力学的哥本哈根读法在大多数物理学家那里站住了。爱因斯坦的思想实验一道一道被驳回，他没有拿出一个驳不倒的反例。年轻一代多半认为，量子力学经受住了最严厉的考验。

但爱因斯坦没有被说服。他离开布鲁塞尔的时候，并不认为自己输了。在他看来，他只是还没有找到那个对的局面。

从缝里看，这一回合有两处交叉。

一处在爱因斯坦身上。他出题的武器，是画面和思想实验。这是他年轻时活过的那一半：靠脑子里的一幅幅图景想出相对论，而不是先从方程出发。可他出题要守护的，是他写下的那一半：一个严格因果、样样有准的世界，一个不靠任何观察者也照样在那里的世界。他拿活过的那一半当兵器，去守写下的那一半；这把兵器怎样落到了对面，前面讲画面的那一节已经说过。

另一处在玻尔身上。一个月前，他在科莫讲“两样都要”：波和粒子，位置和速度，缺一不可。可在布鲁塞尔的早饭桌和晚饭桌上，他守的只有一样：哥本哈根的那一种读法。爱因斯坦提出的，本身也是一种“另一样”：也许底下还有更多的东西。对这另一样，玻尔没有“两样都要”，他每一次都在关门。他讲互补，守的是门。

这时候的门，守得是对的。爱因斯坦的两道缝那道题确实被驳倒了，这一点至今没有争议。只是这扇门，玻尔后来守了一辈子。

爱因斯坦那边，也要等到下一回合才换打法。一九三〇年，他还会再试一次从正面进攻，试图证明不确定关系可以被打破。那一次失手以后，据后来的分析，他就不再说不确定关系会被违反，而把矛头转向了一个更深的问题：就算你每一步都守住了，你的理论说完了没有？布鲁塞尔的那几天，是这条路的起点。

> **带走的话**
>
> 答卷每一次都刚好守住，出题的人却说：刚好守住，正说明底下还有没写出来的东西。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——玻尔一方。爱因斯坦的思想实验一一被驳回，哥本哈根读法站住了，但出题的人没有认输。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——玻尔的答卷画在爱因斯坦起稿的画面上；爱因斯坦的“也许底下还有东西”，正是玻尔讲“两样都要”时没有给的那一样。

◆

05

第 5 章

1930 第六届索尔维：一只盒子和一夜无眠

这一章的问题

一只称得出轻重的盒子，为什么能让玻尔整晚难受，又为什么第二天被爱因斯坦自己的理论拆开了？

据罗森菲尔德后来的回忆，那天晚上的样子是这样的：两个人一前一后走出会议借住的那家大学俱乐部。爱因斯坦个子高，走得不慌不忙，脸上带着一点讥讽似的笑。玻尔一路小跑地跟在他身边，很激动，一遍遍地说，要是这个装置真管用，物理学就完了，可就是说不出它哪里不管用。罗森菲尔德那年二十六岁，刚开始跟着玻尔工作。他记得那一整晚玻尔都很难受，从这个人跟前走到那个人跟前，想说服大家这不可能是真的，却拿不出反驳。

第二天早上，情形倒了过来。照罗森菲尔德的说法，那是玻尔的凯旋。玻尔自己后来写道，这个论证是一次严重的挑战，逼着他把整个问题彻底检查了一遍。

这个场面值得多看一会儿。相传玻尔为它一夜无眠；让他这样难受的，是爱因斯坦在会下画出来的一只盒子。让玻尔第二天翻身的，不是量子力学里的什么新招，而是爱因斯坦自己十几年前立起来的广义相对论。一个人拿对方的理论去打对方，打中了。这件事在表面之争里是一个漂亮的回合，在缝隙之争里，它是第一把看得清楚的“交叉的刀”。

◆ 一、三年以后，又坐到一起

1927 年那一回，爱因斯坦每天早饭时出题，玻尔一方到晚饭时交卷。那一轮下来，在场的多数人觉得玻尔守住了。三年后，1930 年 10 月下旬，第六届索尔维会议又在布鲁塞尔召开，会议的正题是磁学，跟他们俩的争论没有直接关系。可是两个人一碰面，话题还是回到老地方。

这三年里，量子力学已经在全世界的教室里教开了。年轻人拿它算原子、算分子、算金属里的电子，算得又快又准。争论的焦点，落在海森堡 1927 年提出的那条不确定关系上。

不确定关系用大白话说，是这样一句：一个小东西的位置和它的速度，没法同时说得都很准。位置卡得越死，速度就越说不准；速度卡得越死，位置就越说不准。这不是尺子不够好，也不是手抖，量子力学说，事情本来就是这样，准头只能在两样之间分配，不能两样都拿满。

同样的道理还有一对，是能量和时间。一件事在什么时刻发生，和那件事里进出了多少能量，也不能同时说得都很准。想把时刻卡得越准，能量就越模糊；想把能量称得越准，时刻就越模糊。

这一对听起来玄，其实有一个人人听过的影子。按一下门铃，要是只让它响极短的一下，“嘀”的一声就没了，你很难说出它到底是什么音高，只听见一个短促的响动；要让人听准音高，就得让它响得长一点。声音越短，音高越含糊；音高越准，声音就得拉得越长。光也是这样，一个光子带的能量，跟它的“音高”是一回事。要把它出门的时刻卡在极短的一瞬，它的能量就注定散开一些。这个比方只是一个影子，量子力学里的道理比门铃深，但方向是一样的：两样东西抢同一份准头。

爱因斯坦不喜欢这条规矩。他不是算不来，而是不甘心。在他看来，一个东西在那里，它的位置、速度、能量、时刻，都应该是实实在在的，说不准只能怪我们

的办法笨。如果能设计出一个足够聪明的装置，把两样同时量准，那就说明这条规矩不是自然的底线，只是量子力学这套说法的毛病。

1927 年他试过好几种装置，都被玻尔一一拆开。1930 年，他带来了一个他认为拆不开的。

◆ 二、一只盒子：先看画面，再讲道理

不妨把这个装置画出来。这是一个思想实验，也就是只在脑子里做、不必真的造出来的实验。

有一只严严实实的盒子，里面装满了光。盒子一侧的墙上开着一个小孔，孔上有一扇快门。盒子里还放着一只钟，钟和快门连在一起：钟走到某个事先定好的时刻，快门就打开一眨眼，放一个光子出去，然后马上关上。

这只盒子挂在一杆秤上。放光子之前，称一次；放光子之后，再称一次。

画面就这么简单。一只盒子，一只钟，一扇快门，一杆秤。

要看懂这只盒子的厉害，只需要记得爱因斯坦自己在 1905 年说过的一句话的意思：能量和质量是一回事的两个面。一样东西放出了能量，它就会轻一点点。放出去的能量越多，轻得越多。

所以，盒子放走一个光子，就轻了一点点。前后两次称重一比，轻了多少，就知道那个光子带走了多少能量。秤可以做得很好，称了一次不放心，还可以慢慢地、反复地称，要多准就多准。

那么时间呢？时间更简单。快门是钟控制的，钟上写着几点几分几秒，光子就是那一刻出去的。钟也可以做得很好。

这样一来，一边是光子的能量，靠称重，要多准有多准；一边是光子出门的时刻，靠钟，也要多准有多准。能量和时间，两样同时拿满。那条“准头只能在两样之间分配”的规矩，好像被一只盒子轻轻松松打破了。

这一招的聪明在于，它不去碰光子本身。光子走了就走了，爱因斯坦只量盒子。量盒子，总不会扰动那个已经飞远的光子吧？以前玻尔拆装置，常常是说“你为了量这一样，不得不碰它一下，这一碰就把另一样碰乱了”。这一回，要碰的只是一只留在原地的盒子和一只挂在墙上的钟，好像无处可碰。

玻尔当场找不出破绽。这就是那一夜的由来。

◆ 三、一夜无眠之后：用对方的理论回击

关于那一夜，能说的其实不多。罗森菲尔德留下了当晚玻尔难受、次日凯旋的回忆，别的细节，后人多半是转述再转述，不宜添油加醋。

但有一件事可以从他们两人的工作习惯里看出来：玻尔不是一个人坐在灯下写公式的人。他想问题，是边走边说、边说边改，拉着身边的人一遍一遍地讲，讲到自己也听明白为止。卷三会专门讲到他这个习惯。那一夜他大概也是这样过的：把盒子在脑子里拆开，一个零件一个零件地问，秤怎么称，钟怎么走，快门怎么开。

他要找的，不是爱因斯坦算错了哪一步。爱因斯坦很少算错。他要找的，是这只盒子在真实世界里，还有哪一样东西被漏掉了。

第二天早上，玻尔找到了那样东西。它是引力。

先说广义相对论里的一件怪事，用大白话讲：钟走得快慢，和它放在多高有关。放在高处的钟，比放在低处的钟走得快那么一丁点。这一丁点小到日常生活里完全觉不出来，但它是真的。今天天上的导航卫星，就要把这一丁点算进去，否则地上的定位会一天天偏开。

这条规矩，爱因斯坦早在 1907 年就从“加速和引力分不出来”这个想法里推了出来，后来成了 1915 年广义相对论的一个推论。可以说，它是爱因斯坦最得意的那一套理论里的一个零件。

现在回到盒子。盒子挂在秤上，秤要称出轻重，靠的是看指针。玻尔说，你要看准指针，就得让盒子在秤上找到它的位置。放走光子以后，盒子轻了，会往上弹一点。你要把轻了多少称准，就得把盒子上下的位置读得准，而盒子自己的上下动静，是受不确定关系管着的：它的位置和它的动量，不能同时都准。称重称得越细，盒子的高度就越说不准。

接着是要命的一步。盒子里那只钟，就跟着盒子一起挂在秤上。盒子的高度说不准，钟的高度也就说不准。而钟的高度说不准，按爱因斯坦自己的广义相对论，钟走得快慢也就说不准。钟走得快慢说不准，它记下的那个“快门打开的时刻”，就跟着说不准了。

把这一串连起来：想把能量称得越准，就越得把盒子的高度放松；高度越松，钟就越说不准自己走了多少；于是时刻越说不准。玻尔把这一串算下来，两样说不准的量乘起来，正好不小于不确定关系规定的那个下限。

也就是说，这只盒子并没有打破规矩。规矩在盒子里藏得好好的，藏在引力让钟走快走慢的那一丁点上。

从此以后，爱因斯坦没有再拿这只盒子主张规矩被打破。玻尔用的是爱因斯坦的枪，打的是爱因斯坦的靶。这一回合，桌面上玻尔占了上风，而且赢得很好看。

这一回合打完，不妨停一停，把用到的零件一件一件摆到桌上，看看它们各自出自谁的工坊。

第一件，能量和质量是一回事的两面，所以放走光子盒子会变轻。这是爱因斯坦 1905 年的东西。

第二件，高处的钟比低处的钟走得快。这是爱因斯坦 1907 年到 1915 年间的东西。

第三件，位置和动量不能同时量准，能量和时间也不能。这是海森堡 1927 年的东西。可是第3章讲过，海森堡自己后来说，他想出这一条，受了 1926 年春天爱

因斯坦那句话的启发：是理论决定我们能观察什么。照海森堡本人的说法，这件零件的图纸上，也有爱因斯坦的一笔。

第四件，是玻尔自己的。他坚持一条：讲一个现象，必须把用来看它的那套仪器一起算进去。秤、指针、挂钩、钟，都不是站在世界外面的旁观者，它们本身就在世界里，也受同样的规矩管。爱因斯坦设计盒子时，把秤和钟当成了“只管读数、自己不动”的工具；玻尔偏偏把它们拉回到盒子所在的那个世界里，让秤上的盒子会上下晃，让钟跟着盒子一起挨引力的管。

这四件摆在一起，就看出这一回合的一个古怪之处：一场争论，几乎全是用一个人的零件打的。进攻的一方用的是自己 1905 年的零件，防守的一方用的是对方 1915 年的零件，被争夺的那条规矩，据它的提出者说，也沾过进攻者的光。玻尔真正拿出来的只有一样，但这一样是关键：把仪器算进现象。没有这一样，他就不会想到要去问秤上的盒子是不是也在晃，钟是不是也在引力里。

所以说玻尔“借了爱因斯坦的枪”，只说对了一半。枪是借的，扣扳机的那根手指是他自己的。他的手指，就是他在 1927 年科莫讲演里第一次公开说出来的那个意思：现象要把仪器算进去。

这件事后来成了玻尔一生里反复讲的一个故事。他在 1949 年为席尔普编的那本爱因斯坦文集写的长文里，把这只盒子画了出来，画得像一台真机器：盒子吊在一根弹簧上，身上装着指针，指针对着固定在支架上的刻度，底下还挂着一个小砝码，用来把指针调回零点。一个思想实验被画得这样实在，本身就是他那句话的样子：你说的量，要落到一台能摸得着的仪器上，才算数。

◆ 四、这一招到底严不严

故事讲到这里，很多通俗书就停了，把它讲成“玻尔以其人之道还治其人之身”的佳话。可是物理学家后来并没有停。

几十年间，一直有人回头细看玻尔那天的论证，看出不止一处可以商量的地方。有的研究者指出，玻尔论证里那几个“说不准的量”，前后含义不完全一致：一会儿指的是某次测量的误差，一会儿指的是事先准备时的散布，把它们乘在一起，逻辑上并不那么干净。

也有研究者认为，驳倒这只盒子根本用不着广义相对论：钟也好，盒子也好，本来就是量子的东西，只要把钟和秤之间怎样互相牵动按量子力学老老实实算一遍，就能看出盒子打不破规矩。照这种看法，引力只是玻尔顺手抓来的一件趁手家伙，不是唯一的钥匙。

还有一种更根本的质疑：在标准的量子力学里，时间和位置不是同一类东西。位置是一个“可观测量”，理论里有一个专门代表它、能拿去测的数学对象（物理学家叫它算符）；时间没有这样一个对象，它只是从外面给定的一个参数，像墙上挂钟的刻度，理论拿它来标先后，却不把它当成被测的那样东西。

泡利在 1933 年的一篇长综述里就指出过，想给时间也配一个这样的算符，会跟能量的性质冲突。那么“能量和时间的不确定关系”到底说的是什么，本来就比“位置和速度”那一对更难讲清。玻尔那天用一只钟去代替时间，是一个聪明的办法，也留下了一个说不清的角落。

本书不当这场后来者之争的裁判。可以公允地说三句话。第一，结论站得住：按今天的量子力学，这样一只盒子确实不能把能量和时间同时量到规矩以下，这一点没有人推翻。第二，玻尔的具体论证不完全严密，至少不是唯一的、也不是最干净的论证，这是后来许多物理学家的看法。第三，玻尔那一天守住的，是不确定关系本身，这是他的保底，不管细节如何，他守住了。

至于为什么偏偏是广义相对论，读者不妨先记在心里。第8章之后，本书会回来问：玻尔手里那把刀，是从哪里来的?

◆ 五、一个家常的样子：工长和业主的验收

把这个回合放到家里来看。

设想一对夫妻刚装修完一套房子，男主人姓柯，是个退休的机械工程师，做事认真，验收那天拿了一本自己从网上打印、装订整齐的家装验收规范，一页一页都用荧光笔划过。工长姓钟，干了二十年装修，手上功夫硬，嘴上不多。

两人为地砖起了争执。钟工长说，地砖的缝没法做到又窄又齐又永远不起拱，缝留得越窄越好看，天一热越容易拱起来，这是没办法两全的，只能在好看和保险之间分一分。柯工程师不服。他觉得这是工长给手艺不精找的借口，只要办法够好，两样都能拿满。

第二天，柯工程师想出了一个办法。他说，用一种最窄的缝，再在砖底下铺一层他查到的弹性垫，砖胀了有地方去，缝又不用留宽，两全其美。他把方案画在纸上，数字列得清清楚楚。钟工长当场说不出哪里不对，那天收工以后，一晚上翻来覆去想这张纸。

第三天早上，钟工长来了，手里拿的正是柯工程师那本规范。他翻到柯工程师自己划过荧光笔的一页，那一页讲的是另一件事：地面找平以后，砖下的粘结层不能太软，软了踩上去会空鼓。钟工长说，您的垫子一铺，砖是有地方胀了，可底下软了，这一条您自己划过的规矩就过不去；要让底下不软，垫子就得薄，薄了又挡不住胀。两头还是得分一分。

柯工程师盯着自己的荧光笔看了半天，没再说什么。

这个故事和光子盒的样子是一样的。业主的方案不是笨，是聪明，聪明到工长一时拆不开。工长拆开它，靠的不是自己的经验，而是业主最信的那本规范里业主自己划过的一条。这就是“用对方的理论打对方”。

故事还可以往下讲一步，因为它也和后来的争议同构。过了些日子，一位懂行的朋友来家里看了看，说：钟工长那天引的那一条，其实跟胀缝不是一回事，不用那条也能说明白，砖和粘结层一起热胀冷缩，本来就得留余地。柯工程师听了，心里又活动起来。可是朋友接着说，结论是没错的，两样确实拿不满，只是钟工长那天的道理讲得绕了一点。

还有更像的一步。柯工程师从此不再说“两样都能拿满”了，他换了一个问法：好，就算缝宽和保险不能两全，可你这套验收办法，只能告诉我敲上去响不响，砖底下到底实不实，你说不出来。一个说不出底下实情的验收，算不算完整的交代?

钟工长答不上来。这已经不是地砖的问题，是验收这件事本身的问题了。

这个家常故事能让人看清两件事。

一件是，用对方的规矩去拆对方的方案，是一种很有力的办法，因为对方没法说“我不认你那一套”，那一套就是他自己的。可是它赢下来的是这一场争论，未必是把事情本身讲透了。钟工长那天引的那一条管不管用，后来还有人商量；地砖该留缝，这件事的道理，其实比那一条规范更深。

另一件是，被拆开的一方，常常不是就此服气，而是把问题往后挪一步，挪到对手一时答不上来的地方。柯工程师不再争“能不能两全”，改争“说不说得全”。这一挪，不是狡辩，他是真的觉得还有一块地方没有被交代。一场争论要是有一方输了一局就换一个更深的问题，它就不会很快结束。

◆ 六、爱因斯坦换了题

柯工程师换问法，爱因斯坦也换了。

据后来研究者的一般看法，1930 年以后，爱因斯坦不再去设计打破不确定关系的装置。他接受了这一条：在量子力学的框架里，那些成对的量确实不能同时量准，他的盒子打不破它。

可是接受这一条，不等于接受量子力学说的就是世界的全部。他的疑问往后退了一步，退到了一个更深的地方。原来他问的是：量子力学说的对不对？现在他问的是：量子力学说得全不全？

这个“全不全”，物理学家叫它“完备性”。用大白话说：一个理论把一样东西该说的都说了吗，还是只说了一部分，另一部分它根本没去管？如果量子力学只是告诉我们一大堆东西平均起来怎样、某件事发生的可能有多大，却说不出每一个东西实实在在是什么样，那它就像那个只能敲出响不响、说不出底下实不实的验收，算不上完整的交代。

“对”和“全”是两回事，这一点在家里也分得清。一张体检单上每一项数字都准，它是对的；可是它只查了血，没查心电图，它就不全。说它不全，不等于说它错。爱因斯坦此后的全部攻势，都建在这个区分上：他不再说量子力学错了，他说它没说完。

这一退，看起来是让了一步，其实是换了一块更硬的地。在“对不对”上，量子力学的预言一次次被实验证实，爱因斯坦很难赢。在“全不全”上，量子力学自己并没有给出证明，争论可以一直打下去。

五年以后，这个换过的题目，会以一篇只有四页的论文的样子，在大西洋那一边突然落下来。那是下一章的事。

回头看 1930 年的这一回合，可以记下三件事。桌面上，玻尔守住了不确定关系，赢得漂亮，但他那天的论证后来被人挑出了毛病。爱因斯坦输了这一局，却没有输掉他的问题，只是把问题搬了家。而玻尔手里那把最锋利的刀，是从爱因斯坦的工具箱里拿的。

带走的话

一只盒子没打破规矩，却逼着两个人各亮出了底牌：玻尔亮的是爱因斯坦的广义相对论，爱因斯坦亮的是“全不全”这个新问题。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——玻尔守住了不确定关系，爱因斯坦不再主张它能被打破；但玻尔的论证后来被指不够严密，结论站住，路子有争议。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——玻尔手里拿着爱因斯坦的广义相对论（高处的钟走得快），用对方写下的那一半，拆了对方的盒子。

◆

06

第 6 章

1935 EPR：晴天霹雳和不到两个月

这一章的问题

一篇只有四页的论文，为什么让玻尔放下了手头的一切，又为什么进攻和防守的两个人，都没能把自己最要紧的那句话说清楚？

1935 年初夏，哥本哈根。据罗森菲尔德后来回忆，那篇论文传到研究所，像一道晴天霹雳。玻尔把别的工作统统放下，一心对付它。

玻尔对付一个问题的样子，前面说过：不是关起门来写，而是拉着人讲。这一回拉着的，就是罗森菲尔德。据他回忆，玻尔一听他转述完爱因斯坦的论证，立刻开始向他口授回应的提纲，可没多久就犹豫了，说不行，得从头再来，得把话说得清清楚楚；就这样一遍一遍，越弄越惊讶这个论证竟这样精巧。从日子上算：EPR 在 5 月 15 日刊出，玻尔的答文 7 月 13 日由编辑部收稿，10 月刊出。从论文刊出到答文收稿，不到两个月。

说它是晴天霹雳，是说它来得突然，不是说事先毫无征兆。1931 年夏天，埃伦费斯特写信告诉玻尔：爱因斯坦对他说，自己早就不怀疑不确定关系了，那只盒子“根本不是”冲着它去的。爱因斯坦的新用法是：光子飞出去以后，坐在盒子旁边的人还可以挑，要么称盒子，要么看钟，挑了哪一样，就能事后说出那个远去的光子的能量，或者它到达远方的时刻，一下都不用碰它。这已经是 EPR 的雏形。只是那一回，这道新题没有掀起多大的动静。

同一个时候，大西洋那一边的普林斯顿，论文的署名第一作者却对这篇论文并不满意。6 月 19 日，爱因斯坦写信给薛定谔，说出于语言上的缘故，文章是波多尔斯基在几次讨论之后执笔的，写出来以后，没有他原来想要的那么好，最要紧的东西被博学闷住了。他用的那个德文词，意思是学问、学究气，一层一层的学问堆上去，把他真正想说的那句话压在了底下。

这个场面值得多看一会儿。守的一方如临大敌，放下一切，用不到两个月去拆一篇论文。攻的一方却嫌自己的炮弹没造好，炮膛里装的不是他想装的那颗。一场争论走到最有名的一个回合，交锋的双方，一个觉得对方的话难懂，一个觉得自己的话没说出来。

1933 年，爱因斯坦离开德国，到了美国普林斯顿的高等研究院。这一段离开的缘由，史书写得很多，本书只记一件与本题有关的事：从这时起，他和玻尔之间隔了一片大西洋。1927 年、1930 年那种在同一栋楼里早饭出题、晚饭交卷的日子，不会再有了。两个人的争论，从饭桌上的面对面，变成了期刊上的隔空喊话。

隔空喊话和面对面，差别不小。在布鲁塞尔，爱因斯坦出的是一个画面，一只盒子、一道缝、一扇快门，玻尔可以拿起来翻来覆去地看，第二天当面指给他看哪里漏了。对方听不明白，可以追问；自己没说清，可以当场补一句。到了期刊上，这些都没有了。一篇文章印出来，就只剩下纸上的字。纸上的字是谁写的、写得清不清楚，就成了要紧的事。这一回合后来的许多误会，都跟这一变有关。

在普林斯顿，爱因斯坦身边有两位年轻的合作者，一位叫波多尔斯基，一位叫罗森。1935 年 5 月 15 日，美国的《物理评论》刊出了三人署名的论文，题目是一个问句：《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗？》后来人们用三位作者姓氏的头一个字母，把它叫作 EPR。

据研究者对书信的梳理，论文是波多尔斯基执笔写成的，爱因斯坦似乎没有审阅过最后的定稿。爱因斯坦信里说的“语言上的缘故”，一般理解为他的英文不够

用，让年轻人执笔并不奇怪；只是这一回，执笔的人把自己的一套写法也带了进去。

◆ 一、论文说了什么：先看画面

EPR 的思想实验，画出来并不复杂。

有两个小东西，先在一起碰了一下，有过一次交集，然后分开，一个往东飞，一个往西飞，飞得很远很远，远到这边做什么，照常理都碰不到那边。

因为它们碰过那一下，所以两个东西之间留下了一种固定的对应。量一量往东飞的那个的位置，就能算出往西飞的那个此刻在哪里；要是不量位置，改量往东飞的那个的动量，也就是它往哪个方向、以多大的劲在跑，就能算出往西飞的那个的动量。两样都能从东边推到西边，不用去碰西边那个一下。

接着，论文立了一条规矩，用来判断什么东西算“实在”。意思是：要是能在丝毫不去扰动一个东西的情况下，百分之百地预先说出它某一样的数值，那么这个数值就对应着一样实实在在的东西。这是整篇论文被引用得最多的一句。可研究者注意到，爱因斯坦此后自己讲这个论证，从没有再用过它，今天一般把它算在执笔者波多尔斯基的名下。

把这条规矩用上去：西边那个东西，我们一下都没碰，却能百分之百说出它的位置；换一个量法，一下都不碰，也能百分之百说出它的动量。那么照这条规矩，它的位置是实在的，它的动量也是实在的。我们在东边选择量哪一样，是我们的事，西边那个离得那么远，不会因为我们这边的选择而改变它自己是什么样子。所以它的位置和动量，应该同时都是实实在在的。

可是量子力学说，一个东西的位置和动量不能同时有确定的值，它的描述里，只容得下其中一样是准的。那就出了问题：一样东西实实在在地同时有两样，理论却只肯写下一样。理论漏了一半，所以它不完备。

要看清一点：EPR 没有说量子力学算错了。它算出来的每一个数，这三位作者都不反对。他们说的是，这套理论像那张只查了血、没查心电图的体检单，对是对的，可是不全。

◆ 二、分离原则：爱因斯坦心里那句话

那么，爱因斯坦嫌这篇论文把什么闷住了呢？

据研究者对他同年书信的梳理，爱因斯坦自己心里的那个论证，比发表出来的简单。它不需要“位置和动量同时都实在”那一层，也不需要那条关于“实在”的规矩。它只靠一条他认为比什么都硬的原则，通常叫作“分离原则”。

分离原则用大白话说，就是一句：离得很远的两样东西，各有各的实实在在的样子；在这一边做什么，改变不了那一边本来是什么样。

有了这一条，他的论证是这样走的。那两个碰过又分开的小东西，西边那个的实在状态，是它自己的事，跟我在东边量什么没有关系。可是按量子力学的写法，分开以后，西边那个根本没有一份单独属于它自己的描述，只有两个东西合在一起的一份描述。

等我在东边量了位置，量子力学给西边那个写下一种描述；要是我在东边改量动量，量子力学又给西边那个写下另一种描述。西边那个东西本来是什么样，并没有因为我在东边的选择而变；可是量子力学对它的描述，却跟着我的选择变了。同一个实在的东西，可以被写成两份不一样的描述，那就说明描述不是那个东西的全貌，只是它的一个影子。影子不全，理论就不完备。

这个论证干净得多。它只问一件事：远处那个东西，有没有它自己的一份。爱因斯坦认为当然有。如果远处的东西连自己的一份实在都没有，这边一动那边就跟着变，那在他看来，要么是有一种比光还快、却又看不见摸不着的牵动，要么是物理学根本没法把世界分成一块一块去研究。两样他都不能接受。

这里也看得出这条原则的来路。离得远的东西不能被这边瞬间改变，这个意思，跟他自己的相对论是一个脾气：没有什么能跑得比光快，远处的事要等信号到了才能受影响。分离原则，差不多是爱因斯坦一生的物理学的地基。他把它看得太理所当然，以至于在发表出来的论文里，这块地基反而没有被单独亮出来，只在推理中间一句带过：测量那一刻两个东西已经不再相互作用，所以对第一个做什么，第二个都不会发生真实的变化。

这个画面，爱因斯坦在论文发表前两年就当面讲过。据罗森菲尔德回忆，1933年他在布鲁塞尔做了一次报告，爱因斯坦来听，会后问他：你对下面这种情形怎么看？两个粒子迎面飞来，在一个知道的地方很快地碰一下，又各自飞远；一个观察者在远处抓住其中一个，量它的动量，就能推出另一个的动量；要是改量位置，就能说出另一个在哪里。

爱因斯坦说，这是从量子力学里规规矩矩推出来的，可难道不很古怪吗？两个东西早已不再相互作用，第二个的状态怎么会被第一个上的测量左右？罗森菲尔德记得，那时爱因斯坦已经不怀疑玻尔论证的逻辑，只是心里还有那份“不自在”。

说一个理论不完备，言下之意是：在它底下，还有一层更细的东西没被写出来。那一层是什么，EPR 没有说。但不妨从爱因斯坦自己年轻时的一件工作，来理解他盼的是什么。

1905 年，他写过一篇讲布朗运动的论文。花粉一类的小颗粒泡在水里，会不停地乱抖。在他之前，讲热的学问已经很成熟，温度、压强这些量，用一套平均的说法就能算得很好，许多人觉得没有必要去问水到底是不是由一颗一颗的分子组成。爱因斯坦偏偏从那一阵乱抖里，算出了一颗一颗分子撞来撞去该留下什么痕迹，后来被实验证实。平均的说法对是对的，可是在它底下，还有一颗一颗实实在在的分子，平均说法没有写它们，只写了它们的总账。

不妨这样理解他对量子力学的期望：量子力学也许就像那套讲热的平均说法，对，而且好用，可它写下的只是一大群东西的总账；在它底下，每一个小东西应该

各有各的实在，只是还没有人找到写下它们的办法。找到了，量子力学就会像热的学问那样，成为一个更深理论的平均版本。这是本书对他期望的一种读法，不是他的原话。

后来的物理学家，把这种设想中“底下那一层”的东西叫作隐变量，意思是藏着的、还没被写进理论的量。关于它，这里只需要知道一件与 EPR 同年的小事。早在 1932 年，数学家冯·诺依曼给出过一个证明，许多人以为它说明了隐变量不可能存在。1935 年，德国女数学家、哲学家格蕾特·赫尔曼指出，这个证明里有一处假设站不住。她的意见在当时几乎没有人理会，直到 1966 年，贝尔再一次把这个漏洞指了出来。也就是说，在 EPR 发表的那一年，“底下还有一层”这条路，其实并没有被堵死，只是大家以为它被堵死了。

这件事在表面之争里是一个不起眼的注脚，但它说明了一个态度：一场争论里，“已经被证明不可能”这句话，本身也要拿出来核一核。王德生立的判读纪律说，没查到，不等于没发生。这一条对物理学家也适用。

◆ 三、一个家常的样子：介绍人两头传话

这个回合不好懂，不妨放到一件很多人家都经历过的事里去看。

设想县城里有一位热心的齐阿姨，做了几十年红娘。这一回，她给江东一户人家的儿子和河西一户人家的女儿牵线。两个年轻人见过一次面，一起吃了一顿饭，饭桌上说好了两件事：将来在哪里买房，男方家怎么定，女方家就怎么依；彩礼的事，男方家怎么提，女方家就怎么应。吃完饭，一个回江东，一个回河西，隔着一条江。

齐阿姨年纪大了，腿脚不便，那几天只来得及往江东跑一趟。她在江东问的是买房。江东那家说，在县城买。齐阿姨回到家，跟老伴说：河西那家不用去了，我都知道了，他们会说也在县城买。

老伴问她：你没去河西，怎么就知道？

齐阿姨说：饭桌上说好了的嘛。河西那家人对买房的主意，本来就在那里，我去不去，都在那里。我是在江东问的，又没跑到河西去跟他们嚼舌头，我在江东说什么，改不了河西人家心里怎么想的。

老伴又问：那彩礼呢?

齐阿姨说：彩礼我这一趟没问。要是我在江东问的是彩礼，我照样不用去河西，就知道河西会怎么应。所以河西那家对买房、对彩礼，心里都有一个实实在在的主意，只不过我一趟只能问一件，我这个小本子上就只记下了一件。是我的本子记得不全，不是人家心里没主意。

这就是爱因斯坦的立场：远处那一家，各有各的实在；我这边的一问，改不了那边；我记下的不全，是我的办法不全。

老伴听了，不紧不慢地说了一段话，说得有点绕。他说：你在江东问了买房，你就能说出河西对买房会怎么答；你要是在江东问的是彩礼，你能说出的就是河西对彩礼会怎么答。你往江东跑的那一趟，没碰着河西一根头发，这我承认。可是你打算问哪一件，就定了你能对河西说出哪一句话。离开你这一趟怎么跑、怎么问，河西那家“心里本来的全部主意”，你是说不上来的，你那个本子也没法替它记。

这就是玻尔的立场：没有什么东西从这边跑过去碰了那边，可是这边怎么安排，定下了能对那边说出哪一种话；把安排拿掉，去问那边“本来的全部”，这个问题本身就说不清。

两个人争到这里，谁也说服不了谁。齐阿姨觉得老伴在绕，老伴觉得齐阿姨把“我能说出什么”和“人家本来是什么”混在了一起。

这个故事还可以再添一笔。齐阿姨第二天真去了河西，去之前，她先把要说的话在心里过了一遍：先讲县城这几年的房价行情，再讲江东那家的门第、男孩子的单位，再讲老辈人的规矩，讲八字，讲礼数。一路铺垫下来，她最想问的那一

句“姑娘到底愿不愿意”，被压在了一大堆话底下，河西那家听了半天，没听出她要问什么。回来一说，老伴笑她：你这一肚子学问，把要紧的那句话闷住了。

家常故事总有它说不到的地方，这一个也是。人心会被问话改变，问一句就可能让对方改了主意，这是实实在在的扰动；而玻尔在回应里特意说了，他讲的不是这种扰动。齐阿姨两口子的争论，只帮读者看清两个立场的形状，不说明小东西的世界真是这样。小东西的世界到底是哪一种形状，要等三十年后一个叫贝尔的人把它变成一道能在实验台上回答的题，第8章和卷五会讲。

◆ 四、不到两个月的答辩

回到哥本哈根。

1935 年 10 月，玻尔的回应发表在同一份《物理评论》上（7 月 13 日收稿），题目和 EPR 一字不差，也是那个问句。一个问题，两篇同题的文章，答案相反。

玻尔的回应，要紧的意思可以拆成三层来讲。

第一层，他承认一件事：在 EPR 那样的安排里，东边的测量，确实没有以机械的方式去扰动西边那个东西。没有什么东西飞过去碰了它。这一步让得很大方，说明他不是在狡辩。

第二层，他接着说：可是东边怎么安排仪器，影响的是“能对西边那个东西将来的行为做出哪一类预言”的那些条件。量位置要一套仪器，量动量要另一套仪器，两套仪器互相排斥，同一时刻只能摆一套。你摆了量位置的那一套，你就只能对西边做位置方面的预言；另一类预言，在这一套安排下根本没有立足的地方。

第三层，由此他说，EPR 那条“丝毫不扰动”的规矩，里面的“扰动”一词是含糊的。机械的扰动没有，条件上的影响有。一旦把整套实验安排算进现象里，EPR 说的“同时都实在”，就没有一个能被说出来的意思。量子力学在它能说出的范围里，已经说全了；再往外要，要的是一个说不出来的东西。

这三层，是今天的研究者费力读出来的。玻尔原文的句子长，一句套一句，关键的地方用的是很抽象的词。十四年以后，玻尔在 1949 年那篇长文里回头重读这几段，自己也承认，当年的表达不够得力，一定让读者很难看出论证的走向。据研究者引用，这是他本人的反省。

玻尔这一招，拆开看，戳的是 EPR 论证里最细的一处缝。EPR 其实并没有同时量西边那个东西的位置和动量，谁也做不到。它说的是：我本来可以量位置，那样就能说出西边的位置；我本来也可以量动量，那样就能说出西边的动量；两个“本来可以”加在一起，就说西边两样都实在。

玻尔不认这个加法。在他看来，“本来可以”只能一个一个地兑现，你兑现了这一个，另一个就连同它所需要的那套仪器一起消失了；把两个互相排斥的“本来可以”合成一个“同时都在”，等于把两张不能同时摆上桌的菜单，硬拼成了一桌菜。

一个一辈子要求把实验说得清楚无歧义的人，在他一生最重要的一篇答辩里，自己没能说得清楚。这件事，卷三会专门来读。

◆ 五、两个人都没把最要紧的话说清楚

这一回合的桌面之争，当时怎样收场，说法不一。一般认为，当时多数物理学家要么觉得玻尔已经答复了，要么觉得这个问题不影响他们算原子、算分子，照样用量子力学干活。爱因斯坦没有被说服。第二年，他在《物理学与实在》一文里，继续讲量子力学的描述不完备。

放到今天看，这一回合比表面上复杂。EPR 抓住的东西是真的：远处两个东西之间那种固定的对应，量子力学确实预言了，后来的实验也确实看到了，它成了物理学里最真的问题之一。可是 EPR 从这件事推出的那个结论，也就是“远处那个东西各有各的实在，这边改变不了那边”，三十年后被贝尔变成了可以检验的

题，又在后来几十年的实验里，被判了负。玻尔那边呢，他守住了量子力学不改一字，可是他那句“说全了”，也从来没有被证明过。第8章会把这一笔账算清楚。

这里只记下一个更有意思的现象：在这一回合里，进攻的一方和防守的一方，都没把自己最想说的话说出来。

爱因斯坦最想说的，是那条分离原则，是“远处的东西有它自己的一份”。这句话被执笔者的学问压在了底下，发表出来的是一个更绕、更容易被挑毛病的版本。玻尔最想说的，是“把整套安排算进现象里，就没有脱离安排的‘本来’”。这句话被他自己的长句子压在了底下，发表出来的是一篇连他自己后来都嫌难读的文章。

为什么两个都以思想深刻出名的人，会在同一回合里同时说不清？细看两人各自说话的习惯，能看出一点端倪。

爱因斯坦最得力的时候，是靠画面想问题的。追着一束光跑会看见什么，一个人在封闭的升降机里分不分得清是在加速还是在受引力，一只挂在秤上的盒子放走一个光子会怎样，这些都是先有画面，后有道理。他心里那条分离原则，本来也是一个画面：两个东西各在一边，这边的手伸不到那边。这样的画面，一说就懂。可是 EPR 发表出来的样子，是一套推导和一条关于“实在”的规矩，画面被换成了一层学问的外衣。他嫌的“博学”，正是这层外衣。

玻尔正相反。他一辈子要求的，是用日常语言把实验说得清楚无歧义，因为在他看来，不管理论多抽象，最后总要落到一个人能在实验台前指着说“指针在这里”的话上。可是他自己想问题的方式，是边说边改、一层一层往上加限定，每加一层都是为了更准，加到最后，句子准是准了，读的人却跟不上了。他要别人说得清楚，自己的准确反而把清楚挤掉了。

这两种习惯，都是他们各自的长处，放在别的地方都成就过大事。只是在 1935 年这一回合里，长处恰好变成了障碍：一个的画面被别人的学问盖住，一个

的准确把自己的清楚挤掉。卷二、卷三会分别从这里读下去，这里先记下这个巧合。

还有一处可以先记一笔，留待卷四细读。EPR 这把刀是用什么打的？用的是两个碰过的东西之间那种“这边量了、就能推出那边”的对应，说到底是一种统计上的相关。爱因斯坦成名靠的正是涨落和统计，这是他活过、却不肯写进自己世界图景的那一半。在他这一侧，刀确实来自自己活过的那一半，算得上交叉。

玻尔的答辞，靠的是“整个实验安排是一个现象”，这是他写下的那一半，不是从活过的那一半里拿来的；只有那篇答辞的难懂，又落回他活过的“边说边改、说不清楚”。所以这一回合在玻尔一侧，只能算半交叉。这是本书的初读，以卷四第23章的逐一检验为准。

◆ 六、薛定谔插进来的一个词

EPR 发表以后，还有一个人被它打动了，就是薛定谔。1935 年夏天，他和爱因斯坦书信往来，讨论这篇论文说的那种情形：两个东西碰过一次以后，分开多远，都只能合在一起描述，不能拆成各自的一份。

给这种情形一个正式的名字，是在薛定谔同年发表的论文里：一篇登在剑桥哲学学会的会刊上，一篇登在德国的《自然科学》上。他用的德文词是 Verschränkung，英文写作 entanglement，中文通译作“纠缠”。后来家喻户晓的那只猫，也是在《自然科学》那篇论文里写出来的；而在两人的通信里，爱因斯坦用过一桶会自己燃爆的火药做类似的例子。

这个词、这只猫和那桶火药，本书放到卷五第30章去细讲。这里只说一句提醒：物理学里的“量子纠缠”，和本书用 SDE 读人时说的“特征纠缠”，不是一回事。前者是两个小东西合在一起才有一份描述，后者是一个人脚下那片地里各种东西缠在一起、谁也离不开谁。两者说的对象不同，形状却相像：都是说，有些东西一旦缠在一起，就不能再拆成各自独立的两份去讲。

一场争论吵到这里，吵出了一个新词。这个词不是 EPR 的作者起的，也不是玻尔起的，是第三个人从两人的交锋里拣起来的。它将是这本书的最后一个主角。

带走的话

一篇四页的论文逼出了一个真问题，攻守两方却都没把最要紧的那句话说清；说清它的，是后来的一个词和三十年后的实验。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——当时多数人觉得玻尔答复了；今天看，EPR 提的问题是真的，它的结论“远处各有各的实在”后来被实验判负，玻尔的“说全了”也没被证明，这一局没有干净的赢家。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——初读，半交叉：爱因斯坦的刀取自他活过的统计相关；玻尔的答辞站在自己写下的“整个安排是一个现象”上，只有文字的难懂落回他活过的一半（以第23章为准）。

◆

07

第 7 章

各自的余生：普林斯顿的独行，哥本哈根的学派

这一章的问题

EPR 以后两个人再没有当面交过手，各自的后半生朝两个方向走开，为什么最后留在各自黑板上的东西，偏偏是那样两样？

1955 年 4 月 18 日，爱因斯坦在普林斯顿去世，终年七十六岁。他去世后，有人给他办公室拍了照片，照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张。照片上，他那块黑板上还留着他写下的式子。

七年半以后，1962 年 11 月 18 日，玻尔在哥本哈根去世，终年七十七岁。前一天，他还在接受库恩等人关于物理学史的访谈。去世前夜，他的黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦 1930 年的光子盒。

两块黑板，两份最后的笔迹。本章从普林斯顿那一块讲起，到哥本哈根那一块收住。中间是两个人的二十多年：一个越走人越少，一个身边总是很多人。

◆ 一、普林斯顿的独行：一片场、一轮月亮和一个鬼魅

从1925年前后起，一直到去世，爱因斯坦把最多的力气花在一件事上：找一个统一场论。

用大白话说，他想找一套方程，把引力和电磁这两样看起来不同的东西，写成同一整片场的不同样子。广义相对论已经把引力写成了时空这片“场”的弯曲，他盼着电磁也能从同一片场里长出来。要是成了，世界就是一整片连续的场，一颗一颗的粒子只是场里格外浓的地方，而那些让他不安的偶然和跳跃，也许就能从一个更深、更严格的方程里被解释掉。

这件事他做了三十年，没有成功。一个方案试了，不行，换一个；又不行，再换。这期间，物理学的主流去了别的方向：原子核、新的粒子、用量子力学去算越来越多的东西。年轻人忙着干活，很少有人来关心普林斯顿那位老人在算什么。他逐渐和主流隔绝了。

他为什么不肯放下？从他的书信里，能看出一点他心里的那股不甘。1951年12月，他写信给老朋友贝索，说自己有意识地想了五十年，还是没有更接近“光量子到底是什么”这个问题的答案；如今人人都以为自己知道了，其实他们都错了。这时他已经七十二岁。

1905年正是他第一个把光说成一颗一颗的，将近五十年后，他说自己仍然不知道那一颗一颗到底是什么。一个在别人眼里早已功成名就的人，在自己心里始终觉得题还没做完。统一场论，就是他为这道没做完的题找的出路：要是光和物质都能从同一片场里长出来，那一颗一颗的光，也就有了一个说得清的来历。

这一段，卷二第14章会细读，那一章的题目叫“理论反噬”。这里只记一句：一个靠一颗一颗的光、靠涨落和统计成名的人，晚年把全部力气押在了一整片、没有偶然的场上。

独行的日子里，他对量子力学的疑问没有停，只是换成了几句越来越短、越来越好记的话。

1947 年 3 月，他写信给老朋友玻恩，说量子力学的那种描述，意味着一种“鬼魅般的超距作用”。这话是冲着 EPR 那种情形说的：两个东西离得老远，这边一量，那边的描述就跟着变。在他看来，一个理论要是非得靠这样一种远距离、没有中介、说不出是什么的牵动才能自圆其说，那它就还没说完。这句话后来成了整个题目最出名的一个外号。

晚年，他和年轻的物理学家派斯一起散步时，问过派斯一个问题。据派斯回忆，大意是：你真的相信月亮只在你看它的时候才在那里吗?

这句话把他一辈子的立场压成了一个画面。一轮月亮挂在天上，没有人看，它在不在？对他来说，答案是不用想的：当然在。物理学要写的，就是这个不管有没有人看都在那里的世界。如果一个理论让人觉得非得先问“有没有人看”，才能说东西在不在，那毛病一定出在理论上，不在月亮上。

1949 年，他在一本文集里把这层意思写得更系统：量子力学的描述，更像是对一大群同样准备出来的东西所做的统计，而不是对单独一个东西的完整描述。统计可以很准，但它是总账，不是每一笔的明细。那本文集下一节讲。

这几句话，一句比一句短，一句比一句像画。越到晚年，他越不去设计装置，越是用一个画面把问题摆在那里。

◆ 二、同一本书里的两篇文章

1949 年，美国哲学家席尔普编了一本书，名叫《爱因斯坦：哲学家—科学家》。书里约了许多学者，各写一篇文章讨论爱因斯坦的思想，最后由爱因斯坦本人写一篇《答评论》，一一回应。

玻尔为这本书写了一篇长文，题目是《就原子物理学中的认识论问题与爱因斯坦的讨论》。他把二十多年来两人的交锋从头讲了一遍：1927 年的索尔维，1930 年的光子盒，1935 年的 EPR。前一章说过，光子盒就是在这篇文章里被他画成了一台带弹簧、指针、刻度和调零小砝码的机器。也是在这篇文章里，他对那段流传极广的“上帝掷不掷骰子”的对话，给出了他自己的版本：他当年是提醒要谨慎，不要用日常语言给天意安上什么属性。这比后来流传的那句“别替上帝规定该怎么做”要委婉得多。

这篇文章写得很长，很郑重，读得出一种敬意。一个人肯把另一个人二十年来给他出的难题一道一道重新摆出来，再一道一道重新作答，这本身就是把对方当成了最值得的对手。

爱因斯坦在《答评论》里回应了包括玻尔在内的各位作者。他没有被说服，也没有改变立场，仍然认为量子力学的描述是不完备的。

不过他对玻尔的回应，有一处值得记下。说到 EPR，他写道，在他知道立场的那些“正统”量子理论家里，玻尔的看法最接近于公正地对待这个问题。接着他用自己的话把玻尔的意思重述了一遍，把局面摆成一个二选一：要么承认量子力学的描述是完备的，要么承认相隔很远的两个东西各有各的实在、互不相干，两样不能都要。

玻尔守前一样，爱因斯坦守后一样。他说得很明白，自己宁可把量子力学的描述看成上一节说的那种总账，也不放下后一样。一场吵了二十年的架，到这里被一方用对方也会点头的话，摆成了一道清清楚楚的选择题。

于是就有了这样一本书：两个人在同一本书里说话，一个在中间的篇章里，一个在书的开头和末尾，开头是爱因斯坦的《自述》，末尾是他的《答评论》。两篇文章彬彬有礼，互相都很认真。可是读完了会发现，谁也没有往对方那边挪一步。这不是冷淡，是两个人都太清楚自己站在哪里了。

三、哥本哈根的学派

这二十多年，玻尔的日子是另一种样子。他身边总是很多人。

他的研究所1921年就在哥本哈根落成了，得到了嘉士伯基金会等方面的资助。1932年起，他一家住进了嘉士伯的“荣誉府邸”，那是嘉士伯基金会留给丹麦一位最受敬重的学者或艺术家终身居住的宅子。研究所和府邸，成了二十世纪物理学最热闹的地方之一，各国的年轻人来来往往，在那里争论、散步，也在那里学会了一种看量子力学的方式。

世道变坏以后，这片地也成了避风的地方。1933年起，玻尔参与救助被纳粹驱逐的学者，帮他们在别处找到位置。1939年，他和美国物理学家惠勒一起写出了原子核裂变的理论。1943年9月，他在丹麦处境危险，渡海逃到瑞典，又被安排坐进一架蚊式轰炸机的弹舱飞到英国，后来化名“尼古拉斯·贝克”到了美国的洛斯阿拉莫斯。1944年，他见丘吉尔，想谈战后原子武器的事，两人不欢而散。这一段的更多内容与本书主题无关，只记下这些公开的事实。

战后，1947年，丹麦授予他大象勋章，这是丹麦最高的勋章，多半授给王室成员和外国元首。按惯例，受勋者的纹章要挂进腓特烈堡宫，玻尔家原本没有纹章，他就自己设计了一枚。他选的图案是中国的太极图，铭文是一句拉丁文，意思是“对立即互补”。1950年6月，他写了一封致联合国的公开信，主张一个“开放世界”：各国之间交换知识，互相开放，不要把科学关进各自的保险柜。

这是一个把“开放”讲给全世界听的人。

也是在这二十多年里，他的看法逐渐成了教科书上的标准说法，后来被叫作“哥本哈根诠释”。据他的助手彼得森1963年回忆，玻尔说过一个意思：没有一个量子的世界，只有一种抽象的量子物理的描述。物理学不是去说自然本身是什么样，而是去说我们关于自然能说出什么。这句话，和爱因斯坦那轮没人看也挂在天上的月亮，正好站在两头。

用大白话说，这种读法的意思大致是：别去问一个小东西在两次测量之间“到底”在哪里、在干什么，那个问题说不出有意义的答案；量子力学是一套工具，告诉你在一种安排好的实验里，会看到什么结果、各有多大的可能。问题要问到仪器上，答案也落在仪器上。公允地说，这种读法有它硬的地方：它从不许诺它做不到的事，而量子力学在它划定的范围里，从来没有算错过。它的软处也在这里：它把“世界本来是什么样”这个问题关在了门外，而有些人偏偏最想问的就是这个。

学派大了，门也就有了门槛。1952 年，美国物理学家玻姆提出了一个理论，让每个小东西都有确定的位置、沿着确定的路走，量子力学的所有预言照样算得出来，只是它需要一种远距离的牵动。哥本哈根一方对它反应冷淡，甚至敌视，罗森菲尔德尤其激烈。

1959 年春天，年轻的埃弗雷特到哥本哈根住了约六个星期（另有约两个月一说），就他 1957 年提出的另一种读法同玻尔谈过，毫无结果。那时他已经在美国国防部门做运筹分析，此后再没有回到物理学研究；罗森菲尔德后来在信里提到他时，极不客气。这两段只点到这里，卷三第19章会细讲。

一个给全世界写信讲开放的人，他的学派对不同的读法关着门。这一道缝，也放到卷三去读。

被关在门外的问题，并没有就此消失。它们在门外等着，等到两位主角都不在了，又被人带回了屋里。玻姆那个被冷落的理论，恰恰说明了一件事：冯·诺依曼那个“不可能有隐变量”的证明，并没有像大家以为的那样把路堵死，一个能算出全部量子预言、又让每个小东西都有确定去向的理论，是写得出来的，只是它要付出远距离牵动的代价。

十几年后，一位叫贝尔的物理学家顺着 EPR 和玻姆留下的这条缝往下追，追出了一道能在实验台上回答的题。普林斯顿那位独行者的疑问，和哥本哈根门外那几位被冷落的人，就这样在他们身后接上了头。这是卷五第31章的故事，这里先记下：独行不等于没有下文，关门也不等于问题被关掉了。

◆ 四、这二十多年，谁在变

把两个人的后半生并排放，还能看出一件不那么显眼的事：这二十多年里，两人各自都在动，可动的都不是地基。

爱因斯坦换过很多个统一场论的方案，一个接一个地试，可是他要的那个世界没有变：一整片场，严格的因果，不依赖有没有人看。他批评量子力学的话越说越短，从装置到论文，再到月亮和鬼魅，可是批评的方向从 1926 年那封“他不掷骰子”的信起，就没有变过。

玻尔改过无数遍稿子，每一回应对一个新难题，他的答辞都比上一回更细、更周到，1949 年那篇长文就是把二十年的答辞重新磨了一遍。可是他那句“把仪器算进现象，别问仪器之外的本来”，从 1927 年科莫讲演起，也没有变过。

一个换方案不换世界，一个改答辞不改框架。两个人都极勤奋，都不停地修，只是修的都是自己框架里面的东西。争论本身给他们各自带来的新东西，比如那个后来叫作“纠缠”的情形，两个人都没有拿回去改自己的地基。这一点，是本书第五条判决“没有结局是因为缺回写”的来历，卷四第29章会专门读。

◆ 五、一个家常的样子：广场舞的两位领队

两个人的后半生，放到一个小城的广场上来看，是这样的。

设想城南的公园里，原先有一支广场舞队，两位领队，一位叫老孟，一位叫老柳。两人跳了很多年，互相佩服，也常为跳什么曲子争。老孟嫌现在流行的那些曲子节拍乱，东一下西一下，没有章法；他相信所有好听的舞曲底下都有同一套步子，只要找出来，一套步子就能跳遍所有曲子。老柳不管底下有没有那一套，她说，曲子来了就跳，跳得齐、跳得开心就好，别的不用问。

后来争得多了，队伍分成了两拨。

老孟带着三四个人，去了公园最里头那块空地。他每天琢磨他那一套“总步子”，今天改一个转身，明天换一个手势，一改就是好几年。老姐妹们来来去去，最后常常只剩他一个人对着一台旧音箱比画。偶尔有路过的人停下看看，看不懂，又走了。

老柳那一拨越来越大。她人热心，谁来都欢迎，新搬来的、刚退休的、带着孙子来的，她都拉进队伍，还带着队伍去外面比赛、去别的小区交流。可是她那支队伍，只跳一种编排。有年轻人建议换个跳法，她笑着说好好好，下次再说，下次也没再说。一位跳得很好的老姐妹自己编了一段新的，想在队里试试，队里几个骨干不太高兴，她后来去了别的公园。

可是有一件事很有意思。每年年底队里联欢，老柳总要把当年老孟编的那几段老步子拿出来，一板一眼地教给新来的人，一边教一边讲当年两人怎样为这几段争得面红耳赤。她说，没有那几段，就没有后来的这支队伍。

这个故事和两个人的后半生同构。老孟嘴上信的是一套管住所有曲子的总步子，这是爱因斯坦的统一场论；他越来越孤单，却一直没有放下，这是普林斯顿的独行。老柳嘴上讲的是来者不拒、跳得开就好，这是玻尔的开放；她的队伍只认一种编排，对别的跳法客客气气地关门，这是学派的门槛。而她每年年底联欢，还在教老孟的步子，这就是下一节要讲的那块黑板。

◆ 六、两块黑板

回到本章开头的两块黑板。

普林斯顿那一块上，留着爱因斯坦最后在算的东西。三十年来他念念不忘的，是一整片场。他一生最漂亮的几次突破，靠的是一颗一颗的光、一阵一阵的涨落、观察者之间的对表，可是走到最后，他黑板上写的，是他理论里那一半：一个统一的、严格的、没有偶然的世界。他自己在 1916—17 年亲手放上桌的那一粒骰子，他留给了别人去掷。

哥本哈根那一块上，去世前夜留下两幅草图，其中一幅是一只盒子，正是1930年爱因斯坦在布鲁塞尔画给他的那只光子盒：一只钟，一扇快门，一杆秤。为什么画、画给谁，没有留下记载。三十二年过去了，爱因斯坦也已经去世七年，这只盒子还在他的黑板上。

一块黑板上，是一个人自己的理论；另一块黑板上，是对手的难题。独行的那一位，到最后只跟自己的方程在一起；门前总是很多人的那一位，最后的黑板上留着的，还有那个不在了的老对手出的题。

这两块黑板，本书结语会再回来看一次。

带走的话

后半生，一个人越走越孤单，一个人身边总有人；可最后的黑板上，一个写着自己的场，一个留着对手的盒子。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——人数和教科书上，玻尔的学派占了上风；爱因斯坦越来越孤单，但他留下的“鬼魅般的超距作用”和“月亮在不在”两问，一个也没被答掉。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——玻尔直到最后一天，手里还拿着爱因斯坦的盒子；爱因斯坦手里只剩自己写下的那一整片场，把自己亲手放上桌的偶然，留给了对方。

◆

08

第 8 章

表面之争计分板

这一章的问题

照今天物理学的共识，把两人争了三十五年的几道题逐一计分，到底谁赢了？

2022 年秋天，诺贝尔物理学奖公布，授给了三位实验物理学家：法国的阿斯佩、美国的克劳泽、奥地利的蔡林格。获奖理由说的是，他们用纠缠的光子做实验，确立了贝尔不等式被违反，并开创了量子信息科学。

不妨想象那几天的新闻标题。有的写“爱因斯坦错了”，有的写“玻尔终于赢了”，有的写“鬼魅般的超距作用被证实”。这三种标题各对了一点，也各错了一点。说爱因斯坦错了，要问错在哪一句；说玻尔赢了，要问他赢了哪一句；说鬼魅被证实，要问这个鬼魅能不能替人送信。

这一章做一件朴素的事：把表面之争里的几道题分开，一题一题地记分。

◆ 一、计分的三条规矩

先立规矩，免得计分变成站队。

第一条，照今天物理学的共识说话，不照本书的偏好。共识没定的，就写“悬着”，不替物理学家做决定。

第二条，分题计分，不算总分。一场争论里有好几道题，一个人可能这道输了、那道没输，把它们加成一个总分，会把最有意思的东西抹掉。

第三条，分清三种情形：被实验判了的，被证明了的，和至今悬着的。被实验判了，是说自然界已经给过答案；被证明了，是说在数学和逻辑上已经说定；悬着，是说实验和证明都还不能在几种读法之间分出高下。

两人争的，归起来大致是四道题：决定论、完备性、实在性、定域性。下面一道一道来。

◆ 二、四道题，一题一题记

第一题，决定论。问的是：世界最底下，是一因一果、一步一步严格定下来的，还是有些事只有可能、没有必然?

爱因斯坦站前一边，“他不掷骰子”。玻尔一方认为，量子力学给出的概率不是无知的遮羞布，而是基本的，单个事件什么时候发生、朝哪边发生，没有更深的原因。

今天的情形是：标准的量子力学，确实只给概率，而且这些概率被实验验证得极好。可是这并不等于决定论被推翻了。1952 年玻姆写出的那个理论，是决定论的，每个小东西都有确定的去向，它照样算出了量子力学的全部预言。多世界的读法，也就是埃弗雷特那一路，也把整个世界的演化写成严格确定的，偶然只出在“我们发现自己在哪一支”上。这几种读法，现有的实验分不出高下。

计分：悬着。爱因斯坦没输，玻尔也没赢。

第二题，完备性。问的是：量子力学说全了没有?

爱因斯坦说没有，底下应该还有一层；玻尔说说全了，再往外要，要的是说不出来的东西。

今天的情形分两半。一半是：冯·诺依曼 1932 年那个“不可能有隐变量”的证明，1935 年被赫尔曼指出有漏洞，1966 年又被贝尔指出，所以“底下不可能再有一层”并没有被证明，玻姆的理论就是一个现成的反例。另一半是：贝尔后来又证明，底下那一层如果有，它就不可能是爱因斯坦想要的那种“各在各处、互不牵动”的样子。

计分：玻尔方没赢，“说全了”从来没被证明；爱因斯坦方也没赢，他心里那种补法被堵住了，别的补法还开着。

第三题，实在性。问的是：没有人看的时候，月亮在不在？也就是，东西在被测量之前，有没有它自己确定的样子？

爱因斯坦说当然在；哥本哈根一路说，这个问题问到了仪器之外，说不出意思。

今天的情形是：单说“实在”，并没有被实验判掉。玻姆的读法里，小东西一直都有确定的位置；多世界的读法里，那个包含一切的描述本身就是实在的。被判掉的，是另一样更窄的东西：各个东西各自带着自己的一份实在，而且这一份不受远处的牵动。这一样要和下一题合起来看。

计分：悬着。只有一个更窄的版本被判了负，放到下一题里记。

第四题，定域性。问的是：离得很远的两样东西，这边做什么，能不能不经过任何中介、瞬间影响那边的情形？

这是 EPR 的核心，也是爱因斯坦那条分离原则。他的回答是不能。

这一题，是四道题里唯一被实验判了的。1964 年，贝尔把爱因斯坦的立场写成了一条可以检验的界线：要是远处各有各的实在、互不牵动，那么两边测量结果之间的对应，强不过某个限度。量子力学预言，纠缠的两样东西，对应能超过这个限度。1969 年，克劳泽、霍恩、希莫尼、霍尔特四人把这条界线改写成了实验室里能做的形式，后来取四人姓氏的头一个字母，叫 CHSH。

1972 年，弗里德曼和克劳泽做出了第一批实验；1982 年，阿斯佩的实验把检验做得更严，他让两边仪器的设置在光子飞行途中才换，免得两边来得及“串通”；2015 年，荷兰代尔夫特、奥地利维也纳和美国国家标准与技术研究院几个团队，各自做出了堵住主要漏洞的实验。结果一次又一次站在量子力学这边：界线被越过了。

所谓漏洞，主要有两个。一个是两边离得不够远、换设置不够快，理论上还来得及用比光慢的办法互通消息，那就不算真正考住了“互不牵动”。一个是探测器漏掉的粒子太多，测到的那一部分未必是公平的样本。早年的实验总要堵住一个、放过一个，2015 年那几次才把两个一起堵上。计分之所以敢在这一题上写“判负”，靠的就是这一步：不是一次实验说了算，是半个世纪里越堵越严的一串实验说了算。

所以，“各在各处、各有各的实在、这边改不了那边”合在一起的那个立场，物理学家叫它定域实在论，被实验判了负。这是爱因斯坦方实实在在输掉的一题。

但还要补一句公道话，免得把这一题讲过了头。纠缠两边的对应虽然超过了界线，却没法拿来送信。你在这边量，只会得到一个看起来完全随机的结果，要把两边的记录拿到一起比，才看得出对应，而拿到一起，还得靠普通的、不快过光的办法。鬼魅是有的，可它不替人传话。爱因斯坦最担心的那种比光还快的信号并没有出现，他的相对论毫发无损。

至于玻尔，他的框架与这些实验结果相容，但他从没有提出过这样的检验，也没有给出过“为什么两边会这样对应”的说明。计分：爱因斯坦方输；玻尔方算不上赢下这一题，只能说他站的那一边没有被判负。

◆ 三、一张计分表

把四题摆在一起，再加上一道两人都没怎么正面去碰、却一直在桌下的题：测量问题，也就是测量那一刻到底发生了什么，为什么一个只有可能性的描述，一量就变成了一个确定的结果。

题目	爱因斯坦的立场	玻尔的立场	今天的情形	计分
决定论	世界底下严格因果	基本过程只有概率	玻姆、多世界等决定论读法仍与实验相容	悬着
完备性	没说全，底下还有一层	已经说全	隐变量没被证明不可能，但不能是定域的	双方都没赢
实在性	月亮不看也在	问到仪器之外无意义	单说实在未被判；更窄的版本见下一行	悬着
定域性	远处各有各的实在，互不牵动	未正面主张，框架与结果相容	定域实在论被贝尔检验判负；但不能超光速送信	爱因斯坦方输
测量问题	未解决	未解决	至今各派读法不一	两人都没解决

一句话概括这张表：表面之争没有一个总赢家。爱因斯坦输了一题，玻尔一题也没有干净地赢，两题悬着，一题两人都没解决。

◆ 四、四种今天的读法，各一句公道话

今天讲量子力学，有好几种读法同时在用。它们对上面那些题的回答不同，但算出来的实验结果一样。各给一句公道话。

哥本哈根一路，公道话是：它从不许诺做不到的事，在它划的范围里从没算错，大多数教科书至今从它讲起。

玻姆一路，公道话是：它证明了“一个能算出全部量子预言的决定论理论”是写得出来的，它付出的代价是公开承认远距离牵动，不藏着。

多世界一路，公道话是：它不需要在测量那一刻另立一条特殊的规矩，整个世界只按一条方程走，代价是要接受世界不断分出许多支。

退相干的研究，严格说不是一种读法，而是一套计算。它说明了为什么大东西和周围环境一碰，就很快显得像是只有一个确定的样子。它没有独自解决测量问题，但把问题的边界画清楚了许多。

还有一种态度，常被概括为“闭嘴，算吧”。这是物理学家默敏 1989 年在一篇文章里说的一句带几分挖苦的俏皮话，常被误归到费曼名下。它的公道话是：大多数物理学家每天就是这样干活的，而且干得很好。

◆ 五、一个家常的样子：三十年后的回放

计分这件事，在球迷那里最常见。

设想县城有两位老球迷，一位姓唐，一位姓彭，年轻时一起在录像厅看过一场比赛。比赛最后几分钟，一名前锋在禁区边上倒地，裁判判了点球，主队一比零赢了。从那天起，两人为这个点球争了三十年。老唐说判得对：防守的那名后卫伸了脚，碰到了人，而且是在禁区里。老彭说判错了：前锋是自己摔的，就算碰到了，也是在禁区外。

那时候没有高清回放，录像带上的画面糊成一片，两人各凭记忆，各凭道理，谁也说服不了谁。每次喝酒都要争一回，争得面红耳赤，第二天照样一起去看球。

三十年后，一位年轻的球迷在网上找到了那场比赛的高清修复版，还用电脑画出了禁区线。三个人凑在手机前，一帧一帧地看。

有一件事，回放说得清清楚楚：犯规的那一下，在禁区线外面半步。这一条，老唐输了，没什么可争的。

可另一件事，回放也说不清：那名后卫到底是伸脚铲球，还是收脚不及？前锋是被碰倒的，还是碰到之前就已经在往下倒？画面再清楚，也只拍得到脚和腿在哪里，拍不到人心里怎么想。这一条，谁也没赢，看回放的三个人各有各的看法。

还有一件事，三个人都没想到：比赛的结果不会改，一比零就是一比零。三十年来争的那个点球，不管判得对不对，都已经是那场比赛的一部分了。

这个故事跟计分板同构。有一题被“回放”判了，那就是定域实在论被贝尔检验判负；有几题回放再清楚也判不了，那就是决定论和实在性，要看你用哪一种读法去看同一段画面；还有一件，是争论本身已经成了历史的一部分，拿不走了。两位老球迷争了三十年，没有一个人全赢。回放来的时候，争论的主角之一可能已经不在场了，就像贝尔检验来的时候，爱因斯坦和玻尔都已经去世多年。

◆ 六、桌面上算完了，缝里还没开始

到这里，表面之争的账算完了。可是一张计分表只回答了“谁说的话被判了什么”，没有回答另一个问题：他们为什么偏偏站在那里？

爱因斯坦为什么对一个他自己开了头的东西，反对了三十年？他成名靠的是一颗一颗的光、一阵一阵的涨落、观察者之间的对表，为什么他写下的物理学却只认一整片严格、事外的世界？

玻尔为什么讲了一辈子“两样都要”，自己的前半生却只认波，后半生只认一种读法？一个要求把话说清楚的人，为什么在最要紧的地方自己没说清楚？

再看这张表，会发现一件更古怪的事。今天站得最稳的，是爱因斯坦亲手放上桌、自己却不肯认的偶然和统计，和玻尔写下的“现象要把仪器算进去”；输掉或悬着的，是爱因斯坦写下的“事外各有各的实在”，和玻尔关起门守着的“已经说全”。两个人各自赢得最稳的那部分，恰恰都不是自己死守的那部分。

这就是本书要讲的另一场争论，缝隙之争。从卷二起，本书不再计分，而是去读两个人：各自写下了什么，各自活过了什么，中间那道缝在哪里，两道缝又是怎样在这三十五年里对撞的。

带走的话

四道题，一题判负，两题悬着，一题双方都没赢，外加一题谁也没解；表面之争没有总赢家，桌下还有一场没开始算的账。

小账

这一回合，桌面上谁占了上风？——没有总赢家：定域实在论被实验判负（爱因斯坦方输），“量子力学已经说全”没被证明（玻尔方没赢），决定论悬着，测量问题两人都没解决。

缝里，谁手里拿着对方的哪一半？——今天站得最稳的，是爱因斯坦活过的偶然与统计、玻尔写下的“现象包含仪器”；各自死守的那一半，一个输了，一个悬着。缝隙之争从卷二开始。

◆

卷　二

爱因斯坦的缝隙

卷　首　语

周六晚上，老秦收了棋盘，抽出一本卷了边的旧教参，里面夹着一张爱因斯坦吐舌头的剪报。

小满凑过来看：“外公，前面听你讲了六个回合，我怎么觉得爱因斯坦一直在输？光子盒被人家用他自己的理论打回来，EPR 后来又被实验判负。”

老秦摇头：“输赢是桌面上的事。你现在要换一副眼镜，看他这个人。他嘴上说的，和他一辈子真正做成的，不是一回事。”

“他嘴上说什么？”

“说世界是定好的，一丝不乱，你看不看它都在那里，上帝不掷骰子。”老秦用指头敲了敲那张剪报，“可你去翻他年轻时候的成名作，一篇讲光是一颗一颗的，一篇讲水里的灰尘乱蹦，后来又第一个把‘偶然’写进原子怎么发光的道理里。他靠的，恰恰是他后来最不愿意认的那些东西。”

小满想了想：“那他是不是有点……说一套做一套？”

“不是。”老秦把教参合上，“这一卷要讲的就是这个‘不是’。一个人能写下来的，总比他活过的窄。他写下的那一半是真的，活过的那一半也是真的，中间有一道缝。看清那道缝，你会更敬重他，不会更看轻他。”

这一卷用第 166 号那套读大师的办法读爱因斯坦：先说他对在哪里，再看四道缝——场与光粒，秩序与涨落，事外与把自己放进去，方程与画面；然后看晚年三十年的统一场论怎样把缝收成一面墙；最后交出定位卡、判语和补法。

09

第 9 章

他的秘籍：一个不看也在的世界

这一章的问题

爱因斯坦一辈子守着的那条信念是什么，它对在哪里？

◆ 一、一条小路上的问题

不妨想象一下二十世纪五十年代前后普林斯顿的一个傍晚。一条通往高等研究院的林间小路，两个人慢慢走。年长的那位头发花白，穿一件旧毛衣，不穿袜子；年轻的那位三十出头，是后来给他写传记的物理学家派斯。

据派斯后来回忆，他们常在散步时谈“客观实在”这件事。有一回走着走着，爱因斯坦停下来，问了他一个问题，大意是：你真的相信，月亮只在你看着它的时候才在那里吗？

这个问题听上去像小孩子问的。月亮当然在。你转过身去，它不会消失；你睡着了，它照样绕着地球转。可是问这句话的人，是二十世纪最有名的物理学家；他问的对象，是一位熟悉量子力学的年轻同行。他不是在问天文，他是在问：你们那套新物理，是不是把“在”和“被看见”搅成了一件事？

这个场面值得多看一会儿。一边是月亮，一个谁都不怀疑的东西；一边是一门在实验室里无往不胜的新理论，按照当时流行的读法，它说的是：一个微小的东西

在被测量之前，谈不上有确定的位置。爱因斯坦站在月亮这一边。他站了三十年，站到最后一天。

这一卷要找他的缝。可是找缝之前，照读大师的规矩，要先把他写下的那一半讲清楚，而且先讲他对在哪里。

◆ 二、他说的秘籍，站在哪里

爱因斯坦很少写“成功经验”之类的东西。但是他一辈子反复说、写进信里和文章里、被后人挂在嘴上的，有这么几条。

第一条，世界是自己在那里的。有一个不依赖于我们的外部世界，它在我们看之前就在，在我们不看的时候也在。物理学的活，是去弄清这个世界本来的样子。月亮那句问话，就是这一条最家常的说法。他晚年写自传性的笔记时，讲到自己少年时的一个转向：从只属于个人的那些愿望和烦恼里挣出来，去注视一个不依赖于人而存在的大世界。这一段话只能转述，但意思很清楚：那个“不看也在”的世界，是他一生的避难所，也是他一生的工作对象。

第二条，这个世界是有规矩的，一丝不乱。原因在前，结果在后，每一件事都有它的来由，不靠碰运气。一九二六年十二月，他在给玻恩的信里写道，量子力学说了很多，却没让我们更接近“老头子”的秘密，无论如何，他相信“他不掷骰子”。“老头子”是他对造物、对自然的秩序的一个戏称，不是教堂里的那位。这句话后来被传成了“上帝不掷骰子”，成了他最出名的一句。

第三条，好的理论要简单，要把表面上不相干的东西收成一个道理。他一生最得意的事，就是把原本各说各话的东西合到一起：时间和空间合到一起，质量和能量合到一起，引力和“空间的弯曲”合到一起。

第四条，是理论决定我们能观察什么。这是一九二六年春天他对海森堡说的话，卷一第 3 章讲过那场谈话。意思是：你不能只盯着“眼睛看得到的”，因为你看到什么、怎样解释你看到的，本来就靠一套理论在后面撑着。

四条放在一起，是一幅完整的世界图：一个自己在那里的、有规矩的、能被一套简洁理论收拢的世界。

用 SDE 的话说，要先交代三个字母。S 是“显露”，就是一样东西长出来、露出来的样子；D 是“差异”，就是一步一步走出来的路；E 是“特征纠缠”，就是脚下那片地，家庭、时代、身边的人、手里的工具。这三样互相生成，哪一样都不能单独拿出来当起点。

爱因斯坦的秘籍，主要落在“显露”这一维上。他关心的是：世界最后以什么样子露出来。在这一维里，他的理论站了三个位置。

一个位置是“场”。显露有三种形态：一颗一颗分明的“粒子”，一阵一阵起伏的“波”，一整片弥漫开来、处处都有值的“场”。爱因斯坦信的是场。在他看来，最根本的东西是充满空间、连续变化的一整片东西，像一块布，处处都有它的纹路。这一格叫 S2 模态维，第 166 号已经判过，第 10 章接着说。

一个位置是“秩序态”。显露还有一条光谱：一头是混沌态，像一锅粥，东西乱成一团；中间是介生态，东西正在成形，还没定下来；另一头是秩序态，一切都定型了，有板有眼。爱因斯坦的世界站在秩序那一头。“他不掷骰子”，说的就是这个。第 11 章专讲这一道。

一个位置是“一号位”。看一件事有三个位置：一号位是站在事外看，看的是客体、条文，跟看的人无关；二号位是站在事中，看人和人之间、过程怎么走；三号位是站在自己心里，看自己的感受和体会。爱因斯坦要的物理学，是一号位的物理学：写的是事外的世界，谁来看都一样，看的人不算在里面。第 12 章专讲这一道。

另外还有一格，落在“脚下那片地”里：信息这一格，分符号、逻辑、数学三种。他晚年最信数学方程的简洁。第 13 章讲这一格。

把一组三视角里的一个视角抬成全部，读大师的办法里叫“中心主义”。照这个叫法，爱因斯坦写下的那一半，可以叫“场中心”“秩序中心”“一号位中心”，晚年再加一个“数学中心”。这些名字只是地图上的记号，不是给他贴标签。它们的用处，是让我们接下来问得具体：在场这一格，他活过的是不是只有场？在秩序那一头，他最好的活是不是都在秩序里做成的？问得具体，找到的缝才落得下地，补法才说得出口。这几个落点是本书的初判，第 15 章会汇成一张卡。

◆ 三、先说他对在哪里

读大师的第一条规矩：每说一处“他漏了”，先说清“他在哪里是对的”。对爱因斯坦，这一条尤其要紧，因为他在表面之争上的名声，往往被简化成一个固执的老人，不肯接受新东西。这不公道。

先说“不看也在”。在我们日常活着的这个尺度上，这条信念不但对，而且是我们一切做事的底子。你出门前锁门，是因为你相信门在你走后仍然锁着；你把钱存进银行，是因为你相信账在你不看的时候也不会自己变。一个科学家做实验，更离不开这一条：他要相信，昨天做过的和今天做的，面对的是同一个世界。没有这个信念，连“重复实验”这件事都立不起来。

再说“是理论决定我们能观察什么”。这句话今天仍然站得住。一台仪器读出一个数，这个数算什么，是靠一整套理论去解释的。海森堡后来说，正是这句话启发了他想到不确定关系的道理。一句被用来反对新物理的话，反过来帮新物理迈了一步，这件事本身就说明它有分量。

最要紧的是第三处。一九三五年，爱因斯坦和两位年轻同事写了 EPR 那篇论文，卷一第 6 章讲过。他要守的是一条朴素的道理：两个东西离得很远，各有各的实在状态，在这边动一下，不能立刻改变那边。他用这条道理去逼问量子力学：你要么承认你的描述不完备，要么承认远处的东西会被这边的测量一下子牵动。后来的实验表明，他想同时守住的那几条不能全都成立，他在这一点上是输了；可是他

问出来的这个问题，是物理学的真问题，今天整整一个行当，都是从这个问题里长出来的。卷五会细说。

所以，他的秘籍不是一个老人的偏见。它是一套对日常世界完全正确、对科学实践不可缺少、对新物理提出了最尖锐问题的信念。他守着它，守出了二十世纪最重要的一个追问。

还有一层常被误会，要在这里说清。许多人以为爱因斯坦“反对量子力学”，好像他认为那套理论算错了。其实不是。

量子力学算出来的东西，一次又一次和实验对上，爱因斯坦心里清楚，他也从来没说过那些数字是错的。他在一九四九年那本文集的《答评论》里，意思说得很平实：这套理论在它能管的范围里是成功的，他不怀疑；他怀疑的是，它是不是已经把一个物理体系的实在状态说全了。他的比方大意是：统计的说法对一大群东西是对的，可对其中每一个，它没有说到底。

打个家常的比方。一家保险公司知道，全县五十岁的男人，一年里大概有多少人会住院，这个数年年都准。可是这个数对你家隔壁的王师傅说不出什么：他今年会不会住院，是由他自己的身体、他自己的日子定的，统计表只是还没看到那么细。爱因斯坦对量子力学的看法，就像这样：统计表是准的，但底下应当还有一层“每一个自己的样子”，那才是物理学最后该写的东西。

一九三六年他写《物理学与实在》，也是这个意思。他要的不是推翻，是补全。他在不同场合表达过同一个期待：将来会有一套更完整的理论，把今天这些统计的说法，当作某种近似包进去，就像相对论把牛顿的力学包进去一样。

这一点要记住，因为后面几章看他的缝，都要守住这个分寸：他不是一个看不懂新东西的人。他看得比谁都懂，正因为看懂了，才知道那里少了一块他最在乎的东西。

还有一件事能说明这份秘籍在他心里的分量。二十年代中期以后，许多事他都肯让，唯独在这一条上寸步不让。卷一讲过，一九二七年索尔维会议，据在场者回忆，他每天早饭时出一道题，想找出新理论的破绽，被答回去了，第二天换一道再来；一九三〇年，他又带着一只光子盒来了。一个成了名的人，一次又一次自己出题、自己挨驳，不嫌丢面子，可见这一条在他心里有多重。

一个人在什么地方最不肯让，那里就是他理论的中心。读大师，先把这个中心找准，后面的缝才有地方落。

◆ 四、老会计的账

讲一个家常的故事，看看“不看也在”这条信念在普通人身上是什么样子。

比如有这样一位老会计，在县城一家老国营厂干了三十多年，退休前管的是全厂的手工账。那时候还没有电脑，一本一本的账簿，蓝色硬壳，每一页的格子都是他用尺子比着画的。他有一句口头禅：账是死的，人是活的，账不会骗人。

他的意思是：一笔钱进来，记在哪一栏、哪一页，就是哪一栏、哪一页。厂长看不看，它都在那里；审计来不来，它都在那里；他自己休假一个月，回来翻开，它还在那里，一分不多，一分不少。这就是他的“月亮”。他整个职业的尊严，都建立在这一条上：账是一个不依赖于看账人的世界。

这条信念对不对？对，而且是他那一行的命根子。一个会计要是相信“账在没人看的时候可能自己变”，他就没法干下去了。年底对账，借方贷方一加，两边相等，那一刻的踏实，就是秩序态的踏实。

他还信第二条：账要简单。一个好账本，科目清清楚楚，一笔一笔有来有去，外行也能顺着看明白。他最看不上那种做得花里胡哨、绕来绕去的账，说那是“藏东西的账”。

他也信第三条：会不会看账，是先学会了规矩，才看得见问题。一个不懂复式记账的人，翻开账簿只看到一堆数字；懂的人一眼就看到哪一笔不对劲。这跟“是理论决定我们能观察什么”是一个意思。

他退休那年，厂里换了电脑记账，年轻人劝他别再手抄了。他还是每天晚上把当天的几笔大账抄进自己那本蓝皮簿子里，说电脑会坏，簿子不会。有一回系统升级，数据真出了岔子，最后是拿他那本簿子一笔一笔对回来的。那一天全科室的人都服他。

这位老会计，就是一个嘴上信“不看也在”的普通人，而且他在自己那一行里是对的。后面几章，我们会在别的普通人身上，看见这条信念够不着的地方。这里先记住：他的信念不是错，是他那一行的地基。

◆ 五、这套秘籍为什么这样长

最后问一句：爱因斯坦为什么会信这一套?

一部分原因在他的土。他少年时读过一本讲平面几何的小书，后来说那本书像一本神圣的小册子，让他第一次看见，一个道理可以清清楚楚、一步一步推出来，谁也驳不倒。他青年时和几个朋友在伯尔尼结了一个读书会，自称“奥林匹亚学院”，读哲学、读科学，也读斯宾诺莎。斯宾诺莎讲的那个神，不是管人间祸福的神，而是自然本身的秩序。爱因斯坦一生对这样的“神”抱着敬意。他说“老头子”不掷骰子，心里想的就是这种秩序。

一部分原因在他走过的路。他一生最大的几次成功，都是把看起来乱的东西收成一个道理：光速对谁都一样，引力其实是时空的弯曲。每一次收拢，都让他更相信世界底下有一个简洁的秩序在等着人去找。

还有一部分原因，是他的秘籍替他挡住了东西。一个相信“世界不看也在”的人，不会被一时的风向带跑。二十年代后期，几乎所有年轻物理学家都倒向了新量

子力学的读法，他一个人不跟。这份不跟，后来有人说是固执，可正是它让他问出了 EPR 那个问题。随大流的人问不出那样的问题。

所以，这一章的结论很简单：他写下的那一半，是真东西，是一个一辈子没有松手的、有分量的信念。接下来四章，看他活过的那一半，在哪里和这个信念错开了。

带走的话

爱因斯坦守的是一个不看也在、一丝不乱的世界。先认下这一半是真的，再去找他活过而没写下的另一半。

小账

缝隙落在哪一格？——这一章先立理论的落点：S2 场、显露光谱的秩序态、三号位的一号位，外加 E2 的数学。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是一个不看也在的世界；他靠的是什么，下面四章一格一格看。

◆

10

第 10 章

第一道缝：信一整片场，靠一颗一颗的光

这一章的问题

第 166 号判过的那道“场与光粒”之缝，放到这场三十五年的争论里，还站得住吗？

◆ 一、一封写给老朋友的信，和第 166 号的判

一九五一年十二月十二日，普林斯顿。七十二岁的爱因斯坦给远在瑞士的老朋友贝索写信。贝索是他在苏黎世求学时结识的朋友，后来是伯尔尼专利局的同事，一九〇五年那篇相对论论文末尾唯一被感谢的人。两个人通信通了半个世纪，什么都谈。

这一封信里，他谈到了光。他说，五十年有意识的思考，并没有让他更接近“光量子是什么”这个问题的答案；如今每个人都以为自己知道，其实他们错了。

不妨想象一下写这封信时的画面。书桌上堆着他那几年一直在算的统一场论草稿，一页一页全是场的方程。他相信，世界最底下是一整片连续的场，光也好，电子也好，都该是这片场上的某种样子。可是就在这样一张书桌前，他写下的，却是对“一颗光”的五十年困惑。

五十年前，也就是一九〇五年，正是他本人第一个站出来说：光不只是波，光是一份一份的，一颗一颗打到金属上，把电子打出来。他因为这件事拿到了诺贝尔奖。五十年后，这颗光还在他心里，像一粒没化开的沙子。

这个场面值得多看一会儿。桌上是他信的东西，信里是他靠的东西。两样东西同在一张书桌上，谁也没把谁收走。

这一道缝，第 166 号《生活在缝隙和悖论中的大师》已经判过。那一章的判语是这样一句：

他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论。

那一章的副题是“一颗一颗的光，照亮了相信一整片场的人”。落点是 S2 模态维，格内缝：理论站“场”，人生另活“粒子”和“波”。悖论归入第三种，“让自己成名的东西，后来被自己否定了”。

那一章的开篇、故事和普通人版，这里不重写，有兴趣的读者可以去读原书。本书要做的，是接着那句判语往下判，不改判。那句判语里有一个短语，第 166 号只点了一下，没有展开：“一阵一阵的争论”。本书整整一本，其实就是把这七个字摊开来写。这一章先把“场”和“一颗一颗的光”这一半重新摆一遍，看它放进爱因斯坦与玻尔之争里，是不是还站得住；然后看“一阵一阵的争论”怎样接上来。

◆ 二、三种样子：粒子、波、场，他靠的是哪一样

先用大白话把“显露”的三种形态讲清楚。

一样东西露出来，可以是一颗一颗的。像下雨时落在窗台上的雨点，你能一滴一滴地数，每一滴都有自己的位置，滴在这里就不在那里。这叫“粒子”。

也可以是一阵一阵的。像池塘里扔进一块石头，水面一圈一圈荡开，一处高了又低，低了又高，它不在某一点上，它是一个起伏在走。这叫“波”。

还可以是一整片的。像屋里的温度，每一处都有一个温度，靠窗凉一点，靠暖气热一点，它连成一片，没有哪一处是空的。这叫“场”。

爱因斯坦理论的底色，是场。十九世纪麦克斯韦把电和磁写成了一整片连续的场，爱因斯坦上大学前后就在自学这套东西，后来一生把它当作物理学的样板。他的广义相对论，把引力写成时空本身的弯曲，那是更彻底的一整片：连“空间”都成了一块会弯的布。他晚年三十年想做的统一场论，目标是把电磁和引力收进同一片场里，让电子这样的小颗粒，也只是这片场上某一处特别浓的地方。在他心里，一颗一颗的东西不是最根本的，它们应当从一整片里长出来。

可是他成名靠的，恰恰是一颗一颗。

先说一九〇五年那篇讲光的论文。那年春天，他给朋友哈比希特写信，一口气介绍了手头的四篇论文，只给这一篇加了一句评语：非常革命。他在论文里说，光在跟物质打交道的时候，表现得像一份一份的能量包。一束光照在金属上，打出电子来：光越“蓝”，每一份越大，打出来的电子跑得越快；光越强，份数越多，打出来的电子越多。这个道理后来被实验一一证实，一九二二年公布的诺贝尔奖，授给他的正是“光电效应定律”，而不是相对论。

这篇论文在当时几乎没人接受。一九一三年，普朗克等几位前辈联名推荐他进普鲁士科学院，推荐信把他夸得很高，末尾却专门替他开脱了一句，大意是：他在推想里有时会射偏，比如光量子那个假设，这不能太怪他。连最器重他的人，也把“一颗一颗的光”当成一个需要原谅的过头话。

实验那一边更有意思。美国物理学家密立根不信光量子，花了差不多十年，想用最精细的实验把爱因斯坦那条光电公式驳倒。一九一六年他发表结果：公式对得严丝合缝，他测出来的数，和爱因斯坦算的一模一样。

可他在同一篇论文里，仍然把光量子称为一个“大胆的、甚至可以说是鲁莽的假设”，说自己证实的只是那条公式，不是光一颗一颗的画面。公式被认下了，画

面没被认下。一九二三年，密立根领了诺贝尔奖，授奖理由写的正是测电子电荷和这项光电实验；他靠证实一条公式拿了奖，那条公式背后的画面，他自己并不信。

玻尔更是抗拒了十几年。当年那个二十六岁的专利局职员，就这样孤零零地守着一颗一颗的光，守了将近二十年。直到一九二三年前后，康普顿用 X 射线去打电子，看到光和电子像两颗台球一样一碰一弹，弹开的角度和能量，照“一颗一颗”的算法一算就对上，大家这才慢慢认下。

这就是第 166 号判语里“一颗一颗的光”。他后来信的是一整片，可是把他从专利局推上世界舞台的，是一颗一颗。

这道缝里还有“波”这一面，第 166 号只点到，这里多说两句。

一九〇九年，他在萨尔茨堡的一次大会上讲光。那时他已经算出一件怪事：一团热辐射里能量的忽高忽低，算出来有两部分，一部分像一颗一颗的粒子在乱撞，一部分像一阵一阵的波在叠加。两部分同时在，缺一不可。他在那次讲话里预言，将来的光的理论，会是波动说和微粒说的某种融合。这个预言，比德布罗意、比玻尔的“互补”都早了十几年。

一九二四年，一位法国年轻人德布罗意提出，不光是光，连电子这样的物质颗粒，也有波的一面。当时很多人觉得这是奇谈，爱因斯坦却是最早认真看待、公开支持的人之一。后来薛定谔正是顺着这条线写出了波动力学。

所以，在“粒子·波·场”这一格里，他理论站场，人生却在粒子和波两边都立了头功。第 166 号的判，放到本书的材料里，一个字不用改。

◆ 三、一整片为什么放不下一颗一颗

这里要问一句：他既然亲手证明了光有一颗一颗的一面，为什么不干脆认下，说世界底下就是一颗一颗的?

原因不在固执，在他看得远。一颗一颗的东西有一个毛病：它们之间怎样互相影响？两颗光、两颗电子隔着一段距离，这一颗怎么“知道”那一颗在哪里？牛顿的引力就卡在这里，隔着老远一下子就拉住了，中间什么也没有，牛顿本人都觉得说不过去。

场的好处，是把“中间”填满了：这里动一下，旁边跟着动一下，一处一处传过去，要花时间，不会一下子跳到远处。广义相对论就是这样做成的，引力不再是隔空一拉，而是时空一处一处的弯。这是他一生最漂亮的一件作品，他当然会把它当成物理学应有的样子。

所以他对场的信，是被他最大的成功喂大的。一颗一颗的光，在他眼里像是一个还没被收进场里的谜，不是答案本身。那封一九五一年的信里说五十年没更接近答案，意思就是：他一直想把这颗光也写成场上的某种样子，五十年没写出来。

这里也要替他说一句公道话。今天物理学最通行的说法叫“量子场论”：最底下确实是一整片一整片的场，而我们看到的一颗一颗的粒子，是场上一份一份的激发。某种意义上，场和粒子都留下来了，谁也没吃掉谁。爱因斯坦押的“场”并没有押错，他没押中的，是场会以一份一份、带着偶然的方式露出来。这一点，正好是下一章的题目。

◆ 四、修车师傅的耳朵

讲一个日常的故事。

比如有这样一位修车师傅，在县城国道边开了二十多年修理铺。墙上贴着一张发动机的原理图，是他当学徒时师父传下来的，纸都黄了。他常对徒弟说：车是一个整体，油、气、电、火，一环扣一环，你心里要有整张图，不能头痛医头。

这是他嘴上信的，一整片。一辆车在他心里是一个连成一片的系统，哪一处出毛病，都要放回整张图里去看。这一条对不对？对。不懂整张图的人，换了火花塞又换油泵，越修越乱。

可是他真正吃饭的本事，是耳朵。车开进院子，发动机一响，他站在旁边听三五秒，就说“三缸有点缺火”或者“是正时皮带松了”。他靠的，是一声一声的异响：哒、哒、哒，某一下特别脆，某一下闷了一点。那是一颗一颗的。他还靠手：一只手搭在引擎盖上，感觉那一阵一阵的抖，抖得匀不匀，隔几秒一次还是连着来。那是一阵一阵的。

徒弟问他怎么听出来的，他指着墙上那张图说，你把图吃透了就会了。徒弟把图背得滚瓜烂熟，还是听不出来。

这就是这道缝在普通人身上的样子。他嘴上信一整片，说本事在那张图里；他靠的是一颗一颗的声音、一阵一阵的抖。图是真的，没有图，声音听了也不知道往哪里对；可是光有图，耳朵不会自己长出来。他传给徒弟的，是写得下来的那一半。

把这个故事和爱因斯坦并排放一放。修车师傅嘴上信的，是一张整车原理图，一整片，和爱因斯坦的场站在同一格；他真正靠的，是一声一声的异响和一阵一阵的抖，和一颗一颗的光、一阵一阵的争论对得上；他卡住的地方，是徒弟背熟了图

却听不出声，和只学“统一”的人看不起零碎东西对得上。四样对齐，才算同一道缝。

后来他想明白了一点，换了一个带法：让徒弟每天早上站在院子里听十辆车，每一辆先说自己听到了什么，再去拆开对。一年以后，徒弟的耳朵慢慢出来了。图还挂在墙上，只是不再是全部。

◆ 五、一阵一阵的争论

现在接上判语的后半句：一阵一阵的争论。

第 166 号写这半句时，只是点出他的思想常在和人争辩时长出来。本书的材料让这半句变得很具体。从一九二〇年初见到一九五五年去世，他和玻尔的争论不是一次大战，而是一阵一阵来的：一九二四年前后为光量子和 BKS 争一阵，一九二七年索尔维会上早饭出题、晚饭交卷争一阵，一九三〇年光子盒争一阵，一九三五年 EPR 争一阵，一九四九年两人在同一本文集里隔空再争一阵。中间是长长的平静，然后又起一个浪头。

这一阵一阵，恰恰是“波”的样子。而他最锋利的几个思想实验，都是在这些浪头上逼出来的。没有玻尔一次次把他的题目答回来，他不会一次次把题目出得更刁；没有光子盒被驳，他不会把问题从“能不能测准”转到“描述是不是完备”；没有这个转向，就没有 EPR。

所以，“一阵一阵的争论”不是装饰。在“粒子·波·场”这一格里，它是他人生另活的那个“波”的最大一块。他信的世界是一整片安安静静的场，他自己的思想，却是在一阵一阵的浪里长出来的。

这道缝在争论里还有一个很少被人注意的后果，这里先点一下，卷四再细算。

一九〇九年他在萨尔茨堡说，光将来要用波和粒子两样合起来才说得清。这是他活过的那一半，他自己后来没有把它写成理论，因为他心里要的是一整片场，不

是“两样都要”。十八年后，一九二七年，玻尔在科莫讲演里提出“互补”：光和电子，有时要当波看，有时要当粒子看，两种说法彼此排斥，又缺一不可。这恰恰是把爱因斯坦当年活过、没写下的那一半，立成了一套学说。

更有意思的是，玻尔自己在一九二二年领诺贝尔奖时，还在否定光量子；一九二四年为了不认光量子，宁可让能量守恒只在统计上成立。也就是说，玻尔是在抗拒了“一颗一颗的光”十几年之后，才用光的“两面”立起了自己的招牌。

于是出现了这样一个局面：爱因斯坦活过粒子、活过波，却只肯写场；玻尔抗拒粒子多年，最后却用粒子和波的两面立了学说，再用这套学说来回答爱因斯坦。一个人没写下的那一半，成了对手手里的刀。这个局面，本书后面会一再碰到。

◆ 六、接着判，不改判

最后交代一下，这一章的判与本书的判怎样接。

第 166 号的判落在 S2 模态维：场与粒子、波。本书卷二的主判，将落在显露光谱：秩序与涨落。两个判不打架。第 166 号问的是“世界以什么形态露出来”，本书问的是“世界露出来时，是定型的还是乱着的”。前者是这道缝的第一层，后者是第二层。一颗一颗的光，本身就带着乱：它什么时候打出来、往哪个方向打，下一章会讲，爱因斯坦自己第一个承认，那是说不准的。

两个判也归在同一种悖论下：让自己成名的东西，后来被自己否定了。他成名于一颗一颗的光，晚年却要把一颗一颗收回一整片里去；他在那封一九五一年的信里承认五十年没想明白，这句话本身就是这道缝最诚实的证词。

读到这里，读者可以先记下一个印象：这道缝不是他晚年才有的。从一九〇五年起，一颗一颗的光和一整片的场，就同时住在他身上。年轻时他两样都用，敢把光拆成一颗一颗；年纪越大，他越想把一颗一颗收回一整片。缝没有变宽，是他站的位置变了。

带走的话

他心里是一整片场，成名靠的是一颗一颗的光，思想是在一阵一阵的争论里长出来的。第 166 号那句判语，一字不改，接着往下判。

小账

缝隙落在哪一格？——S2 模态维，格内：理论站场，人生另活粒子（1905 光量子）与波（1909 融合预言、支持物质波、一阵一阵的争论）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是一整片连续的场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论。

◆

11

第 11 章

第二道缝：只认秩序，靠的是涨落和统计

这一章的问题

一个说“他不掷骰子”的人，一生最漂亮的几件活，是在秩序里做成的，还是在乱里做成的？

◆ 一、一杯水里乱蹦的颗粒

不妨想象一九〇五年春天伯尔尼的一间小公寓。白天，二十六岁的爱因斯坦在专利局看别人的发明图纸；晚上回家，桌上摊着稿纸，他在算一件看上去极不起眼的事：一杯水里，悬着一些极小的颗粒，比如花粉里迸出来的微粒，放到显微镜下看，它们一刻不停地乱蹦，东一下，西一下，没有方向，没有规矩。

这件事植物学家布朗早在七十多年前就看到了，大家叫它“布朗运动”。很多人以为是颗粒自己活着，也有人猜是水在晃。没有人把它当回事。

爱因斯坦把它当回事了。他的想法是：水是由无数看不见的小分子组成的，它们一刻不停地乱撞。一颗悬着的颗粒，每时每刻都被四面八方的分子撞着。平均下来，四面的撞击差不多抵消；可是就在某一瞬间，左边多撞了几下，右边少撞了几下，颗粒就往右蹦一下。这一下一下的“没抵消干净”，就是那一阵乱蹦。

他进一步算出来：乱蹦的幅度有多大，跟分子有多小、有多少，有一个确定的对应。只要在显微镜下量一量颗粒走了多远，就能反过来数出分子。几年以后，法

国的佩兰照着这个办法做了实验，数出来了。从此，原子和分子不再是一个“方便的假设”，而是实实在在的东西。

这个场面值得多看一会儿。一个后来一辈子说“世界一丝不乱”的人，二十六岁时，是从一杯水里最乱的那一阵乱蹦，读出了世界最底下的颗粒。他没有把乱当成噪声扔掉，他把乱当成了证据。

◆ 二、一条光谱：一锅粥、正在成形、定型

先把这一章要用的尺子讲清楚。

一样东西露出来的样子，除了“颗粒、起伏、一整片”这三种形态，还可以看它“定没定下来”。这是一条光谱。

一头叫混沌态，像一锅刚煮开的粥，米粒上下翻滚，你说不准哪一粒下一刻在哪里。中间叫介生态，像粥慢慢稠起来，表面开始结皮，样子正在成形，还没完全定下来。另一头叫秩序态，像一块冷透了的年糕，有棱有角，你切哪里就是哪里，一点不含糊。

爱因斯坦写下的那一半，站在秩序态那一头。“他不掷骰子”，就是说：世界在最底下是一块年糕，不是一锅粥；如果我们看到的是粥，那是因为我们看得还不够细。

读大师时，这条光谱有一个特别的用处：看他最有创造力的时候，自己处在哪一段。一个人的道理，往往是在年糕那一头写成的，因为只有定下来的东西才写得清楚、教得出去；可是道理本身，常常是在粥里、在结皮的那一层里长出来的。写下来的时候，粥已经凉了，人也就忘了自己是从粥里走出来的。

而他活过的那一半，大半在粥里，在正在结皮的那一层里。下面一件一件看。

◆ 三、写下的连宇宙都要定住，活过的都在粥里

先看他在秩序这一边站得有多稳。

一九一七年，他用刚写成的广义相对论去算整个宇宙。算出来的结果让他不安：照方程，宇宙不会安安静静待着，它要么在胀，要么在缩。那时候天文学家普遍认为宇宙大体是静止的，爱因斯坦自己心里也认定，一个像样的宇宙应当是定住的。于是他在方程里加了一项，后来叫“宇宙学常数”，像在年糕里加了一根竹签，把宇宙撑住，不胀也不缩。

后来的事大家知道一些。二十年代，苏联的弗里德曼、比利时的勒梅特先后算出，方程本来就允许一个会动的宇宙；天文观测也渐渐显示，远处的星系在往外跑。一九三一年，爱因斯坦发表短文，放下了那个静止宇宙。他在文中举了两条理由：一条是哈勃等人的观测，远处星系在往外跑；另一条是英国的爱丁顿等人已经指出，他那个静止的宇宙其实站不稳，轻轻一碰就会胀或缩。对一个一心要“定住”的人来说，后一条更扎心：连“定住”这件事本身都靠不住了。

这件事放在这一章里看，很说明问题。他最初的直觉，是把宇宙定在秩序态；方程告诉他宇宙在动，他先加一根竹签把它定住；直到观测和“撑不住”两样一起摆到面前，才松手。在“定”和“动”之间，他的第一反应，总是“定”。

“他不掷骰子”，是同一个反应在原子尺度上的样子。

再看他活过的那一半。

第一件，就是开头那杯水。布朗运动那篇论文，靠的是“涨落”：平均值附近那一点点没抵消干净的偏差。平常人把涨落当成误差，他把涨落当成窗口，从窗口里看到了分子。

第二件，是上一章讲过的一九〇九年。他算一团热辐射里能量的忽高忽低，也就是辐射的涨落，算出两部分，一部分像颗粒，一部分像波。他对光的“两面”的第一个证据，同样是从涨落里读出来的。

科学史家霍尔顿在爱因斯坦的档案里读到一封信，是一九五二年一月写给老友劳厄的。据霍尔顿的概括，信里讲到：一九〇五年那三篇大论文，光量子、布朗运动、相对论，题目各不相同，底下有一个共同的根，就是他早年对涨落现象的关心。这是晚年的他回头给自己成名那一年下的注脚：那一年的活，是从涨落里长出来的。

第三件，是一九一六到一九一七年的辐射论文。这是这一章最要紧的一件。他要说明原子怎样吸收光、放出光，提出了三种过程：原子吸收一份光往上跳，原子被路过的光“催”着放出一份光往下跳，还有一种，是原子自己在某个时刻、朝某个方向，放出一份光往下跳。这第三种叫自发辐射。他给每一种过程都配了一个“跳的可能性有多大”的数，而不是一个“什么时候一定跳”的时刻表。

在论文末尾，他自己承认了这套理论的弱点：基本过程在什么时候发生、朝哪个方向发生，被交给了“偶然”。他同时说，对这条路他完全有信心。第二种过程，也就是受激辐射，四十多年以后成了激光的原理，今天超市收银台扫条形码、医院里做眼科手术，都离不开它。

注意这里的次序。在量子力学还没出生的一九一七年，第一个把“偶然”写进原子最基本过程里的人，正是爱因斯坦本人。三年后，一九二〇年，他在给玻恩的信里说，因果性这件事也让他很烦恼。他不是不知道自己做了什么，他知道，而且为此不安。

第四件，是一九二四到一九二五年。一位印度年轻人玻色寄给他一篇论文，用一种新的数法去数光的颗粒，投稿被拒过。爱因斯坦读了，亲手译成德文替他投出去，又顺着这种数法往下推，推到了普通的原子上，还预言了一种奇怪的状态：温度低到一定程度，一大群原子会一下子挤进同一个最低的状态，像一锅粥突然整锅

凝成一块。这种状态七十年后在实验室里真的做了出来，就叫玻色—爱因斯坦凝聚。

这一件更有意思：它讲的恰恰是从一锅粥到一块年糕之间的那一步，正在成形的那一刻。平常的原子各走各的，像广场上散步的人；温度降到某一处，大家忽然步子一致，像操场上一声集合哨，满场乱跑的学生一下子站成了队。没有人下命令，秩序是从一大群的统计里自己冒出来的。他在统计里，看见了秩序是怎样从乱里长出来的。

四件摆在一起，他的成名作和他最漂亮的活，都不在年糕里，在粥里，在正在结皮的那一层里。

◆ 四、一九二四年：秩序这一边赢过一次

说他“只认秩序”，还要补上一段他在秩序这一边赢了的往事，否则不公道。

一九二四年，玻尔和两位年轻同事克拉默斯、斯莱特写了一篇论文，后来叫BKS。为了不承认光是一颗一颗的，他们提出了一个很大胆的办法：原子放光、吸光的时候，能量和动量不必每一次都守恒，只要平均下来守恒就行。也就是说，他们宁可让世界最基本的一条账在每一笔上都可以对不上，只要年底总账平。

爱因斯坦坚决反对。那一年他在给玻恩的信里说，若果真如此，他宁愿去当鞋匠，甚至去赌场当个雇员，也不当物理学家。这句话常被人引用，它有一种特别的味道：一个后来被人记住“不掷骰子”的人，在这里拿赌场来比那个他不愿意接受的世界。

第二年，一九二五年春天，博特和盖革、康普顿和西蒙分别做了实验，看光和电子一次一次地碰，结果每一次碰撞，能量和动量都守恒。BKS被判负。爱因斯坦赢了。

这一次，他的秩序直觉是对的：账要一笔一笔对得上，不能只对总账。这一次赢，大概也让他更相信这份直觉。一年多以后，量子力学成形，新的读法说：单个电子落在哪里，只能说概率。他用的是同一份直觉，说出了那句“他不掷骰子”。只是这一回，物理学的主流和一次次新的实验，都没有站到他这一边。

同一份直觉，一九二五年赢，一九二七年以后在桌面上接连失分。这不是他变笨了，是那份直觉只在一段光谱上灵：在一笔一笔的账上，世界确实是守规矩的；在一颗电子落在屏上哪一点这件事上，世界露出来的样子，带着他一九一七年就写下、自己却不肯认的那份偶然。

◆ 五、晒被子的人和降水概率

讲一个家常的故事。

比如有这样一位中年妇女，家住湘中一个县城的老小区，六楼，楼顶有一块公用的晒台。她每天早上看手机里的天气预报。预报说：今天降水概率百分之七十。她就烦了，对着手机说：到底下不下？你给个准话。

她嘴上信的，是一个有准话的世界。天要么下，要么不下，一个好的预报就该说清楚是下还是不下。百分之七十算什么话？在她看来，这是预报员偷懒，是“没看清楚”。

可是你看她怎么晒被子。春天梅雨季，预报说百分之三十，她把厚棉被抱上楼顶，晾在靠楼梯口的那一截绳子上，离门近，下雨三步就能收。说百分之五十，她只晒枕套和毛巾，被子不动。说百分之七十，她什么也不晒，但会把前一天晒过、还带点潮的衣服挂在阳台里侧吹风。一个梅雨季下来，她的被子没淋过一次。

她真正靠的，是概率。她心里有一张没写出来的表：几成把握晒什么、晒在哪、离门多远。她把“说不准”变成了一套很精的做法。她嘴上要一个秩序态的世界，手上活在涨落里，活得比谁都好。

她碰到天花板的那一天，是女儿要她学着看“逐小时降水”那张曲线图。她说太乱，不看，要一句话。结果那年夏天一场午后雷阵雨，早上的“全天百分之四十”让她放心晒了被子，曲线图上其实清清楚楚标着下午三点那一格是百分之九十。被子淋透了。

女儿后来跟她说：妈，你那套晒被子的规矩，跟这张曲线其实是一回事，只是你用的是一整天的数，它给的是每个钟头的数。她听了半天，说：那我早就会了嘛。

后来她慢慢学会了看那张曲线，嘴上还是嘟囔“给个准话多好”。这句嘟囔不必改，改的是手上：把她本来就会的那套“几成把握干什么”，挪到更细的一格上去。

她那套晒被子的办法，从来没人教过她，也从来没被她当成“本事”。在她自己的说法里，她只是“运气好，没淋过”。一个人最精的功夫，常常就藏在他自己叫作运气的那一格里。

把她和爱因斯坦并排：她嘴上信有准话的世界，站秩序态；她手上靠概率晒被子，活在涨落里；她卡在不肯看那张“太乱”的曲线；补法是把手上那套概率功夫认下来，往更细处用。四样对得上。

◆ 六、他为什么不认，缝在哪里

回到爱因斯坦。一个人既然在粥里做成了一辈子最好的活，为什么晚年偏偏不认粥？

这里要替他说一句公道话。在他的年代，统计和概率在物理学里有一个老规矩：它们表示我们“不知道”，不表示世界“没定下”。一杯水里每一个分子的走法，在原则上都是定的，只是太多了，我们算不过来，只好用平均和涨落去算。布朗运动那篇论文，就是这个老规矩下的杰作：乱蹦是真的，但乱蹦底下，每一次碰撞都有来有去。

所以在他自己看来，他并没有“活在乱里、嘴上说秩序”。他一直是用统计去逼近一个底下有秩序的世界。他在一九一七年承认“偶然”是弱点，意思也是：这里还有一层没看到，将来要补上。

这个读法在今天也没有被判死。卷五会讲，一九五二年玻姆写出了一套理论，在那套理论里，粒子每一刻都有确定的位置，走法是定的，概率仍然只表示我们不知道。代价是，它必须让远处的东西一下子互相牵动。所以“世界在最底下定没定”，物理学到今天还悬着；判负的，是“定得住，又不牵动远处”这两条同时成立。

这是他在这一道缝上的保底：他对统计的读法，在他那一行的老规矩里是有根的；“底下是不是定的”，至今还是一个开放的问题。

保底说完，缝还是在的。

缝不在他用了统计，而在他怎样讲自己。他写下的，是秩序；他成名的那一年，自己说底下的根是涨落；他最漂亮的几件活，一件读涨落，一件把“偶然”写进原子的基本过程，一件看见秩序从统计里长出来。这些活在他的理论里没有位置。他没有把“乱里能读出东西”“秩序是从乱里长出来的”写成他的道理，他写成道理的，只有那块年糕。

所以这道缝的落点是：九宫之外，显露光谱这一组三视角。理论站秩序态；人生另活混沌态（涨落、乱蹦），另活介生态（一锅粥凝成一块的那一刻）。

还要说一句：这道缝他自己是摸到过的。一九一七年他在论文里明说“偶然”是弱点，一九二〇年他在信里说因果性让他烦恼。这两句话，是一个诚实的人站在缝边上说的。他没有装作缝不在，他只是一直相信，缝的那一边终究会被秩序填平。他在缝边站了一辈子，没有跨过去，也没有假装没看见。

这一点，是读他时最该敬重的地方。许多人一辈子不知道自己的理论漏了什么；他知道，写下来了，然后选择押另一边。押错了一半，押对了一半，押的时候两眼是睁着的。

它和上一章那道缝是连着的。一颗一颗的光，什么时候打出来、往哪边打，正是一九一七年他交给“偶然”的那件事。粒子那一面，和乱那一面，在他身上本来是一件事的两头。

带走的话

他嘴上要一块定型的年糕，手上在一锅粥里读出了分子、写下了偶然、看见了凝成。他最好的活，都在他理论不认的那一段光谱上。

小账

缝隙落在哪一格？——九宫之外，显露光谱：理论站秩序态，人生另活混沌态（布朗运动、辐射涨落、1917 年的“偶然”）与介生态（玻色—爱因斯坦凝聚）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是一个一丝不乱、定型的世界，靠的是从乱蹦和统计里读出东西的本事。

◆

12

第 12 章

第三道缝：写事外的世界，靠把自己放进去

这一章的问题

一个要把观察者请出物理学的人，他最有名的发现，是站在事外看出来的，还是把自己放进去看出来的？

◆ 一、专利局椅子上的一个念头

不妨想象一九〇七年伯尔尼专利局的一间办公室。窗外是老城的红瓦屋顶，桌上是一摞待审的专利申请，画的是各种各样的电气开关、测量仪器和小机器。二十八岁的爱因斯坦，头衔是二级技术员，每天的活是看图纸，判断一件发明说得通说不通。

据他一九二二年在日本京都讲演时的回忆，那一年他正坐在专利局的椅子上，一个念头忽然冒了出来：一个人从房顶上掉下来，在往下掉的那一路上，他感觉不到自己的重量。一九二〇年前后，他在一份长篇手稿里回顾相对论的来路，把这个念头称为一生中“最快乐的思想”。那份手稿原本是应英国《自然》杂志之约写的，后来没有发表，一直躺在他的档案里。

这个念头为什么让他那样快乐？因为它一下子把引力这件事翻了个面。一个正在自由下落的人，手里松开一个苹果，苹果不会离开他，就在他手边一起落；他觉得自己轻飘飘的，四周的东西也都轻飘飘的。在他自己那一小块地方，引力好像不

见了。反过来，一个站在电梯里的人，电梯往上一加速，他就觉得脚底一沉，好像多了一份重量。引力和加速度，在身边那一小块地方，分不出彼此。

这个念头后来长成了广义相对论。它的起点，不是望远镜，不是方程，而是一个画面：把自己放进一个正在往下掉的人身上，去感受那一瞬间自己身上发生了什么。

这个场面值得多看一会儿。一个人后来一辈子主张，物理学要写一个不看也在、跟看的人无关的世界；可他一生最快乐的那个念头，是把“看的人”放到最中间，而且不是站在旁边看，是钻进那个人的身体里去感觉。

◆ 二、三个位置：事外、事中、心里

先把这一章的尺子讲清楚。

看一件事，可以站三个位置。一号位是站在事外，像看一张地图，看的是东西本身、条文本身，谁来看都一样，看的人不算在里面。二号位是站在事中，看人和人之间，看过程怎么一步一步走，像两个人在电话里核对“你那边几点了”。三号位是站在自己心里，看自己的感受、自己的体会，像闭上眼睛想象自己坐在一辆飞驰的车上。

爱因斯坦写下的那一半，站在一号位。第 9 章说的“不看也在”，就是一号位的道理：物理学写的是事外的世界，观察者只是一个拿着尺子和钟的人，他在不在，世界都照样。他晚年反对量子力学的新读法，最根本的理由也是这个：他不能接受“看的人”被写进世界本身的样子里。

物理学为什么要站一号位，道理也不难懂。一个实验结果，要是换一个人来做就变了样，它就没法传、没法用。科学之所以能一代一代往上垒，靠的就是那些谁来看都一样的东西。爱因斯坦把这一条守得比谁都紧，是在守科学能往上垒的那个底。

可是他成名的那几件活，是怎么做成的?

◆ 三、光束、对表、升降机：他三次把自己放进去

先看最早的一个画面。

他晚年写自传性的笔记时回忆，十六岁那年，他想过这样一个问题：如果我以光的速度去追一束光，会看见什么?

照当时的理论，光是一阵一阵往前走的电磁波。追上它，和它并排跑，那我看到的应该是一个停在那里、一起一伏却不往前走的波，像一条冻住的波浪。可是他隐隐觉得不对：这样的东西，没有人见过，麦克斯韦的方程里也不允许。而且，一个骑在光上的人，凭什么就知道自己在飞快地跑?在他自己看来，一切都应该和静止时一样才对。

这个问题他想了将近十年。这十年里，大部分日子看上去什么也没发生：读完大学，找不到教职，靠朋友父亲的推荐进了伯尔尼专利局，每天八个小时看别人的图纸。可是看图纸这件活，天天都在练同一个本事：拿到一张纸上的装置，在脑子里让它动起来，问自己，站在这里看它会怎样，站在那里看它又会怎样。这是本书的一个读法，不是他本人的说法；但读大师的办法提醒我们，缝隙常常不在一次事件里，而在一段看似平淡的日子里。

十年后的答案，就是一九〇五年的狭义相对论：不管你跑多快，你看见的光速都一样，你永远追不上它。

注意这个问题是怎么问出来的。他不是站在路边看一束光飞过去，他是把自己放到光的旁边，想象“我”在追，“我”会看见什么。这是三号位：自己心里。

再看狭义相对论本身是怎样写的。

一九〇五年那篇论文里，最让人吃惊的一步，是他问：两件事“同时”发生，是什么意思?

平常我们觉得这不用问。可他说，你要说远处一件事和这里一件事同时，你得有办法对表。远处有一只钟，这里有一只钟，两只钟怎么对准？只能靠发信号，比如发一束光过去、再反射回来，算好路上花的时间。对表这件事，是两个观察者之间商量出来的。

十来年后，他在给普通人写的一本小书里，用一个常被引用的画面把后果讲明白了：一列火车飞快地驶过站台，恰好在车头、车尾各劈下一道闪电。站在站台正中间的人，看见两道闪电同时到达，他说：同时。坐在火车正中间的人，因为车在往前走，车头那道光先到，车尾那道后到，他说：不同时。两个人都没错。“同时”不是事外的一个定数，是跟你站在哪里、怎样和别人对表连在一起的。

这是二号位：观察者之间。狭义相对论整个的活，就是讲一个观察者看到的时间、长度，换到另一个观察者那里，要怎样换算。它是一套“观察者之间对表”的学问。

科学史家伽里森在《爱因斯坦的钟，庞加莱的地图》里还提出过一个读法：那些年，欧洲各地正忙着用电信号把车站、城市的钟一只一只对准，瑞士也不例外；那几年经过伯尔尼专利局的申请里，有不少正是这类用电信号对钟的装置。这个读法要守分寸。专利局的档案没有说清哪些申请是爱因斯坦本人审的，书评者也指出，这条线索是旁证，不是铁证。它未必是他想到相对论的原因，但至少说明：他当时身边那片地上，“怎样对表”是一件常摆在桌上的事。

再回到开头那个“最快乐的思想”。

后来，他把那个下落的人，换成了一个更好讲的画面：一只密封的箱子，像一部升降机，里面站着一个人。箱子如果停在地面上，人觉得脚底有重量，松手的苹果往下掉。箱子如果在远离一切星球的太空里，被一根绳子往“上”匀加速地拉，箱里的人感觉一模一样：脚底有重量，苹果往下掉。他关在箱子里，做任何实验，都分不出是引力还是加速。他在一九一六年前后写的那本给普通人看的小书里，就是用这样一只箱子讲广义相对论的。

这又是三号位：把自己关进箱子里，只问箱子里的人能感到什么、能测到什么。广义相对论的第一块基石，是从“箱子里的人”这个位置上立起来的。

从这块基石到一九一五年十一月写出引力的方程，中间隔了整整八年。这八年里，画面早就有了，缺的是把画面写成方程的那套数学，他自己手里没有。那一段他是怎样走过来的、找谁借的，是下一章的事。这里先记住：画面是他自己钻进箱子里看到的，方程是后来一步一步凑出来的，两样东西不是同一天来的。

◆ 四、保底，和他为什么不肯再走一次

说到这里，也要替他说一句公道话，否则就冤枉了他。

相对论讲观察者，但它的目的不是说“各看各的，没有定准”。恰恰相反。它要找的，是所有观察者换算来换算去之后，仍然一样的那些东西。光速对谁都一样；两件事之间那个把时间和空间合起来算的“间隔”，对谁都一样；物理定律的样子，对谁都一样。据记载，一九二一年有人写信给他，建议把这套理论改叫“不变量理论”，他在回信里承认，“相对论”这个名字确实不太恰当，容易招来哲学上的误会。

所以，他的一号位不是凭空来的。他是先把自己放进去，放进光旁边，放进火车和站台，放进下落的箱子，一个位置一个位置地换，然后从这些位置之间，提炼出那个谁来看都一样的东西。二号位、三号位是他的路，一号位是他走到的地方。

这就是这道缝的保底：在“不管谁来看都一样”的那些量上，他的一号位是对的，而且是他用二号位、三号位一步一步换来的。一个仪器读出的数，要靠理论去解释，这一条也是从这里来的。

问题在于，到了量子这一层，情形变了。新的读法说：你拿什么仪器去问，它就露出什么样子，现象里要把仪器算进去。这句话，其实和一九〇五年“同时”要看你怎样对表的那个道理是一个路数，只是再往前走了一步。一九二六年海森堡对他说，只用看得见的量来立理论，是跟相对论学的；他答，也许他当年这样推过，

但这照样说不通，“是理论决定我们能观察什么”。卷一第 3 章讲过这场谈话。他不愿意在量子这一层，再走一次他在相对论里走过的那条路。

这里值得停一下，问一句：同一条路，他在相对论里走得那样好，为什么到量子这里就不肯走了？

替他想，理由是有的。在相对论里，把观察者放进去，换来换去，最后能提炼出一个谁来看都一样的东西，观察者用完了可以请出去，世界还是那个世界。在量子这里，按当时流行的读法，观察者放进去之后，就请不出去了：你不去测，那个电子在哪里，这句话本身就没有意思。这等于说，世界的样子要一直带着“谁在看、怎么看”。

他怕的是这个。他怕物理学从“世界是什么样”退成“我们能知道些什么”。一门写世界的学问，退成一门写我们的知识的学问，在他看来是一种放弃。派斯回忆里那句关于月亮的问话，问的就是这个：你真肯让月亮也带着“谁在看”吗？

这份担心，今天看仍然是正经的担心。量子力学到今天有好几种读法，有的读法确实想把观察者请出去，让世界自己成立，比如卷五要讲的玻姆理论、多世界理论，走的都是这个方向。这些读法里，有一部分正是从爱因斯坦这份担心里接过去的。

但担心归担心，他在这里没有看见的，是他自己一生的路：他每一次最大的收获，都是先把自己放进去才换来的。把观察者放进去，不一定就是放弃世界；也可能是走向世界的必经之路。这一句，他在相对论里用脚走过，在量子这里却不肯用嘴说出来。

◆ 五、外卖骑手的导航和路感

讲一个日常的故事。

比如有这样一位外卖骑手，在长沙跑了五年单，站点里公认的“单王”。站点新来的骑手问他诀窍，他总说一句话：信导航，别信自己。导航是算过的，哪条路近、哪个路口堵，系统比你清楚；新人最容易犯的错，就是自以为认路。

他嘴上信的，是一号位：一张事外的地图，谁来跑都一样，跑的人不算在里面。这句话对不对？对。新人自以为认路，绕进死胡同、走错小区门，是常有的事。

可是你跟着他跑一天就会发现，他真正靠的不是这个。

中午高峰，导航让他走主干道，他在路口停了两秒，看了一眼前面那辆公交车的尾灯和对面人行道上的人流，拐进了一条导航上没有标颜色的小巷。那一刻他在用的，是把自己放进车流里的那种感觉：“我”现在在这里，前面那一段“我”要多久才能过去。这是三号位。

他还靠一样东西：站点那个骑手群。十几个人一边跑一边往群里丢语音：“某某小区东门封了，走北门。”“某某大厦电梯排队二十分钟，先送别家。”他们互相报自己那一头看到的情形，一个人看到的只是一角，十几个人一对，整片城区什么样就清楚了。这是二号位：观察者之间对表。

还有一个细节。他手机上装着两个导航软件，遇到拿不准的路口，他会两个都看一眼：一个说直走，一个说右转，他就知道这个路口有问题，得靠自己和群里的消息去定。两张地图不一致的地方，恰恰是他最用得上路感的地方。

他跑得快，靠的是这两样。导航是地基。说来有趣，他手机里的导航本身就要靠相对论去校正卫星上那些钟的快慢，否则一天下来定位就会偏出老远。但让他成为单王的，是路感和群里的对表。他嘴上却只说“信导航”。

他碰到天花板，是站点让他带新人那一年。他带新人只教“信导航”，新人老老实实照做，跑得不出错，却也跑不快，一到雨天、一到修路，就乱了阵脚。有个新人问他：你自己不是常拐小巷吗？他愣了一下，才意识到，自己真正的本事，一句也没教出去。

后来他换了带法：让新人每天收工后，在群里讲一段“今天我在哪里没听导航，为什么”，其他人跟着说自己那一头看到的。几个月后，新人的“路感”慢慢长出来了，而且是一群人互相对出来的，不是各凭运气。

把他和爱因斯坦并排：嘴上信一张事外的地图，站一号位；真正靠的是把自己放进车流、和同伴对表，活在三号位和二号位；卡在只教得出地图、教不出路感；补法是把“放进去”和“对表”也当成本事来教。四样对得上。

◆ 六、缝在哪里

这一道缝的落点，是九宫之外的三号位。理论站一号位：物理学写事外的世界，观察者不在世界里面。人生另活三号位：十六岁骑在光上，一九〇七年钻进下落的人身上，升降机里的人；另活二号位：观察者之间对表，相对论本身就是讲观察者之间怎样换算。

这道缝在争论里也有它的后果，卷四第 25 章会细讲，这里只点一句：玻尔后来立“互补”时，最核心的一条是“现象要把仪器算进去”，这正是二号位的道理。爱因斯坦在相对论里活过的那个二号位，又一次成了对手手里的东西；而他自己，站回了一号位去守。

这道缝和前两道连在一起。一颗一颗的光，是在“谁去测、用什么测”的时候才露出来的；涨落和偶然，是在一个个具体的原子、具体的时刻里出现的。三道缝指向同一个地方：他成名的活，都做在“具体的、在场的、有人在看”的那一边；他写下的道理，都站在“整片的、定型的、没人在看也一样”的那一边。

带走的话

他要物理学写一个没有观察者的世界，可他最漂亮的发现，都是先把自己放进去、再和别的观察者对表换来的。

小账

缝隙落在哪一格？——九宫之外，三号位：理论站一号位（事外的实在），人生另活三号位（追光、下落的人、升降机）与二号位（观察者之间对表）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是一个跟观察者无关的世界，靠的是把自己放进去、和别的观察者对表。

◆

13

第 13 章

另一道缝：信方程的简洁，靠画面和借来的数学

这一章的问题

一个晚年只信方程之美的人，年轻时是靠什么想事情的，他的数学又是从哪里来的？

◆ 一、一九一二年，向老同学格罗斯曼求助

不妨想象一九一二年夏天的苏黎世。三十三岁的爱因斯坦刚回到母校，当上了教授。他那个“从房顶上掉下来的人”的画面已经揣了五年，知道引力和加速度分不开，也隐约知道这意味着时空不再是平的，会弯。可是弯成什么样、怎样写成方程，他写不出来。他手里的数学不够。

他去找了一个人：大学时的老同学，如今在同一所学校当数学教授的格罗斯曼。

这不是他第一次靠格罗斯曼。上大学时，他常逃课，自己去读麦克斯韦那些人的书，考试前靠的是格罗斯曼那一本记得又全又工整的课堂笔记。毕业后找不到工作，是格罗斯曼的父亲出面，向伯尔尼专利局的局长推荐了他。如今，他又要来借格罗斯曼的数学。

据记载，格罗斯曼查了文献，告诉他：意大利数学家里奇和列维—奇维塔早就发展出一套计算弯曲空间的工具，德国数学家黎曼更早就讲过弯曲的几何。你要的

东西，数学家那里已经有了。两个人随后合写了一篇论文，一九一三年发表，题目里有“纲要”二字：物理的部分爱因斯坦写，数学的部分格罗斯曼写。

这个场面值得多看一会儿。一个后来说创造的原则藏在数学里的人，一生最大的一次创造，用的数学却是向老同学格罗斯曼求助借来的。

◆ 二、信息这一格：画面在前，数学靠借

先交代这一章的尺子。

SDE 里的 E，是脚下那片地。这片地里有一格叫“信息”，也就是人凭什么想事情、凭什么说服人。它有三种样子：符号，包括形象、画面、故事；逻辑，就是一步一步讲道理；数学，就是数和方程。

每个人都在这三样里有偏重。有人一说就是一个画面，有人一说就是一二三四，有人一说就是一个公式。三样本来是互相帮衬的：画面让人看见方向，逻辑让人一步一步走过去，数学让人算准、核准。一个人把其中一样抬成全部，另外两样就会从他的道理里慢慢消失，虽然它们还在他身上干着活。

爱因斯坦晚年写下的那一半，站在数学上。一九三三年他在牛津的一次讲演里，大意说，创造的原则存在于数学之中；只要找到数学上最简单、最自然的那套方程，就能抓住自然的秘密。他晚年三十年的统一场论，几乎全是照这个办法走的：先找数学上最漂亮的写法，再看它能不能管住物理。

可是他年轻时，不是这样想事情的。

二战末年，流亡美国的法国数学家阿达马写一本书，研究数学家和科学家是怎样想出新东西的，向许多人发了问卷，爱因斯坦回了一封信，一九四五年随书印了出来。他在信里的意思是：语言和文字，在他思考的时候似乎不起什么作用；起作用的，是一些或清楚或模糊的“符号”和形象，是可以在脑子里自由地摆弄、组合

的东西，有些是看得见的，有些甚至带着肌肉的感觉。要把它们翻成文字和通常的符号，那是后一步的事，而且很费劲。

这封信只能转述，但意思很清楚：他想事情，先是画面，后是文字和数学。

上一章已经看到这些画面了：十六岁骑在一束光上；火车和站台上的两道闪电；从房顶上掉下来的人；太空里被绳子拉着的箱子。卷一还讲过他在索尔维会上出的题，一只挂在弹簧秤上的盒子，一个钟控的快门，一颗光子飞出去。他一生最有名的那些东西，几乎每一件都先是一个能画在黑板上的场面。

还有一件小事很能说明问题。一九〇八年，他从前的数学老师闵可夫斯基把狭义相对论改写成一套“四维时空”的几何，写得非常漂亮。据后人记述，爱因斯坦起初并不领情，把这套写法看成一种多余的博学。几年后，他正是靠着把时空看成一块整体的“几何”，才一步步走到广义相对论。他后来接受了，而且离不开了。

这里有一个很巧的呼应。二十多年后，一九三五年，EPR 那篇论文由年轻同事执笔，他看了很不满意，在给薛定谔的信里说，要紧的东西被“博学”闷住了。年轻时他嫌闵可夫斯基的数学是多余的博学，晚年他嫌同事的文字把要紧的画面闷住了。两次，他在乎的都是同一样东西：那个简单、看得见的核心，不能被繁复的写法盖住。

再看他的数学。

上面说了格罗斯曼。一九一二到一九一三年，是格罗斯曼把黎曼几何、里奇和列维—奇维塔的那套工具交到他手里。没有这套工具，“箱子里的人”那个画面写不成方程。

还有贝索。一九〇五年相对论那篇论文，没有引一篇文献，结尾只感谢了一个人：他的朋友和同事贝索，说贝索在这个问题上一直站在他身边，给过他许多有价值的建议。贝索是一位工程师，不以理论见长，但他是爱因斯坦最好的“听众”。据说爱因斯坦称贝索是欧洲最好的共鸣板：一个想法说给贝索听，贝索一问，他自

己就看清了。贝索还是把马赫的书介绍给他的人，而马赫对“绝对空间”的批评，是他走向相对论的一个起点。

再往后，一九二四年，印度年轻人玻色寄来那篇论文。第 11 章讲过，玻色有一种新的数法，爱因斯坦读懂了它的分量，替他译稿投稿，又顺着它推出一整套新东西。那一次，“怎么数”的那一步，是从玻色那里借来的。

伯尔尼那几年，他还和几个朋友组了一个小小的读书会，自称“奥林匹亚学院”。几个穷学生、年轻职员，晚上凑在一起读哲学、读科学、读斯宾诺莎，吃简单的晚饭，争到深夜。那是他最早的“共鸣板”群。

所以，他的数学，和他那些画面怎样变成理论的过程，是靠一群身边的人一起完成的。用 SDE 的话说，这是脚下那片地在起作用：一个会记笔记的同学，一个会听的朋友，一个远方寄来论文的年轻人，一个深夜争论的小圈子。

◆ 三、一九一五年：一段弯路，两种记忆

先把那两年的弯路讲清楚。他晚年信数学，是他自己吃过亏、得过益之后信的。

一九一二年冬天到一九一三年，他和格罗斯曼其实已经摸到了后来那组方程的门口。他那本工作用的草稿本，后来被研究者叫作“苏黎世笔记”，德国马普科学史研究所的雷恩、美国的扬森等人一页一页细读后发现：和最后写法非常接近的式子，当时已经在纸上出现过。可是他把它放下了。

放下的理由，不是数学上的，是物理上的两条要求：一条是新方程在引力很弱的时候，要能退回牛顿那一套；一条是能量要守得住。照他当时的算法，那个写法两条都像是过不去。后来的研究者看出，这两条其实都能满足，是他当时的算法把他自己绕住了。他转而用了一个数学上不那么漂亮的写法，合写成那篇“纲要”。接下来两年多，他在那个写法上兜圈子。

一九一五年秋天，他终于回过头来。十一月，他连着四个星期四向普鲁士科学院报告，一周一改，最后写出了正确的引力方程，还用它算对了水星近日点那一点点多出来的偏移。水星绕太阳转的那个椭圆，每转一圈，整个椭圆都会慢慢挪一点位置；天文学家早就量出，这一挪比牛顿的理论算出来的多了一丁点，几十年没人说得清。爱因斯坦的新方程一算，正好补上这一丁点。据记载，算出来那几天，他激动得心跳都乱了。

这一次是怎样回来的？在他自己晚年的记忆里，答案很干脆：是数学。是“对谁都一样”的那条数学原则，是数学上最自然、最对称的写法，把他从弯路上拉了回来。他后来多次这样讲，一九三三年牛津那次讲演也是这个调子。

研究者读他当年的信和手稿，读出来的却不完全一样。扬森和雷恩写过一篇文章，题目就叫《拱与脚手架》。他们的看法是：一九一五年那一步，他主要还是顺着物理的思路走回来的，他换了一种办法去定义引力场，让能量守恒那条要求好办了，这才发现数学上最自然的那个写法也能过关，两边一对，门开了。

在“纲要”上走的那两年多弯路，不是白走的，它像盖石拱时搭的脚手架：拱合龙了，脚手架拆掉，后人只看见拱，看不见脚手架。另一位研究者范东恩还指出，他晚年越来越把那一次说成“纯靠数学”，这份记忆，又反过来给他三十年的统一场论撑了腰。

这是研究者的读法，不是定论，本书只取它公认的那一层：一九一五年那扇门，是物理的思路和数学的写法一起推开的，不是数学一家推开的。

◆ 四、保底：他信数学有理由，可数学不是全部

说到这里，要替他说一句公道话。他晚年信数学，不是凭空来的。

最后那组方程，确实是数学上最自然、最干净的写法；没有格罗斯曼借来的那套工具，他的物理思路再好，也写不成方程；而且方程一写出来，水星那一丁点偏移，是自己算出来的，不是凑出来的。数学在那一刻的分量，谁也否认不了。这一条保底要写清楚：在一九一五年，数学确实是推门的那两只手之一。

把这一段连起来看，还能看出另一件事，常被忽略：画面、物理上的道理、数学，在他身上是轮流带路的。

一九〇七年，是画面带路。箱子里的人，一下子让他看见了方向。那时候他没有数学，只有画面，可画面已经把路指对了。

一九一三到一九一五年，是物理上的两条要求把他带偏了一段，挡住了数学上本来可行的写法。

一九一五年秋天，是物理的思路和数学的写法一起，把他拉回来。

如果只看最后一步，又只记得数学那一半，就会得出“数学最可靠”的结论。他晚年正是这样总结的。可是如果把三步连起来看，结论不一样：没有第一步的画面，根本走不到那个门口；没有物理思路和数学写法互相较劲的那两年，门也推不开。信息这一格里的三样东西，本来就是互相生成的，哪一样都不能单独拿出来当全部。

他总结的，是最后一步里的一半；他活过的，是三步。这就是这道缝最细的地方。

还要补一句，免得读者以为他忘了恩。他去世那年写过一篇回忆学生时代的短文，里面特意讲到格罗斯曼在学业和工作上给他的帮助；一九〇五年那篇论文结尾

对贝索的感谢，也是白纸黑字。一九五五年三月贝索去世，他给贝索的家人写信，说老朋友只是比他先一步离开这个奇怪的世界。一个月后，他自己也去世了。

他没有忘记借过谁。他只是没有把“借”写进自己关于怎样做物理的道理里。在那套道理里，好像一个人只要独自坐在书桌前，对着数学上最简洁的写法凝神，自然的秘密就会自己露出来。道理里只剩下方程，借方程给他的人，留在了回忆里。

◆ 五、奶奶的咸菜坛子

讲一个日常的故事。

比如有这样一位老奶奶，在湘中乡下腌了五十年咸菜。芥菜、萝卜、豆角、辣椒，坛子一排摆在灶屋墙根。她腌的东西，全村都来讨。

孙女在城里读食品专业，放假回来，想把奶奶的手艺“整理出来”，拿着小本子问：盐放多少克？腌几天？温度多少度？奶奶答不上来，只说：看火候。孙女不甘心，拿了厨房秤和温度计，跟着奶奶做了一个冬天，最后算出一套“配方”：盐百分之六，头三天压重石，十五度左右放七天。她把配方打印出来贴在灶屋墙上，说：奶奶，以后照这个做，谁都能腌出你的味道。

奶奶看了很高兴，逢人就说：我这是有配方的，科学的。

从那以后，奶奶嘴上信的成了那张纸，也就是数学。可她这五十年真正靠的是什么？是画面和手感：菜叶子晒到什么样子“蔫得刚好”，一把盐撒下去在手里是什么分量，坛口的水冒出什么样的小泡是“起了”，闻一下是酸得正还是酸得冲。这些都是符号，是形象，是她脑子里一幅一幅的画。而那张配方，是从城里读书的孙女那里借来的。

天花板在第二年出现了。邻居照着墙上的配方腌了一坛，偏偏那年冬天湿冷，菜叶水分大，照配方的盐量不够，一坛菜腌坏了。邻居来问奶奶，奶奶也照着纸

看，看不出哪里错了。还是她蹲下去闻了闻坛子，捏了一片叶子，才说：菜太水，盐要加一把。

她那一刻用的，又回到了画面和手感。

后来孙女在那张配方下面，添了一段手写的话：菜叶摸着发软不出水再下坛；水大的年份盐加一成；坛口冒细泡、闻着酸得清才算成。配方和画面并排贴在墙上，这才完整。

孙女后来说，那一个冬天她最大的收获不是那张配方，而是一件小事：她原以为奶奶的“看火候”是说不清的玄学，跟着做下来才发现，奶奶每一个判断都有依据，只是依据不在数字里，在眼睛、手指和鼻子里。她那张配方，其实是把奶奶的画面翻成了数字；翻过去的时候，有一些东西丢了，比如“水大的年份”这种画面，数字里就没有。

把她和爱因斯坦并排：嘴上后来信那张“科学的”纸，站数学；真正靠的是一幅一幅的画面和手感，站符号；数学是从身边的人那里借来的；卡在光看纸看不出哪里错；补法是让画面和数学并排，谁也不压谁。四样对得上。

◆ 六、缝在哪里

这一道缝落在 E2 信息格内。理论站数学：晚年只信方程的简洁。人生另活符号：他想事情靠画面，靠思想实验，靠能画在黑板上的场面；数学本身，又是从身边的人那里借来的，格罗斯曼、贝索、玻色，还有伯尔尼那个小圈子。

这道缝和前三道也连着。一整片场、定型的秩序、事外的世界，都最适合用方程写；一颗一颗的光、乱蹦的涨落、把自己放进去的那个人，都最适合用画面想。他晚年越信方程，越远离那些画面；而他一生最好的活，都是先有画面、再去借数学的。画面给他方向，数学给他凭据，身边的人给他数学。三样少了哪一样，那几件大活都做不成。他晚年的道理里，只剩下了中间那一样。

还有一层，读者可以先记着，下一章会用到：一个人越相信数学能单独带路，就越不需要身边的人。统一场论那三十年，他身边一直有年轻的助手帮着算；贝索远在瑞士，只在信里说说话；玻尔那样的对手，隔着大洋，一阵一阵才来一回。天天在身边、能逼他把画面说清楚的那种人，少了。

带走的话

他晚年信的是方程的简洁；他年轻时靠的是一幅一幅的画面，数学是向老同学格罗斯曼求助借来的。

小账

缝隙落在哪一格？——E2 信息格内：理论站数学（晚年只信方程的简洁），人生另活符号（画面、思想实验），数学靠借（格罗斯曼、贝索、玻色）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是找数学上最简洁的方程，靠的是脑子里的画面和身边借给他数学的人。

14

第 14 章

理论反噬：统一场论三十年

这一章的问题

他晚年三十年押上全部的统一场论，是怎样把前面四道缝收成一面墙的，这面墙当年又替他挡住了什么？

◆ 一、一九二九年一月的报纸

一九二九年一月，柏林。四十九岁的爱因斯坦向普鲁士科学院交了一篇只有几页的短文，讲他新近想出的一种统一场论，用的是一种叫“远程平行”的几何。

文章还没正式印出来，消息已经传遍了。《纽约时报》在头版报道，此后又接连发了好几篇；据一位记者的转述，他认为这是他对人类最重要的贡献，在科学上比当年的相对论还要重要。伦敦一家百货公司把这几页论文贴进了橱窗，据说引来人群围观。美国一所大学的物理系主任公开谈论，将来也许能据此造出反引力的装置。一篇满是数学符号、能看懂的人寥寥无几的短文，成了大新闻。

可是在少数真正看得懂的人那里，反应冷淡得多。年轻的泡利直言不讳地指出，这套理论连广义相对论已经做成的事都丢了：水星近日点的那一点偏移、光经过太阳旁边的那一点弯折，新理论里都算不出来了；它对那几年量子力学的新进展也视而不见。那年十二月，泡利在给爱因斯坦的信里跟他打赌：最多一年，您就会把这套理论整个放弃，就像您先前放弃上一套一样。

一九二九年那套理论，他后来自己也放弃了，换成另一套，再放弃，再换。从一九二五年前后到一九五五年去世，整整三十年，这是他投入最多心血的一件事，也是他一生唯一没有做成的大事。

这个场面值得多看一会儿。报纸上是全世界最有名的科学家，宣布了他最重要的工作；而在物理学真正往前走的地方，也就是原子、原子核、新的粒子那里，他的名字越来越少出现。门外越热闹，门里越安静。

◆ 二、他想统一的是什么

先用大白话讲一下，他这三十年到底在找什么。

当时人们知道的基本的力，主要是两种：引力，管星星、苹果；电磁力，管电、磁、光。引力已经被他写成了时空的弯曲，一整片几何的场。电磁也是一整片场，是麦克斯韦写下的。两片场各有各的方程，并排放着。

他想做的，是把两片场收成一片：找到一套更大的几何，引力是它的一面，电磁是它的另一面。

他还有一个更大的心愿。他希望在这片统一的场里，电子这样的小颗粒，会作为场上某些特别浓、特别稳的地方自己冒出来；量子世界那些一份一份、跳来跳去的现象，也会从这片连续的场的方程里，自然地推出来。如果做成了，一颗一颗、偶然、观察者，这些他一辈子放不下的东西，就都被收回了一整片、定型、不看也在的场里。

他试过五维的几何，试过远程平行，试过不对称的度规，一套接一套。一九五〇年他又发表了一版新的方案，报纸又热闹了一回。

这个心愿，普通人也不难体会。谁都希望一件复杂的事，底下有一个简单的道理把它全管住：一本菜谱管住所有的菜，一条家规管住所有的事。简单的道理省

心，而且好看。爱因斯坦一生的几次成功，恰恰都是找到了这样一个道理，他当然相信，最后还能再找到一个更大的。

◆ 三、四道缝怎样收成一面墙

现在把前面四章连起来看，就能看清这三十年意味着什么。

第 10 章那道缝：理论站场，人生靠一颗一颗的光。统一场论要做的，是把一颗一颗彻底收进一整片。

第 11 章那道缝：理论站秩序，人生靠涨落和统计。统一场论要做的，是让统计和偶然从一个定型的方程里退出去。

第 12 章那道缝：理论站事外，人生靠把自己放进去。统一场论里没有观察者，没有仪器，没有“谁去测”，只有场自己的方程。

第 13 章那道缝：理论站数学，人生靠画面和借来的数学。统一场论几乎完全是从数学上的美出发去找的，他早年那种先有一个画面的办法，在这三十年里很少再出现；没有一只“箱子”、一束“追的光”来给他指方向。

四道缝，在年轻时是四扇开着的门：他从场走到光粒，从秩序走到涨落，从事外走到事中，从数学走到画面，又走回来。统一场论这三十年，把四扇门一扇一扇关上，只留下写下的那一半：场、秩序、事外、数学。四道缝收成了一面墙。

这就是读大师办法里说的第五种悖论：理论反噬本人。大师晚年只信自己的理论，缝隙反过来成了他自己的天花板。它和第三种悖论接在一起：让他成名的东西，一颗一颗的光、乱蹦的涨落，被他晚年的理论排在了门外。

后果是看得见的。这三十年里，物理学在他身边发生了很多事：原子核里的两种新的力被找到，一大群新的粒子冒出来，量子场论一步一步立起来。这些都发生在他那面墙外面。他的统一方案里，原子核里的力几乎没有位置。他渐渐和主流隔开了，年轻一代物理学家敬重他，但很少有人跟着他做。

这面墙不是一天砌成的。把他的年表摆开，能看见一块一块的砖。

第一块砖，是一九一五年那次成功。上一章讲过，在他自己的记忆里，那一回是数学上的简洁把他从弯路上拉了回来。一个人记得自己最大的一次成功是怎样得来的，他晚年就最信那个办法。

第二块砖，是一九一七年的宇宙。他第一个反应是加一根竹签，把宇宙定住。那一次，秩序的直觉没有让他改口，直到一九三一年，观测和“站不稳”两样一起摆到面前。

第三块砖，是一九二五年 BKS 被判负。他坚持每一笔账都要对上，赢了。赢，让秩序的直觉更硬。

第四块砖，是一九二七年、一九三〇年两次索尔维会议。他出的题被玻尔一一答回去。在桌面上输了两回合以后，他没有转向玻尔那一边；他的力气越来越多地花在自己最有把握的地方：场和几何。统一场论从一九二五年前后起步，在这几年里越来越成了他的主业。

第五块砖，是一九三三年离开德国、到普林斯顿高等研究院。那里没有实验室，也不要求带一大群学生；安静、自由，适合一个人对着稿纸算一辈子。这是一片好土，也是一片隔开的土。这一块是本书的读法，不是他本人的说法：一个人脚下那片地，会悄悄决定他还能碰到哪些东西。在柏林，他常去物理学的讨论会，身边是一群争来争去的同行；在普林斯顿，最常和他争的，是远在哥本哈根、一阵一阵才来一回的玻尔。

五块砖，有成功，有胜利，有失败，有迁徙。没有哪一块是他蠢，每一块都有它的道理。可是一块一块砌上去，墙就成了。读大师时，看理论怎样反噬本人，不必找一个“错的决定”，要找的是这些各自有理的砖。

◆ 四、这面墙：可能是纸糊的，也替他挡住了什么

说他“押上全部”，还要说一句公道话：他押的时候，心里是清楚的。

一九五四年，他给老朋友贝索写信，意思大致是：他认为很有可能，物理学根本不能建立在场这个概念上，也就是不能建立在连续的东西上；如果真是那样，他那整座空中楼阁，包括引力理论在内，就什么也剩不下了。

这是一个七十五岁的人，在去世前一年，对自己一辈子押的那一边说出的最坦白的话。他没有说自己错了，他说的是自己很有可能错了。这句话值得读者记住：墙是他自己砌的，他也知道墙可能挡不住。

这里还要守一个分寸。这封信疑的是“场”，疑的是“连续”；它没有说“统计的描述可以是最根本的”。本书立过一个推翻条件：若有可靠史料显示他晚年明确承认统计描述可以是根本的，“他的缝在秩序与涨落之间”这一条就要收窄。这封信不属于这一种，它说明他对“场”那一格有过动摇，对“秩序”那一格，就本书查到的材料看，没有松口。没查到不等于没有，这一条继续挂着。

读大师的办法要求，写理论反噬的时候，要公允，要写清这面墙当年替他挡住了什么。对爱因斯坦，这一条特别要写足，因为他的墙挡住的东西，有些对整个物理学都是好的。

第一，它挡住了随大流。二十年代后期，年轻一代几乎一边倒地接受了新量子力学的读法。一个人站在墙里不跟，这才有了一九三〇年的光子盒，一九三五年的EPR，一九三六年的《物理学与实在》。他在墙里问出的那个问题，远处的两样东西能不能被一下子牵动，后来成了物理学最深的问题之一。卷五会讲，三十年后贝尔把它变成了可以在实验台上判定的东西，又过了几十年，它长成了一个行当。一个随大流的人，问不出这个问题。

第二，它挡住了把物理学退成“算得准就行”。量子力学成功以后，不少人的态度是：别管底下是什么，算得对就行。后来默敏用一句带几分挖苦的俏皮话概括这种态度：“闭嘴，算吧”。爱因斯坦一辈子不肯闭嘴。他坚持要问：底下到底是什么？这份坚持在当时显得不合时宜，今天看，是给物理学留住了一口气。

第三，它挡住了“统一”这个梦的熄灭。他那条具体的路没有走通，可“把几种力收成一种”这个念头，后来被别人从另一条路走出了一大截：六七十年代，电磁力和原子核里的一种弱力被统一成一套理论；更晚一些的理论里，当年那种“多一维几何”的想法又被重新拾起来。这些都不是他的方案，但那面墙里一直亮着的那盏灯，是他点的。

第四，它挡住了虚名的消耗。一个四十岁就成了世界偶像的人，最容易被请去四处讲话、剪彩、表态，把余生耗在名声上。统一场论让他每天都有一道真正难的题可做。他在普林斯顿的日子，大部分时间就是对着稿纸算。这份专注本身，也是一种守。

这四样，前两样是替整个物理学挡的，后两样是替他自己挡的。一个人的理论反噬本人，往往不是因为理论没用，恰恰是因为它太有用：它一次次替他挡住了真正的麻烦，他就越来越放心地躲在里面。

所以，这面墙不是一件蠢事。它是一个人用写下的那一半，替自己挡住了喧闹、挡住了随大流、挡住了放弃追问；代价是，也挡住了他自己活过的那一半。

◆ 五、家长群里的“标准答案”

讲一个日常的故事。

比如有这样一位父亲，在县城一家单位做技术员。儿子上初中，他进了班上的家长群。群里每天几百条消息：这个补习班好，那个辅导书灵，某某家孩子用了某某方法一下子提了三十分。开始几个月，他被带得团团转，今天报这个，明天买那个。

后来他不干了。他坐下来，用了一个周末，把儿子初一全年的错题一道一道过了一遍，发现错来错去就是那么几类：审题不细、计算粗心、几个概念没弄清。他自己做了一张表，给儿子定了一套“标准做法”：每天三道同类题，做完对答案，错了抄进本子，周末重做。他在群里也说：别听那些花样，孩子的问题就那几样，一套标准做法管到底。

这套做法一开始非常灵。儿子成绩稳稳地上去了，他在群里说话也有了分量，好些家长来问他要那张表。这张表替他挡住了很多东西：挡住了群里每天的焦虑，挡住了一个接一个的补习班，挡住了随大流乱花钱。这一面是真的，也是他的功劳。

可是注意他当初是怎样做出这张表的。那个周末，他是一道一道去看儿子的错题，看儿子在草稿纸上哪里犹豫、哪里涂改，还问了儿子好几次：你这一步当时是怎么想的？他当初靠的，是一个一个具体的错，是走进儿子做题的那一刻里去。

到了初三，问题变了。儿子开始碰到那种没见过的综合题，不是审题、粗心、概念这几类能装下的。儿子说：爸，这种题我不知道从哪里下手。他说：照标准做法来，每天三道。儿子照做了，三道一道都做不出来。他又把表格改了一版，加了几个类别，还是那套逻辑：把一切收进一张表。

他的“标准答案”，从一堵挡风的墙，变成了把自己关在里面的墙。他再也没有像初一那个周末那样，坐到儿子旁边，看他在草稿纸上怎样犹豫。

后来是儿子的数学老师提醒了他：这个阶段，您别给他定做法，您陪他做一道题，看他卡在哪。他试了一个晚上，才发现儿子卡住的地方，没有一个在他的表里。

把他和爱因斯坦并排：他把当初靠一个一个具体的错、靠走进孩子做题现场换来的东西，收成了一张包揽一切的表，这和把四道缝收成一面墙是同一个样子；这张表当年替他挡住了焦虑和乱花钱，和统一场论替爱因斯坦挡住了随大流是同一个

样子；他卡在新题型装不进表里，和原子核里的新力装不进统一场论是同一个样子；补法是回到那个周末，重新坐到具体的错旁边去。四样对得上。

◆ 六、缝在哪里

这一章不另立新缝，它讲的是前四道缝的结局。

九宫里的落点不变：S2 场、显露光谱的秩序态、三号位的一号位、E2 的数学。统一场论这三十年，把这四处“理论站在”押成了全部，把四处“人生另活”关在门外。悖论类型是第五种，理论反噬本人，兼第三种，让自己成名的东西后来被自己否定了。

用 123 原理的三拍来看这三十年，也能看得更清楚。第一拍是张力积累：量子力学越成功，他心里那份“底下还少一层”的不安越重。第二拍是形状改变：他把这份不安变成了一个具体的方案，一套又一套统一场论。第三拍是回写，也就是做完以后回头改自己脚下那片地，改自己的出发点。这一拍，他始终没有走。每一套方案失败了，他换一套方案，却不回头去改“只认场、只认秩序”这个出发点。一九五四年那封信，是他离回写最近的一次，也只是说到“很有可能”为止。

要记住的是两面：墙是真的挡住了东西，挡得有价值；墙也是真的把他自己关在了里面。读他的这三十年，不必惋惜，也不必嘲笑。一个人把自己写下的那一半守到最后一天，守出了一个至今没有答完的问题，也守丢了他年轻时最灵的那几样本事。这两件事，都是真的。

> **带走的话**
>
> 统一场论三十年，把四道缝收成了一面墙。它挡住了随大流，守住了追问；也挡住了他自己活过的那一半。

小账

缝隙落在哪一格？——不立新缝：S2 场、显露光谱秩序态、三号位一号位、E2 数学四处“理论站在”被押成全部，悖论第五种（理论反噬）兼第三种。

他教的是什么，靠的是什么？——他晚年教的是一片统一的、定型的、事外的、由数学写出的场；他当年靠的一颗一颗、乱蹦、把自己放进去和画面，被关在了门外。

◆

15

第 15 章

保底、定位卡与判语：他对在哪里

这一章的问题

把四道缝和三十年的墙收在一起，爱因斯坦到底对在哪里，缝在哪里，普通人该怎样学他？

◆ 一、一块没擦的黑板

一九五五年四月十八日凌晨，爱因斯坦在普林斯顿的医院里去世，七十六岁。据记载，他在病床上还让人把稿纸拿来，想接着算。

他在高等研究院的办公室，后来被人拍了照片，照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张。书架上堆着书和期刊，桌上摊着稿纸，墙边立着一块黑板，黑板上写满了式子，没有擦。那块黑板停在一道没有做完的题上。

不妨想象站在那张照片前面看一会儿。黑板上是他写下的那一半，那三十年他天天推的东西：一片场、一组方程，干干净净，没有观察者，没有偶然，没有一颗一颗的光。可是站在黑板前的这个人，一辈子最亮的那几件事，全在黑板外面：一九〇五年的光粒和花粉，一九〇七年从房顶上掉下来的那个人，一九一七年交给“偶然”的那一跳，一九二四年从印度寄来的那封信，一九三五年那个让远处两样东西互相牵动的问题。

这个场面值得多看一会儿。黑板上的题没做完；黑板外面的，已经改变了整个物理学。

◆ 二、先说保底：他对在哪里

这一卷每一章都先说了他对在哪里。这里收拢成几条。

第一，“不看也在”的世界，在我们活着的这个尺度上是对的，是一切做事、一切实验的地基。第 9 章讲过。

第二，“是理论决定我们能观察什么”，至今是对的。仪器读出的每一个数，都要靠理论去解释；这句话还启发了海森堡的不确定关系。第 9 章、第 12 章讲过。

第三，对场的信，没有押错。今天物理学最通行的说法，最底下确实是场；只是场会一份一份、带着偶然地露出来。第 10 章讲过。

第四，对统计的读法，在他那一行的老规矩里有根；世界在最底下是不是定型的，至今悬着，玻姆那一类理论仍然是决定论的。第 11 章讲过。

第五，他要的一号位，是从二号位、三号位里一步一步提炼出来的：相对论找的正是所有观察者都认的那些东西。第 12 章讲过。

第六，他晚年信数学，有他自己的理由：一九一五年那组方程，确实是数学上最自然的写法，数学确实是推开那扇门的两只手之一。第 13 章讲过。

最要紧的是第七条：EPR 抓住的东西是真的。远处两样东西之间那种说不清的牵动，也就是后来物理学叫作“纠缠”的现象，和“一边的测量能不能影响另一边”的定域性问题，是物理学的真问题。他在这个问题上的答案被实验判负了，可问题本身，长成了今天一个行当。这里顺带交代一句：物理学里的“量子纠缠”，和本书在 SDE 里说的“特征纠缠”，不是一回事，是两个行当的两个词；它们之间有一种相像，卷五细说。

七条保底，都要先认下，缝才有地方落。这七条也说明了一件事：他写下的那一半，不是一张过期的旧地图。今天做物理的人，仍然每天在用他写下的东西，用“不看也在”去设计实验，用“理论决定能观察什么”去读数据，用场去写方程，用 EPR 那个问题去造新的仪器。缝不是说那一半没用，是说那一半不是全部。

◆ 三、缝隙定位卡与悖论一句话

把这一卷的四道缝和一面墙，收成一张卡。这张卡是全书统一的，卷四、卷五和结语都要用到。

> 【缝隙定位卡】爱因斯坦（物理，1879—1955）
> 理论站在：
> ①S2 模态维 · 场（第 166 号前判，接着判）
> ②显露光谱 · 秩序态：一个严格因果、定型的世界，“上帝不掷骰子”
> ③三号位 · 一号位：实在不依赖观察者，物理学写“事外”的世界
> 人生另活：
> ①粒子（1905 光量子）、波（1909 萨尔茨堡讲话预言波粒融合）
> ②混沌态与统计：布朗运动（1905）、涨落、1916—17 辐射论文里的“偶然”、1924—25 玻色—爱因斯坦统计
> ③三号位的“自己心里”与二号位的“观察者之间对表”：追光、升降机思想实验，相对论本身就是讲观察者之间怎样换算
> 另一道缝：E2 信息。晚年只信方程的简洁（数学），早年靠图像思维、思想实验（符号·画面），数学靠借（格罗斯曼）
> 理论反噬：统一场论三十年（1925—1955），把“只认场、只认秩序”押成了全部
> 保底：EPR 抓住的东西是真的——纠缠与定域性问题是物理学的真问题；“是理论决定我们能观察什么”至今是对的
> 缝隙位置：S2 格内（前判）＋九宫外两组（显露光谱、三号位）＋E2 格内
> 大师悖论类型：第三种（让自己成名的东西后来被自己否定了）兼第五种（理论反噬本人）

照读大师的规矩，九格要逐格过一遍，不能找到几道缝就停，也不能为了凑满九宫硬塞。其余几格，本书也看过：比如 E1 三界里，一九三三年被迫离开德国，

是现实界把他推了一把；E3 能量里，他晚年一开口就有人跟，靠的是几十年攒下的名望。这些都是真的，但在他和玻尔这场争论里不承重，证据也不够把它们立成一道缝，这里不强行写进卡里。

> **他教的是一个不掷骰子的世界，他靠的是第一个把骰子放上桌。**
> 他反对的，正是他开的头。

这一句是这一卷四道缝压成的一个画面。

“不掷骰子的世界”，是他写下的那一半：一个定型的、一丝不乱的、不看也在的、能用一片场和几条简洁方程写尽的世界。他守了三十年，守到黑板上最后一行。

后半句，是他活过的那一半。一九〇五年，他说光是一颗一颗的，而且从水里颗粒的乱蹦里读出了分子；一九〇九年，他从辐射的忽高忽低里读出了光的两面；一九一六到一九一七年，他在所有人之前，把原子什么时候跳、往哪边跳，交给了“偶然”；一九二四年，他接过玻色的数法，数出了一大群原子怎样一下子凝到一起。后来的量子力学所说的“概率”，他是最早摸到它、最早把它写进原子最基本那一跳里的人之一。

短句说的就是这个意思。这不是说他自相矛盾，更不是说他不诚实。他在一九一七年就把“偶然”标成了自己理论的弱点，他知道自己开了什么头；他押的是：这个头，终究会被一个更深的秩序收回去。这一押，至今还没有开出最后的结果。

骰子放上桌以后，接着往下玩的是别人。一九二六年，玻恩把薛定谔波动力学里的那个波，读成在某处找到电子的可能性有多大；一九二七年，海森堡写出不确定关系；同一年，玻尔在科莫讲“互补”。卷一讲过的那几个回合，桌上摆着的，正是他一九一七年放上去的那一样东西。他坐在桌子的另一边，看别人用他开的头，下出了一盘他不认的棋。

这不是本书替他硬拉的线，下棋的人自己说过。一九五四年，玻恩领诺贝尔奖，讲自己怎样想到“概率”那一步。他在讲演里说了两处，都落在爱因斯坦身上。一处说：原子怎样跳的那一步，决定性的一步又是爱因斯坦走的，他重新推出了普朗克的辐射公式，让人看清，老的“光有多强”那个说法，必须换成“跳的可能性有多大”。另一处说：又是爱因斯坦的一个想法给了我线索，他曾试着把光波振幅的平方，读成在那里碰到一颗光子的可能性，这个想法可以原样搬到电子上。

也就是说，量子力学里那颗骰子，是玻恩从爱因斯坦手里接过去的。接过去的人，当着全世界说了出来；放骰子的人，一辈子不肯认这颗骰子是最后的答案。那年爱因斯坦还在世，离他去世只剩几个月。

这句判语接着第 166 号那句“他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论”，不改判。第 166 号说的是形态，本书说的是定没定型；两句合起来，是同一个人的两面。

◆ 四、只学他理论的人卡在哪

照读大师的办法，要写一群只学了他写下那一半的人，会在哪里卡住。不点真人的名，写成群像。

一种是学物理的学生。他们从科普书里学到了“上帝不掷骰子”，学到了“简洁就是美”，心里认定真正的理论必须一个方程管到底。他们碰到需要读乱、读统计的时候，比如一堆实验数据里有一点说不清的偏差，就把它当成噪声扔掉。他们忘了，爱因斯坦成名的第一件事，就是把别人当噪声的乱蹦当成了证据。

一种是管事的人。他们学到了“统一”，想用一个指标、一套制度、一张表管住整个单位。碰到需要看一个一个具体的人、具体的差错的时候，就说“这是个别现象”。个别现象里，常常就藏着下一件大事。

一种是做家长、做老师的。他们学到了“世界是定好的”，给孩子一个标准答案，要一个准话。碰到孩子的路本来就带着偶然、要一步一步试出来的时候，就焦虑，就想把偶然拧死。

一种是搞技术、写方案的人。他们学到了“数学最可靠”，一上来就建模、算数。碰到需要先有一个画面、先把自己放进用户那一刻去想的时候，就想不出来；模型越来越精，方向却一直不对。

还有一种，是喜欢站在事外评论的人。他们学到了“客观”，觉得只要自己不掺进去，看到的就是真的。碰到那些只有掺进去、和别人对一对才看得清的事，就一直隔着一层。

归结起来一句话：学得越像他写下的那一半，离他本人越远。他本人是一个敢在所有人之前先认下偶然的人，追随者学去的，却只剩一句“不掷骰子”。

◆ 五、普通人版：河边钓鱼的老人

前几章已经讲了六个普通人的故事：老会计的账，修车师傅的耳朵，晒被子的人，外卖骑手，腌咸菜的奶奶，还有家长群里那位父亲。这里再讲一个，把四道缝放在同一个人身上。

比如有这样一位退休老人，在资江边上钓了二十年鱼。他钓鱼有一套“理论”，逢人就讲：看天、看水、看季节，气压高、水温合适、风从哪边来，鱼就在哪一层，一片水域什么样，心里要有一张整图。他手机里存着一张自己整理的“鱼情表”，什么月份、什么天气、钓什么鱼、用什么饵，一格一格清清楚楚。他说：钓鱼是讲规律的，不是碰运气。

这张整图，这张表，是他写下的那一半：一整片，定型，事外，一格一格的数。

可是你坐在他旁边看一上午就知道，他钓得多，不全靠这张表。他靠的是那根鱼漂：一点一点，漂尖往下一顿，是小鱼啄；慢慢往上一顶，是大鱼吃口。那是一颗一颗的信号。他还知道，同样的天气，今天就是没口，明天却连竿，他从不较劲，换个窝子再试，这是认了偶然。他坐下来之前，先看看自己的影子会不会落到水面上，脚步会不会惊着鱼，他知道钓的人本身就在这片水里。他还常跟旁边几个老钓友互相喊一声“你那边有口没有”，几个人一对，就知道鱼今天游到哪一段去了。

他靠的，是鱼漂上的一颗一颗、没口时的认账、把自己算进水里、和老钓友对表。这些他从来不讲，讲出来的只有那张表。问他怎么知道今天该换窝子，他说“感觉”；问他为什么老跟人喊话，他说“聊天”。他真正的本事，在他自己嘴里都成了闲事。

他的天花板出现在带外孙那年。外孙照着那张表钓了一个暑假，钓得很少，回来说：外公，你的表不准。老人急了，拿着表一格一格对，对不出毛病。最后是他坐到外孙旁边看了一回：外孙眼睛盯着手机里的表，鱼漂动了三回都没看见。

他那天没再讲表。他让外孙把手机放下，先看鱼漂看一个钟头，每动一下就说出来是什么样的动。他又教外孙，坐下来先看影子，隔一会儿问问旁边的钓友。那张表，他没扔，只是跟外孙说：表是回家以后看的，鱼漂是坐下以后看的。

四步对一下：他嘴上信一张整图、一张表，和爱因斯坦的场、秩序、事外、方程同格；他真正靠鱼漂的一颗一颗、偶然、把自己算进水里和对表，和光粒、涨落、观察者、画面对得上；他卡在外孙只看表不看漂，和追随者只学“不掷骰子”对得上；他后来的带法，就是下面这一节的补法。

◆ 六、补上缝隙，可以这样学

学爱因斯坦，他写下的那一半要认真学：相信世界不看也在，相信底下有秩序，追求简洁，敢于追问到底。这是真东西。学完了，要做他的补丁，在他理论缺的那四处多下功夫，而且按剂量来，一次只比能扛的多一点。

第一处，在“一整片”旁边补“一颗一颗”。看全局的时候，专门留一段时间看单个的事、单个的人、单个的数。开会复盘，先看一件具体的事，再看这一段的起伏，最后看整体的风气，三遍分开看。

第二处，在“秩序”旁边补“涨落”。碰到对不上的一点偏差，不急着当噪声扔掉，先记下来，问一句：这点乱里有没有东西？给自己留一个“只记录、不下结论”的本子，专记那些说不清的零碎。

第三处，在“事外”旁边补“放进去”和“对表”。看一件事，先站在外面看一遍，再想象自己就是当事的那个人看一遍，最后找两三个站在别处的人对一对。三个位置都走过，再说“客观”。

第四处，在“方程”旁边补“画面”和“借”。讲一个道理，先画一张图、讲一个场面，再列数、再推理。自己算不过来的地方，敲敲老同学的门，承认自己借了谁。

四处不必一起补。按剂量来，一次只补一处，每处只比平常多走一小步。比如这个月只练第二处：每天睡前在本子上记一件“今天没想通的小事”，不求答案，只求记下。一个月后翻一翻，常常会发现，那些零碎里有两三件连成了一条线。下个月再换一处。补丁是一块一块打上去的，不是一夜之间换一件新衣服。

最后，还有一条是从他那三十年里学来的：越灵的招，越要给自己留一道改的口子。一九五四年他在给贝索的信里承认，“场”这条路很可能走不通。这封信只说到场，没有碰他对“秩序”、对不掷骰子的信念；可就场这一格而言，这句话说

得晚了一点，但说得好。每隔一段时间，问问自己：我这套做法，挡住了什么，又把我关住了什么？

这四处补丁，合成一句话，可以带在身上：

信一整片，也数一颗一颗；守秩序，也读涨落；站事外，也把自己放进去；写方程，也先画一张画。

带走的话

他教的是一个不掷骰子的世界，他靠的是第一个把骰子放上桌。他反对的，正是他开的头。

小账

缝隙落在哪一格？——S2 格内（前判）＋九宫外两组（显露光谱、三号位）＋E2 格内；悖论第三种兼第五种。

他教的是什么，靠的是什么？——教的是定型、事外、由场和方程写尽的世界；靠的是光粒、涨落、偶然、把自己放进去、画面和借来的数学。

卷　三

玻尔的缝隙

卷　首　语

初冬一个周六的晚上，小满回到县城。老秦把棋盘收起来，给她泡了一杯姜茶。

小满说，外公，上一卷读完了，爱因斯坦那道缝我算看明白了：嘴上要一个不掷骰子的世界，成名靠的却是最早把骰子放上桌。可是玻尔呢？书上都说他赢了，说他讲的“互补”是量子力学的正统。赢家也有缝吗？

老秦想了一会儿，说，赢家的缝更难看出来。输家的缝，别人替他找；赢家的缝，连他自己都不去找。

他说，玻尔最有名的一句主张，是“两样都要”。光有时像一颗一颗的，有时像一阵一阵的波，他说这两种样子互相排斥，却缺一不可。这话漂亮，也对。可你去看他这个人怎么过的一辈子，会发现一件怪事：前半辈子，他只认波，不认那一颗一颗的光，一认就是十几年；后半辈子，他只认自己那一种读法，别人拿着另一种读法来敲门，门没开。

小满说，那不就是说一套做一套吗？

老秦摇头。不是。他那样守，有他的道理，也守住了不少东西。只是他写下来的那一半，和他活过的那一半，中间有道缝。

小满问，那这道缝，是在他跟爱因斯坦吵架的时候露出来的？

老秦说，吵架的时候露了一角。要看全，得把他这一辈子从头看一遍。

这一卷七章。先讲他的秘籍，说清他对在哪里；再讲三道缝，一道比一道深；然后讲他脚下那片地；再去看他去世前夜那块黑板上留下的两幅草图，其中一幅是爱因斯坦 1930 年的光子盒；最后给他填一张定位卡，压一句判语。

16

第 16 章

他的秘籍：两样都要

这一章的问题

玻尔教人的那套“互补”，到底说的是什么，他对在哪里？

一九二七年春天，哥本哈根理论物理研究所的楼上，灯一直亮到半夜。

玻尔刚从挪威滑雪回来。他出门这几个星期，二十五岁的海森堡已经把一篇论文写好了，就是后来那篇讲“不确定关系”的名文。论文用的是一幅很干脆的画面：想知道一个电子在哪，就用光去照它；光一照，就把电子撞歪了；所以位置和速度，没法同时测准。画面里，电子是一颗一颗的小粒子。

玻尔读完，不满意。据后来的记载，他的意见大意是：海森堡漏了一半。光和电子不只是一颗一颗的，它们也是波；那台照电子用的显微镜能看多清楚，本来就要靠波的道理来算。只讲颗粒，结论碰巧对了，理由却不全。

海森堡不肯让。两个人从晚饭后吵到后半夜，一连吵了好些天。又据记载，吵到有一回，年轻人急得掉了眼泪；他说的一些尖刻话，也伤了玻尔。玻尔甚至劝他把已经交出去的稿子撤回来。海森堡没有撤，只是在文末加了一段附记，承认玻尔提醒的那一层，也改正了显微镜那一处的错。

这个场面值得多看一会儿。在这里，玻尔是那个坚持“两样都要”的人。年轻人只要一样，他不答应。他宁可和研究所里最有才气的年轻人吵到后半夜，也要把被丢掉的那一半捡回来。

几个月后，一九二七年九月，他在意大利科莫湖边的一次纪念会上，第一次公开讲出了“互补”。这一章就讲这两个字。

◆ 一、两样都要：互补说的是什么

先讲一个物理上的怪事。

光是什么？一百多年里，物理学家做了无数实验，证明光是波。两道光叠在一起，会一处亮一处暗，像两圈水波碰在一起，有的地方浪头更高，有的地方互相抵平。只有波才会这样。

可是到了二十世纪初，又有实验说，光打在金属上，是一份一份地把电子打出来的，像一颗一颗的小子弹。这一条是爱因斯坦一九〇五年讲出来的，前两卷已经讲过。后来连电子也出了怪事：人人都当它是一颗小颗粒，它却也会像波一样一处亮一处暗。

那到底是颗粒还是波?

玻尔的回答是：你别急着二选一。你用一种仪器去问，它就答你颗粒；你换一种仪器去问，它就答你波。这两种答案不能在同一次实验里同时出现，一个出来了，另一个就藏起来。可是你要把这个东西讲全，两种答案都得要，少了哪一个，都讲不全。

这就是“互补”的大意：两种看法互相排斥，又缺一不可。

这里要防一个常见的误会。互补不是折中，不是各让一步、取个中间值。折中是说，颗粒和波各对一半，那就当它是“半颗粒半波”吧。玻尔不是这个意思。他

说的是：用这种办法问，它就是十足的颗粒；用那种办法问，它就是十足的波。每一面都是完整的，不打折扣；只是两面不能同时亮出来。

打个比方，一个人在单位是说一不二的科长，回到家是任孙子骑在脖子上的爷爷。你不能说他是“半个科长半个爷爷”。在单位，他就是完完整整的科长；在家里，他就是完完整整的爷爷。你要是只见过他在单位的样子，就说他是个冷面的人，那是错的；只见过他在家的样子，说他是个没脾气的人，也是错的。要认识这个人，两个样子都要，而且每个样子都得看足。

互补难就难在这里：它要人把两个互相打架的样子，都当真，都看足，又不急着把它们捏成一个。

再换一个比方。一枚硬币，你从正面看，看见的是字；从背面看，看见的是花。你不可能在同一眼里同时看全正面和背面。可你要是只认正面，说这枚硬币就是字，那就错了。互补比硬币更怪一点：硬币的两面，你翻一下就都看到了，它本来就在那里；而在玻尔那里，颗粒和波，要看你怎么去问，才会亮出哪一面。

◆ 二、现象要把仪器算进去

这就引出他的第二条：说一个“现象”，要把仪器一起算进去。

平常我们说“电子在这里”，好像电子自己就在那里，我们只是去看了一眼。玻尔说，在原子这么小的地方，这句话不能这么说。你拿什么去看，本身就是这件事的一部分。你说“电子在这里”，完整的说法应该是：在这样一套仪器、这样一种安排之下，得到了这样一个读数。

把仪器、安排、读数连在一起，这一整套，才叫一个现象。

为什么在平常的世界里用不着这么讲究？因为平常的东西大，我们看它的动作小。你看一眼桌上的茶杯，照在茶杯上的那点灯光，推不动它分毫。你可以轻轻地

看、远远地看，看了跟没看一样。所以我们习惯了说“东西就在那里”，看不看都一样。

原子里不行。要看一个电子，至少得用一份光去碰它。这一份光，已经小到不能再小了，没法再“轻一点”。可对电子来说，这一份光的一碰，就够把它推到别处去。你的看，和它的动，搅在一起，分不开了。这就像在一间漆黑的屋子里找一只乒乓球，手里只有一根竹竿，你每碰到它一下，它就滚走了。你能说出的，只是“竹竿在这里碰到了它”，而不是“它不被碰的时候在哪里”。

玻尔的意思是，这不是仪器不够好，将来造一台更精的就能解决；这是原子世界本身的规矩。所以，与其假装仪器不在场，不如老老实实把它写进现象里。

用本书的话说，这是一种站在“两边之间”的看法。前面的卷已经用过“三号位”这组词：一号位是事外，只看东西本身；二号位是事中，看人和人之间、东西和东西之间怎样来回；三号位是自己心里。爱因斯坦的物理学，站在一号位，要写一个不管谁看都在那里的世界。玻尔往前挪了一步，站到了二号位上：他说，你看不见一个撇开仪器的电子，你看得见的，永远是电子和仪器之间那一回来往。

◆ 三、两座桥：对应原理与经典的话

互补不是玻尔的第一件法宝。早在一九一三年他提出原子模型的时候，他就发现了一件事：原子里那些古怪的新规矩，放到大尺度上去看，应当和老物理学的答案对得上。电子轨道小的时候，一切都是一份一份跳的；轨道越来越大，跳一步的差别越来越小，最后就和老物理学讲的连续变化分不出来了。

他把这条叫作对应原理，从一九一八年前后起一直用它当拐杖。意思是：新旧之间要有一座桥。你可以去一个陌生的地方，可桥这头要牢牢钉在大家都认得的地上。

这根拐杖很管用。二十年代初，原子物理还没有一套完整的新数学，大家手里只有些零零碎碎的新规矩，谁也不知道下一步该往哪走。对应原理给了一个方向：

先看老物理学在大尺度上怎么说，再倒推小尺度上该有什么样的新规矩。研究所里的年轻人，很多都是拄着这根拐杖往前摸的。后来海森堡写出新力学的第一篇论文，背后也有这根拐杖的影子。

不过这根拐杖也有它的脾气。它总是把人往老物理学那头拉。老物理学里，光是连续的波。所以拄着这根拐杖的人，会本能地不喜欢那一颗一颗的光。这一点，下一章还要细说。

这一条，和他后来的互补是一脉相承的。它们说的都是：不要只要新的那一半，也不要只要旧的那一半。

第二座桥，最容易被人忽略，玻尔却看得最重：不管原子里发生什么，实验的结果都必须用经典物理的概念、用日常的语言报告出来。

为什么？因为实验是人做的，读数是人读的，结果是要讲给别人听、让别人能照着再做一遍的。仪器上的指针指在几，底片上哪里有个黑点，钟走了几秒，这些都得用大家听得懂、不会误会的话说清楚。说不清楚，别人没法核对，这就不叫实验了。

所以在玻尔这里有一个很硬的要求：原子世界可以怪，报告原子世界的话不能怪。话要清楚、无歧义，要让隔壁实验室的人一听就懂。

用本书的九宫格来说，这一条落在 E2 信息（说话、推理、计算这三种传信息的样子）里的“符号”上：他把“说清楚”当成了科学的门槛。

◆ 四、他把它抬到了多高

读一位大师的秘籍，缝隙读法要问一句：这一条有没有被他抬成“全部”？

玻尔的“互补”，是被抬得很高的。

在科莫那一次，它还只是一条讲原子的道理。那次会是为了纪念伏打去世一百周年开的，来的人很多，爱因斯坦没有去。玻尔讲得很长，很绕，听的人未必都听

懂了。可从那以后，他讲这两个字的场合越来越多，讲的范围也越来越宽。物理之外，他拿它去说生命，说人心，说不同的文化怎样相处。在他看来，这不是一条专管电子的规矩，而是人认识世界时处处会碰到的一种处境：有些东西，你只能分两回看，每回只看到一面，两面合起来才是全貌。

一九四七年，丹麦给他授大象勋章。照规矩，受勋的人要有自己的纹章。他自己选了图案：一个黑白两半相抱的太极图。上面写着一行拉丁文，意思是“对立即互补”。

一个物理学家，把一条物理原理刻进了自己的纹章。这说明，在他心里，“两样都要”已经不只是一个结论，而是一种活法，是他愿意拿来代表自己一生的那句话。

这一点要记住。后面几章看他的缝，就是拿这句刻在纹章上的话，去对照他真实走过的路。一句话被抬得越高，它和人生之间的缝，就越值得看。

◆ 五、他对在哪里

照缝隙读法的规矩，说一个人漏了什么之前，先说他对在哪里。玻尔对的地方很多，挑三处说。

第一，“现象要把仪器算进去”，到今天还是对的。量子物理里至今最难啃的一块，叫测量问题：一个东西在没人测的时候，是个什么样子；一测，它怎么就定下来了。这个问题，玻尔没有解决，但他是最早坚持“测量不是旁观”的人之一。今天做量子实验的人，每天都在跟“仪器怎样搅进现象”打交道。

第二，“两样都要”让物理学家在一个两难里站住了脚。颗粒和波，二十多年里吵个不停，谁都说服不了谁。玻尔说，别再争谁对谁错，两个都对，只是各管一种问法。这句话让很多人能放下争吵，回去干活。

第三，“必须用日常语言说清楚”，守住了实验科学的底线。原子世界再怪，科学也不能变成只有少数人才懂的暗语。

再补一处小的。开头那场和海森堡的争吵，玻尔在理上是站得住的。海森堡那台想象中的显微镜，能看多清楚，确实要用波的道理去算；光把电子撞歪了多少，也确实和波有关。年轻人加进附记，改掉了那个错。那一年秋天的索尔维会议上，量子力学的新框架第一次在一大群顶尖物理学家面前站住了脚，里面就有玻尔坚持捡回来的那一半。

这三条，是他用一辈子压出来的。学他，先要把这三条学到手。学到手的标志，不是会背“互补”两个字，而是碰到两种互相打架的说法时，能忍住不急着挑一个，先问一句：它们各是在什么样的问法下说出来的？

◆ 六、居委会调解员的两本笔录

把这套道理放到日常里看，最像的，是一位居委会的调解员。

比如有这样一位调解员，姓罗，五十来岁，在一个老小区干了十几年。有一年夏天，三楼的卫生间漏水，渗到了二楼的天花板上。二楼的老两口说三楼不讲理，漏了半个月都不修；三楼的小夫妻说二楼的天花板早就发霉了，关他们什么事。两家在楼道里吵，吵到居委会来。

罗主任的办法有三步。

第一步，她分开听。先去二楼坐一个钟头，听老两口从头说；再去三楼坐一个钟头，听小夫妻从头说。她心里清楚，两家不能放在一起听。放在一起，谁都不肯把话说完，一方开口，另一方就打断。分开听，每一家才肯把自己那一面亮出来。

第二步，她两本笔录都留着，不急着判谁对。二楼说的发霉、漏水的日子、打过几次电话，是真的；三楼说的卫生间刚装修过、找人查过管子，也是真的。两份笔录互相顶着，可缺了哪一份，这件事都讲不全。

第三步，她知道自己怎么问，就会听到什么。她进二楼的门时拎着一袋水果，进三楼的门时也拎一袋；她问二楼“这些天住得难受吧”，问三楼“装修花了不少心思吧”。换一种问法，比如一进门就说“你们家漏水了知不知道”，听到的就是另一番话。她把自己的问法，也算进了听到的东西里。

最后她把两家请到居委会，拿出一张纸，用两家都听得懂的大白话写下来：哪年哪月装修，哪天发现漏水，谁来查过，查出了什么。写清楚了，两家都在上面签了字。

分开问，两样都留，问法算进去，最后用两边都认的话写清楚。这四样，正好对上玻尔的四条：互补、两样都要、现象包含仪器、必须用日常语言说清楚。

这里头最难学的，是第三步。很多新来的调解员也知道要分开听，也知道两边的话都要记，可他们一进门就带着自己的判断。心里先认定了是楼上的错，问出来的每一句话都往楼上那家身上引，听到的也就全是楼上的错。罗主任常跟新人说，你拿什么眼光进门，人家就给你看什么脸色。这句话，和玻尔说的“你拿什么仪器去问，它就答你什么样子”，是同一个意思。

还有一个细节。那张最后签字的纸，罗主任从来不用“违规”“责任方”这样的词，也不写“据查”。她写的是“六月十二号上午，三楼王师傅来看过，说是地漏下面的管子接头松了”。两家人都认得王师傅，都知道六月十二号那天下过雨。话清楚到这个地步，就没有人能在上面再扯出别的意思来。

罗主任这套办法，调解了十几年的邻里纠纷，大多数都调成了。这是真本事。

可是，这一章只讲她做对了什么。后面几章要看的，是她自己在别的事情上，是不是也这样两边都听。玻尔也一样。

带走的话

互补说的是：用一种办法问，它答一个样；换一种办法问，它答另一个样。两样都要，缺一不可。

小账

缝隙落在哪一格？——这一章还没落缝，先落他的秘籍：九宫之外的三号位，站二号位（现象要把仪器算进去）；E2 信息，站符号（必须用日常语言说清楚）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是两样都要、说清楚；这一章先认下：这一半是真的，是他压了一辈子的真本事。

17

第 17 章

第一道缝：讲波粒互补的人，前半生只要波

这一章的问题

后来教人“颗粒和波两样都要”的玻尔，为什么前半辈子只要波，不要那一颗一颗的光？

一九二二年十二月，斯德哥尔摩。

这一年十一月，诺贝尔物理学奖同时公布了两个名字。一个是爱因斯坦，补授一九二一年的奖，理由写的是他对理论物理的贡献，特别是发现了光电效应的定律。那条定律，说的正是光打到金属上，一份一份地把电子打出来。另一个是玻尔，一九二二年的奖，理由是他对原子结构和原子辐射的研究。爱因斯坦那时正在去日本讲学的路上，没有到场；玻尔到了。

两个人同一年上了领奖名单。卷一讲过，他们两年前在柏林初见，彼此一见倾心。

十二月十一日，玻尔站到台上，做他的诺贝尔演讲。讲原子，讲电子怎样在轨道之间跳，讲原子怎样放光、吸光。讲到光本身的时候，他没有给爱因斯坦那一颗一颗的光留位置。他先客气地承认，光量子这个假设有启发作用；接着说，它和光的干涉现象根本合不到一起，说明不了辐射的本性。

这是我构想的一个画面：台下坐着的人里，有人手里拿着同一份名单。名单上，爱因斯坦的奖是因为一份一份的光；台上，同一届的获奖人说，那一份一份的光，他不认。

这个场面值得多看一会儿。五年以后，站在台上的这个人要告诉全世界：光既是颗粒，也是波，两样都要，缺一不可。可在一九二二年的这个冬天，他只要波。

这一章就讲这件事：从一九一三年到一九二五年，十几年里，玻尔怎样坚持只要波；他为什么坚持；最后又是怎样被实验判了负。

◆ 一、一九一三年：一份一份地放光，却不叫它光子

先回到一九一三年。那一年玻尔二十七岁，在曼彻斯特卢瑟福那里待过之后，写出了后来叫“三部曲”的三篇论文，给原子画了一张新图。

图是这样的：原子中间有个核，电子在外面绕。它不能随便绕，只能在几条固定的轨道上走，像楼梯上的台阶，只能站在这一级或那一级，不能站在两级中间。电子从高一级跳到低一级，就放出一份光；从低一级跳到高一级，就要吸进一份光。放多少、吸多少，由两级台阶之间的高低差决定。

这张图一出来，就解释了氢原子发光为什么只有那几种特定的颜色。几十年里谁也说不清的一张光谱表，一下子对上了。

有意思的是，这张图里，光明明是一份一份放出来的。可玻尔用的词，是普朗克那种“能量子”，说的是原子放出能量时一份一份地放；他不用爱因斯坦的“光量子”，不说光本身就是一颗一颗的。在他的图里，份数只属于原子这一头，光飞出去以后，照样是一阵连续的波。

用一个家常的比方：一个水龙头，一次只能拧开一格，一格放一杯水。可这杯水倒进河里，就成了河水的一部分，不再是一杯一杯的了。玻尔认的是水龙头一格一格地拧，不认河里的水是一杯一杯的。

同一年，他还发现了一件让他更放心的事：电子轨道越大，他那套新规矩算出来的光，就越接近老物理学算出来的光。这就是上一章讲的对应原理的起点。一九一八年前后，他把这条话讲得更明白：量子论是老辐射理论的一种合理推广。

推广，不是推翻。在他心里，老物理学讲的连续的光，是那座桥牢牢钉住的一头。

这里有一个两人之间的小对照。玻尔的原子图一出来，爱因斯坦就很佩服。多年以后，他在自述里称赞玻尔这一套原子理论，大意是：凭着那样零碎、矛盾的根据，能摸出光谱和原子里电子排布的规律，这是思想领域里最高形式的音乐感。一个讲一份一份的光的人，由衷地佩服一个讲一份一份的原子的人；而后者，偏偏不肯把“一份一份”交给光。两个人都认“份”，只是认在了不同的地方。

◆ 二、他为什么宁可要波

讲到这里，要先替玻尔说一句公道话。他只要波，不是犯糊涂，是有很硬的理由。

第一条理由是证据。光是波，这一条在当时已经有一百多年的实验撑着。两道光会互相加强、互相抵消，会绕过小孔、在墙上画出一圈一圈明暗的纹路。整个电磁学，从无线电到X射线，都是建立在光是波这一条上的。爱因斯坦的光量子，能解释光电效应，却解释不了这些纹路。一颗一颗的小子弹，怎么会一处亮、一处暗？谁都讲不出来。

第二条理由是方法。玻尔的拐杖是对应原理，这根拐杖要求新规矩在大处回到老规矩。老规矩里，光是连续的波。如果连光本身都变成一颗一颗的，那座桥的这一头就没处钉了。

第三条理由，是那个年代多数人的态度。不只是玻尔，当时绝大多数物理学家都不信光量子。连普朗克这样最早提出能量一份一份的人，也不信。爱因斯坦本

人，在一九〇九年的萨尔茨堡讲话里也只是说，将来的光理论，会是波和颗粒两种看法的某种融合。那时候，没有人知道这种融合该长什么样。

所以，一九二二年的玻尔站在台上说光量子站不住，并不孤单。他站在当时物理学的大多数一边，站在一百年的证据一边。

还要看到，这十几年里，“只要波”并没有耽误他做事，反而让他做成了很多事。拄着对应原理这根拐杖，他把原子的新图一层一层往外推：从最简单的氢，推到电子多的原子，推到整张元素周期表，试着说明为什么有的元素爱跟别人结合，有的元素懒得动。那几年，哥本哈根成了全世界研究原子的人都想去的地方。他的诺贝尔奖，奖的正是这一段工作。

也就是说，只要波的那个玻尔，不是一个固执的失败者，而是一个正在走上坡路的成功者。这一点让缝更难被看见：一个人一路在赢，他手里那条“只认一样”的规矩，看上去就像是赢的原因。

所以要写清楚：缝隙不是谁犯了错。缝隙是：这个后来教人“两样都要”的人，那时候一次只认了一样，而且认得很坚决。

还有一个故事，常被拿来说明他坚决到什么程度，这里照实写，也照实打个问号。

据克拉默斯的传记作者德累斯顿记载，一九二一年前后，玻尔最得力的助手、荷兰人克拉默斯，已经用一颗一颗的光，算出了后来叫“康普顿效应”的那个现象：光打到电子上，像两个台球相撞，光弹开以后，颜色会变。克拉默斯拿去给玻尔看。玻尔强烈反对，两人一连争了好些天。照德累斯顿的说法，克拉默斯争到后来病倒，进医院住了一阵；出院以后，他放弃了光子，后来还成了反对光子的人。

一九二三年，美国人康普顿做出了这个实验，也用一颗一颗的光解释了它。这个效应后来以康普顿的名字命名。

这个故事的来源只有一处，史家有人信，有人保留。本书只把它当作“据记载”，不把它当成定论。它能说明的，最多是那几年玻尔身边的空气：在他的研究所里，谈光子，是要顶着压力的。

◆ 三、一九二四年：宁可让守恒松一松

康普顿的实验出来以后，光子的证据越来越硬。一个光子撞一个电子，撞完以后，两边的能量加起来一分不少，像两个台球相撞一样干净利落。

玻尔怎么办？一九二四年，他和克拉默斯、美国来的年轻人斯莱特一起，发表了一篇论文，后来按三个人的姓，叫 BKS 论文。

斯莱特来哥本哈根的时候，带着一个自己的想法：光还是一颗一颗的，但每一颗光，都由一阵看不见的波引着走。他想用这个办法把颗粒和波捏到一起。玻尔和克拉默斯不接受光子，把光子拿掉了，只留下那阵引路的波。

光子拿掉了，康普顿那种“一撞一个准”的能量账，就对不上了。玻尔的办法是：让能量守恒松一松。他们说，能量和动量不必在每一次碰撞里都守恒，只要在大量碰撞的总账上守恒就行。一次一次地看，账可以对不上；一大堆加起来看，账是平的。

这是一个极大胆的主意。能量守恒，是物理学里最硬的一条。为了保住光是连续的波，玻尔宁可把这一条也松开。

爱因斯坦听了，很不高兴。前面几卷讲过，他在给玻恩的信里说，要是真这样，他宁可去当鞋匠，甚至去赌场当伙计，也不当物理学家了。有意思的是，这一回，两个人的站位和几年以后正好反过来：玻尔要统计，要一大堆里平均地守恒；爱因斯坦要一次一次地守恒，要那一颗一颗的光。这个“换位”，卷四还要专门讲。

◆ 四、一九二五年：被实验判负

BKS 论文有一个好处：它说得出能检验的东西。如果能量只在总账上守恒，那一次光和电子的碰撞里，弹开的光和弹开的电子，就不必同时出现，不必方向一一对上。

一九二五年春天，两组实验给出了答案。德国的博特和盖革，美国的康普顿和西蒙，各自去看一次一次的碰撞。结果很清楚：每一次都对得上。光弹开的时候，电子也同时弹开；方向、能量，一笔一笔都守恒。

BKS 被判了负。

玻尔认了。他在给英国物理学家福勒的信里说，眼下没有别的办法，只能给他们这次革命性的尝试，办一个尽可能体面的葬礼。

这句话很有风度。一个大人物，自己最大胆的一次押注输了，不找借口，不拖，痛痛快快地认输。能这样认输的人不多。

可是，认输的范围要看清楚。他放弃的，是“能量只在总账上守恒”；他没有因此热心地去认那一颗一颗的光。在那之后很长时间里，他对“光子”这个说法仍然保持着距离。他换了一条路：不再去说原子里的东西在空间里怎样一步一步地走。

也就是说，他没有从“只要波”走到“颗粒也要”，他走到了另一个地方：两样都不急着认，先退一步，看我们到底能说什么。两年以后，从这一步里长出了“互补”。

这里还要替 BKS 说一句好话。它押错了，却押出了实验。在它之前，大家对光子半信半疑，可谁也没想到要去一次一次地查碰撞。正是因为 BKS 说得这样明白、这样大胆，说“一次一次地看，账可以对不上”，别人才有了一个非做不可的

实验。博特和盖革那套一次一次数碰撞的办法，就是冲着这个说法去的。一个说法能被判负，说明它说得够清楚；说得够清楚，才让整个物理学往前走了一步。

从这个角度看，玻尔这一次“只认一样”，认得有价值。他把“只要波”押到了最极端，极端到连守恒都肯松开，这才逼出了最干脆的答案。一个模棱两可的人，是押不出这种实验的。

◆ 五、缝在哪里

把这十几年和他后来的秘籍并排放，缝就露出来了。

他后来教的是：颗粒和波两样都要，缺一不可；你怎么问，它就怎么答。这是站在“两边之间”的看法，本书叫它三号位里的二号位。

他前半生活的是：十几年里只认波，不认颗粒；为了守住波，宁可松开能量守恒；身边最得力的助手谈光子，要顶着他的压力。在这件事上，他站的是一个定了的位置：光就是波，这是事先定好的，实验得往这上面靠。这是一次只认一样。

这道缝落在九宫之外的三号位：理论站二号位，两边都要；人生前半段，把其中一边当成了不许动的前提。颗粒和波（九宫里 S2 模态维的两个视角）只是这出戏上演的台子，缝本身是“站在两边之间”和“一次只认一样”之间的那条缝。

这里头还有一个更深的悖论，属于大师悖论的第三种：让自己成名的东西，后来被自己否定了。不过在玻尔身上，次序正好倒过来。他先否定了光子，否定了十几年；后来，他用光子的那两面，一面颗粒、一面波，立起了让他一辈子站得最稳的“互补”。他最有名的学说，是从他抗拒得最久的那样东西里长出来的。

为什么会这样？缝隙读法给过几条常见的理由，放在玻尔身上，最贴的是这一条：理论是某一阶段的总结，不是一生的总结。“两样都要”是他四十岁以后，站在一九二七年回头看时总结出来的。总结的时候，他看见的是已经长成的那个结论，看不见的是长出这个结论的那些年。那些年里他是怎样只认一样、怎样拿守恒

去押、怎样在研究所里挡住光子的，这些是只能遇到、没法教的东西，它们留在人生里，没有进理论。

还有一条也贴：人回头看自己，看得见路，看不见地。一九二七年以后，玻尔讲互补，常常从颗粒和波讲起，好像这两样是摆在桌上、任人挑的两件东西。他很少讲，其中一件，他自己曾经挡了十几年。

这不是讽刺。这恰恰说明缝隙读法那句总判语：大师先活在缝隙里，理论是后来才从缝隙里长出来的。玻尔要是没有十几年只要波、没有 BKS 那一次押上全部再输掉，他未必会走到“两样都不急着认，先看我们能说什么”那一步。那十几年的“一次只认一样”，是“两样都要”的土。

◆ 六、社区食堂的那份菜单

放到日常里看一个同样的样子。

比如有这样一个社区食堂，开在一片老旧小区中间，主要给附近的老人供午饭。负责定菜单的是刘师傅，退休前在厂里食堂掌勺二十多年。

刘师傅定菜单，有一条死规矩：菜要软，要淡，要烂。他的道理很硬。来吃饭的大多是七八十岁的老人，牙口不好，血压高的多，吃硬的、咸的、辣的，要出事。这条规矩，是他几十年看着厂里老工人吃饭总结出来的，也有医生的话撑着。谁提议加个辣椒炒肉、加个干煸豆角，他都一口回绝：老人吃不了。

有两年，食堂里的剩饭剩菜越来越多。社区里的年轻社工小陈提出一个说法：来吃饭的人变了。附近拆迁安置来了一批刚退休的人，六十出头，牙口好，爱吃有嚼劲的；还有一些在附近打零工的中年人，也来蹭一顿便宜饭。他们嫌菜太烂、太淡。

刘师傅不认。他说，吃饭的人还是那些人，剩菜多是因为天热，胃口不好。为了证明，他出了一个主意：从下周起，每天把剩菜称一称，一个月下来看总数。他相信，天凉了，总数就会下来。

一个月后，账出来了。可小陈也做了一件事：她每天在收餐盘的地方站一会儿，记下哪一桌、哪一类人，剩的是什么。总账上看，天凉以后剩菜是少了一点；可一桌一桌地看，账对不上：七八十岁的老人桌上，碗基本见底；剩下最多的，偏偏是六十出头那几桌，剩的都是烂糊糊的青菜。

刘师傅看着那张一桌一桌的记录，沉默了一下午。第二天，他把菜单改了：每天两个窗口，一个软烂的，一个有嚼劲的，各管各的人，谁也不替谁。

后来食堂的人常说，刘师傅这份两个窗口的菜单，是整个街道最周到的菜单。没人记得，这份两样都要的菜单，是从一个只认一样的人手里长出来的。

这个故事和玻尔同构的地方有四处。嘴上信的是一条有凭有据的老规矩，这是“光是波”；为了守住它，宁可拿总账去说话，这是 BKS 的“只在总账上守恒”；一桌一桌的记录把总账判了负，这是一九二五年那两组实验；最后长出来的，恰恰是两样都要的那份菜单，这是互补。

刘师傅没有犯糊涂。他守那条规矩，守住了一群七八十岁的老人十几年的午饭。只是他守的时候，眼睛里只看得见那一群人。

> **带走的话**
>
> 教人两样都要的人，前半生只认了一样；他最有名的学说，恰恰从他抗拒最久的东西里长出来。

小账

缝隙落在哪一格？——九宫之外，三号位：理论站二号位（两样都要），前半生把“光是波”当成不许动的前提；S2 的颗粒与波是上演的台子。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是颗粒和波两样都要；他走到这一步，靠的是十几年只要波、押上守恒再输掉的那一段。

◆

18

第 18 章

第二道缝：要求说清楚的人，自己说不清楚

这一章的问题

把“必须说清楚”当成科学门槛的玻尔，为什么自己的话以难懂出名？

一九二七年的夏天，哥本哈根北边的海边小村蒂斯维莱，玻尔家的避暑小屋。

离科莫那次会越来越近了。玻尔要在会上讲一篇东西，把这一年春天和海森堡吵出来的那些想法，第一次整理成一个完整的说法。

他不自己动笔。他在屋里走来走去，边想边说，旁边有人记。记的人有时是他的妻子玛格丽特，有时是研究所里的年轻助手。那年夏天陪着他的，是瑞典物理学家克莱因。据克莱因后来回忆，那个夏天是这样过的：玻尔口授，第二天，前一天说的全部作废，从头再来。再过一天，又从头再来。

这样一直改到夏天过完。家里的人也跟着熬。据克莱因回忆，玛格丽特那段时间心里很不痛快。到了非走不可的时候，他是在弟弟哈拉尔一再催促下，才真正坐下来，想把这篇文章定下来。

他的秘书舒尔茨后来也回忆，每回他要出远门，都是这样：通宵地改，最后几处，是坐在火车站的长椅上改完的。

这个场面值得多看一会儿。这个人对科学提出的要求，第16章讲过：原子世界再怪，报告它的话也必须清楚、无歧义，让别人一听就懂。可他自己的每一篇东西，都要改几十遍，改到上火车前一刻；改完以后，读的人还常常说，看不懂。

要求说清楚的人，自己说不清楚。这是玻尔的第二道缝。

先说一句，这道缝最容易被写成笑话，本章不这样写。一个人的文字难懂，有时是因为他想得浅、说得乱；玻尔不是。他的难懂，来自他想说的东西本身就站在我们语言的边上。下面几节，就是要把这一层看清楚。

◆ 一、他的要求：一个字都不能含糊

先把他的要求再讲透一点。

玻尔反复讲一件事：不管原子里多么古怪，我们描述实验的时候，只能用经典物理的那一套词，比如位置、速度、时间、能量；只能用日常的语言，比如“这块板在这里”“这只钟走了这么久”。为什么？因为我们要把结果告诉别人，别人要能照着做一遍，核对一遍。要是连“这块板在哪里”都说不清，科学就成了各说各话。

所以在他那里，“说清楚”不是文风上的讲究，是科学的地基。一个实验报告，能不能让隔壁的人照着做出同样的结果，全靠这一条。

这一条他一辈子没有松口。一九四九年他写那篇回顾和爱因斯坦争论的长文，还在反复讲：所谓“现象”，要连同整套实验安排，用无歧义的话讲出来。

◆ 二、他的写法：几十遍，上百遍

再看他自己是怎么写东西的。

他一辈子几乎所有的文章，都不是一笔写成的。他先口授，让别人记下来；然后看，改；改完再口授一遍，再记，再改。据研究他写作过程的学者说，他的每一篇文字，都要过几十稿，多的上百稿。秘书舒尔茨回忆，稿子明明说定了可以寄出，他又说“我得带回家睡一觉，明天早上再寄”；第二天早上，全稿又重打一遍。

这个习惯很早就有了。一九一一年他写博士论文，在给弟弟哈拉尔的信里说，自己已经写出了十四份多少有些不同的草稿。那时他二十五岁。

为什么要这么改？不是因为他写得慢、写得笨。是因为他每改一遍，都觉得刚才那句话还不够准：说得太满了，好像比我们真正知道的多了一点；或者说得太窄了，把另一面漏掉了。他要找的是一句话，既不多说，也不少说，刚好卡在我们能说的那条边上。

这样的一句话，是很难找的。找到了，读起来也常常不顺，因为它每一个字都在往回收，都在留余地。

科莫那篇讲稿就是一个例子。会上讲完，事情并没有结束。他回到哥本哈根接着改，改了好几个月，第二年才以一篇长文的样子在英国的《自然》杂志上登出来，德文、法文的本子也各有改动。同一个意思，在几种文字里，几种说法，没有一种他觉得是最后的。

这里要多说一句那个“记的人”。

玻尔口授，旁边总得有一个人记。这个人不只是打字员。他说一句，记的人要能跟上；他说一半停住，记的人要能看出他卡在哪里；他改口，记的人要记得他前面怎么说的。据研究他写作过程的人整理，这个角色里最要紧的一位，是他的妻子

玛格丽特，从结婚起几乎陪了他一辈子；此外，研究所里一代一代的助手，都陪他这样一来一回地改过稿子，科莫那年的克莱因就是一个；还有一位秘书，几十年里替他把稿子一遍一遍地重打。

玛格丽特尤其要紧。她不是物理学家，晚年接受访谈，只说自己是替丈夫打字的。可他们的儿子汉斯后来写父亲，说的是另一番样子，大意是：初稿之后的细磨，总要花很长时间，一份份草稿都要拿到母亲那里去，没有她点头，是定不了稿的。一位不懂物理的妻子，成了他那条“日常语言要让人听得懂”的规矩，最日常的一道检验。

这就是说，他的那些符号，从来不是一个人在纸上定下来的，而是两个人、有时是三四个人，一来一回推出来的。他写下的理论里，科学语言是一个人对着世界说话；他活过的写作里，每一句话都是对着身边那个人说出来的。

这一点，和下一章要讲的学派、第20章要讲的研究所，是连在一起的。

◆ 三、他的说法：像一个一直在摸索的人

写的是这样，说的也是这样。

据许多听过他讲话的人回忆，玻尔说话声音低，句子长，常常一句话说到一半，又改口从另一个方向重新说起。他讲到要紧处，会停下来，想很久，再补上一句“可是另一方面”。听众里，不少人是冲着他的名声来的，听完却说，没太听明白。

据说，爱因斯坦对他的这种说话方式，有过一句形容，大意是：玻尔发表意见的时候，像一个永远在摸索的人，从来不像一个自以为掌握了确定真理的人。这句话流传很广，能查到的最早出处，只是一九五七年美国一份报纸周刊上的人物报道所引，没有找到爱因斯坦的原文，本书只转述大意。

如果这话属实，要注意它的口气。它不像讥讽，更像称赞：一个大科学家，到老了说话还像在摸索，这是一种少见的诚实。

最能说明问题的，是一九三五年那一次。卷一讲过，爱因斯坦和两位合作者发表了 EPR 论文，玻尔放下一切别的工作，写了一篇同题的回应，不到两个月就寄到编辑部（七月十三日收稿），那年十月发表在同一份刊物上。

这篇回应，是玻尔一生里最要紧的文字之一，也是他最出名的难懂的文字之一。后来很多物理学家都说，他们读了好几遍，还是说不清玻尔到底怎样驳倒了爱因斯坦。有人说他根本没有驳倒，只是换了一种说法；也有人说他驳得很深，只是没说透。直到今天，这篇文章怎么读，还有人在争。

难在哪里？不妨用大白话把它的要点说一说。爱因斯坦那边说：两个小东西从一处飞出来，飞得很远，远到一边做什么都碰不到另一边；我在这边一测，就能算出那边的情况，没碰它就知道了它，那它原本就该有这个情况，量子力学却说不出来，所以量子力学缺了一块。玻尔抓住的，是“不碰它”这三个字。

他说，这三个字有含糊的地方。你在这边测，确实没有在力学上推动那边一丝一毫；可是你这边怎样安排仪器，会影响到那些规定“对那一边能作出哪一类预言”的条件。测位置的安排和测速度的安排，不能同时摆好；你摆了这一套，就只能对那一边作这一类预言，另一类预言就没有了立足的地方。

“没有推动，却影响了能作哪一类预言的条件”，这句话到今天还有人一读再读。它不像“一只钟在高处走得快”那样有个画面，它讲的是说话的规矩本身。一个普通读者读到这里，多半会觉得，好像懂了，又好像什么都没懂。物理学家也常有同感。

连玻尔自己也有同感。十几年后，他在一九四九年那篇回顾长文里重读这几段，说自己深深意识到，当年的表达很不得力，一定让人很难看出论证往哪里走。

一个把“说清楚”当门槛的人，亲口承认自己最要紧的一篇没说清楚。这句自认，比任何旁人的评语都更能说明这道缝。

◆ 四、“真理与清晰互补”

有一句话，常被归到他名下，说真理和清晰也是互补的：你说得越清楚，离真理可能就越远；你越贴近真理，话就越难说清楚。

这句话是不是他原话，出处拿不准，本书只说“常被归到他名下”。但它能流传开，说明熟悉他的人觉得，这很像他会说的话。

把这句话放在这里，缝就更有意思了。它说明玻尔自己可能是知道这道缝的。他一方面要求实验报告一个字都不能含糊；另一方面，他在讲那些最深的道理时，宁可含糊一点，也不肯为了清楚把话说假。

还可以拿同一个时代里一件“说得非常清楚”的事来对照。

一九三二年，大数学家冯·诺依曼出了一本讲量子力学数学基础的书，书里有一个证明，大意是：量子力学背后，不可能再藏着一层看不见的、能把一切都定下来的东西，也就是后来叫“隐变量”的那种东西。这个证明写得极干净，一步一步，全是数学。很多物理学家读了，就放下心来：这件事已经有人证明过了，不必再想。

可是三年以后，一位叫赫尔曼的德国女学者就指出，这个证明里有一个前提，下得太宽了，并不是非这样不可。她的意见当时没几个人注意。又过了三十年，一九六六年，贝尔又一次把这个漏洞指了出来，这一回大家才听进去。

一个说得清清楚楚的证明，清清楚楚地漏了一处，而且漏了三十多年没人理会。清楚本身，让人不再去想。

玻尔的话恰恰相反。它从来没让人放下心来，读他的人总觉得还有一层没弄明白，于是一遍遍地回去读，回去争。他的含糊，有时候是一种不肯替我们把门关死的老实。

这两件事其实不矛盾。实验报告是讲“这块板在这里”，这可以说清楚，也必须说清楚。可“原子到底是什么”“现象为什么要包含仪器”这样的话，是在讲我们能说什么、不能说什么的边界。站在边界上说话，本来就不可能像报告读数那样干脆。

他的理论只写下了前一件：报告读数要清楚。他的人生活在后一件里：一辈子站在边界上说话，一辈子在摸索。

为什么前一件写进了理论，后一件没写进去？缝隙读法的第一条理由正好用得上：能教的写成理论，只能遇到的留在人生里。报告读数要清楚，这是一条能教的规矩，可以写在教科书里，可以拿去要求每一个学生。可是怎样站在边界上说话，怎样一句一句地推、推到哪里停、停下来以后怎样换一个方向再推，这是一门手艺，只能在一次次对话里碰出来。他身边的年轻人，是在他的屋子里、他的散步里、他半夜的电话里，一点一点学到的。学不到的人，只拿走了那条规矩。

◆ 五、缝在哪里

把他要求的和他做的并排放。

他写下的：科学的话必须是清楚、定型、无歧义的符号，能让别人照着核对。九宫里，这落在 E2 信息的“符号”上，要的是一种已经定了型的符号。

他活过的：他的话从来没有定型过。它们一直在改，在对话里一遍遍地推、一遍遍地翻过来再推。他真正靠的，不是纸上那一套定了型的符号，而是一个人对着另一个人、一句一句往下推的那个过程，是推理，是掂量。九宫里，这是 E2 信息的“逻辑”那一面，而且是在对话里活着的逻辑。

所以这道缝是 E2 格内的：理论站符号，要清楚无歧义、要定型；人生另活逻辑，在对话里一句一句推敲，永远在路上，推出来的道理一写成符号，反倒含糊了。

换个家常的说法：他要求别人的话已经定了型，他自己的话一辈子都在“正在成形”里。这只是把同一道缝再说一遍，不另落一格。

这不是他的短处。恰恰相反，正是因为他的话一直处在正在成形的状态，他身边才聚得起一群年轻人：他说到一半，海森堡接一句，泡利顶一句，克莱因记一句。他的想法是在这种你一句我一句里长出来的。一个话说得太清楚、太定型的人，别人插不进嘴，也就长不出这样一个学派。

他的理论要求符号先定型；他的学派却是在符号还没定型的时候长出来的。

◆ 六、班主任说“你们说的都对”

放到日常里看。

比如有这样一位初中班主任，姓韩，教语文。韩老师对学生的作文有一条铁规矩：一句话只说一个意思，说清楚。作文里要是出现“可能是这样，也可能是那样”的句子，她就用红笔圈起来，旁边批两个字：含糊。她常对学生说，写东西是写给别人看的，别人看不懂，就等于没写。

这条规矩，带出了好几届作文写得干净利落的学生。

有一年开家长会，会上出了一件事。班里有个孩子最近成绩往下掉，他的父母当着大家的面吵了起来。父亲说，是母亲管得太松，手机都不收；母亲说，是父亲管得太死，孩子在家连口气都喘不了。两个人都转过头来问韩老师：老师你说，到底是谁的问题？

韩老师想了想，说：你们说的都对。

两个家长都不满意。父亲说，老师，你这话等于没说。

韩老师没有改口。她接着说了很长一段，说得很慢，中间停了好几次：孩子在家里没有自己的地方，这是真的；孩子拿着手机刷到半夜，这也是真的；这两件事看起来是反着的，一个是管得太紧，一个是管得太松，可放在这个孩子身上，是同一件事的两面。他在家里喘不过气，所以晚上躲进手机里；他躲进手机里，所以你们更想管他。你们俩各看见了一面，都没错，可哪一面单拿出来，都解决不了。

说完，家长会上安静了一会儿。那天散会以后，这对父母没有再吵，而是约了韩老师单独谈了一次。

后来有个家长私下说，韩老师平时要孩子们写作文一个字都不许含糊，自己在家长会上说话倒是绕得很。

这句话说对了一半。韩老师要孩子写清楚的，是作文里的事实：几点钟，在哪里，谁说了什么。这些可以说清楚，也必须说清楚。可家长问她的，不是一个事实，是一个两面都真、却只能分开看的处境。在这样的处境里，把话说“清楚”，就是把一面说成全部。她宁可让家长觉得她绕，也不肯替其中一方把话说假。

和玻尔同构的地方有四处。嘴上教的是“一句话只说一个意思”，这是玻尔的“无歧义的经典语言”；真正帮她把事情办成的，是那一段慢慢推、反复掂量的话，这是玻尔的口授和几十遍改稿；天花板在于，她的学生只学到了“写清楚”，碰到两面都真的事，就只会挑一面写；补法在于，她得把“什么该说清楚，什么只能慢慢说”这一条，也教给学生。这一条，玻尔也没有写进他的理论里。

> **带走的话**
>
> 他要求别人的话定型，自己的话一辈子都在成形；他的学派，恰恰是在话还没说定的时候长出来的。

小账

缝隙落在哪一格？——E2 信息格内：理论站符号（清楚、定型、无歧义），人生活在逻辑（对话里一句一句的推敲，一辈子没定型）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是把话说清楚；他靠的是一辈子站在边界上、边说边改、说不定的那些话。

◆

19

第 19 章

第三道缝：理论容纳对立，学派对异见关门

这一章的问题

一个把“对立即互补”刻进纹章的人，为什么他的学派，对两种新读法都没有开门？

一九五九年的春天，一个二十八岁的美国年轻人来到哥本哈根。他叫埃弗雷特。

两年前，他在普林斯顿写了一篇博士论文，讲的是一种新的读法：量子力学不需要“一测就定下来”那一步。一个东西可能处在好几种状态里，测一下，并不是只剩下一种，而是每一种都照样发生，连同测量的人一起，分成了好几条各走各的路。后来的人把这种读法叫作“多世界”。

他的导师惠勒很看重这篇东西，也很敬重玻尔。早在一九五六年，惠勒就带着论文的稿子专门去过一趟哥本哈根，想听听玻尔那边的意见。回来以后，他要埃弗雷特把论文大大删短，把那些听上去太刺耳的说法拿掉，才让他毕业。

这一回，埃弗雷特自己来了。他在哥本哈根待了约六周（另有约两个月一说），和玻尔谈，和玻尔身边的人谈。据后来的记载，谈得毫无结果。谁也没说服谁。他后来回忆，那一趟从一开始就注定不会有结果。

其实在来之前，他已经离开了大学，在五角大楼的一个武器评估小组里做运筹计算。这一趟本是他给自己的读法找知音的机会；谈不出结果，他回到美国，此后再没有回到物理研究上来。

这个场面值得多看一会儿。就在九年前，一九五〇年的六月，玻尔给联合国写了一封公开信，主张“开放世界”：国与国之间要敞开大门，互通消息，这是人类在有了原子弹以后唯一的出路。再往前三年，他在自己的纹章上写下了“对立即互补”。

一个给世界讲开放的人，一个把对立写进纹章的人。一个年轻人带着一种对立的读法来敲门，门没有开。

◆ 一、给世界的那扇门

先把那扇开着的门讲清楚，因为它是真的开着。

玻尔的研究所，从一九二一年落成起，就是一个全世界的年轻人都能来的地方。德国人、荷兰人、瑞典人、英国人、美国人、苏联人、日本人，都在这里住过、算过、吵过。一九二九年起，研究所每年办一次会，不定议程，谁有什么最新的想法，就上来讲。年轻人可以当面顶撞他，他也喜欢被顶撞。一九三二年那次会上，一群年轻人还编了一出戏，拿歌德的《浮士德》来开大家的玩笑，也开他的玩笑：戏里的“主”，扮的就是玻尔。

一九三三年以后，这扇门开得更大，接纳了一批从德国被赶出来的学者。下一章细讲。

战后，他把这扇门推到了国与国之间。一九五〇年那封信讲的就是这个：原子能这样的东西，要是各国都关起门来各搞各的，只会越来越互相猜疑；只有让消息和人自由往来，才谈得上安全。他后来为欧洲核子研究中心的筹建出过力，一九五七年又参与创办了设在哥本哈根的北欧理论物理研究所，同一年得了第一届“原子能和平利用奖”。

这些都是公开的事。说玻尔开放，一点不假。

在研究所里，他的开放还有一种更家常的样子。据许多在那里待过的人回忆，他最喜欢的，是有人当面跟他唱反调。年轻的泡利说话出了名的刻薄，常常当着众人说玻尔的想法不对，玻尔不但不恼，还把他当成最要紧的批评者，写了稿子先寄给他看。伽莫夫这些年轻人拿他开玩笑、画漫画，他也跟着笑。一个大人物，能让比自己小十几二十岁的人当面顶嘴、背后调侃，这样的屋子，在当时的欧洲学界并不多见。

所以要看清楚：他的门，不是对人关的。对人，他一辈子都是开着的。

◆ 二、玻姆来敲门

再看另一扇门。

一九五二年，美国物理学家玻姆发表了两篇论文，提出一种和哥本哈根不一样的读法。

它的大意是这样：电子始终是一颗有确定位置的小颗粒，不管你测不测，它都在某个地方，走着某一条路。同时，还有一阵看不见的波，引着它走。颗粒是真的，波也是真的，两样都在。你测不到它的确切路线，不是因为它没有路线，而是因为你不知道它从哪里出发。

这个读法有几样特别之处。第一，它把一切都定下来了，没有骰子，是一个“决定论”的读法。第二，它算出来的实验结果，和通常的量子力学一模一样，一个数都不差。第三，它有一个怪处：一个地方的颗粒怎么走，会立刻受到很远的地方的影响。用物理学的话说，它是“非定域”的。

还有一层背景。二十年前冯·诺依曼那个证明，上一章讲过，很多人以为它已经证明了这种读法不可能。玻姆的理论摆在那里，就是一个活生生的反例：它明明做出来了。

哥本哈根一方的反应，是冷淡，有人甚至是敌视。罗森菲尔德尤其不客气。玻尔本人具体说了什么，现有能查到的记载不多，本书不替他编；能确定的是，他的学派没有把这个读法当作一种值得认真讨论的“另一面”，而是把它当作一个已经被超越了的旧念头。

玻姆的理论，在后来很多年里几乎没人理会。

这里有一个细节，让这件事更耐人寻味。玻姆并不是一个从外面闯进来的人。就在前一年，一九五一年，他刚出了一本量子力学教科书，书里讲的，大体正是玻尔那一派的读法，讲得清清楚楚、恭恭敬敬。也就是说，他是先把门里的那一套学透了、写成书了，才转过身来，去试另一种走法的。

一个把你的学说讲得最清楚的人，回头提出另一种读法。按“对立即互补”的道理，这正是最值得坐下来好好谈一谈的时候。可是那一回，坐下来谈的，不是哥本哈根。

◆ 三、这扇门当年挡住了什么

写到这里，要停下来，替这扇关着的门说几句公道话。照缝隙读法的规矩，理论反噬也好，关门也好，都要写清它当年替学派挡住了什么。

第一，它挡住了没有回报的争论。玻姆的读法和埃弗雷特的读法，在当时都算不出任何新的数。实验做出来，三种读法给的都是同一个答案。对一个每天要算原子核、算晶体、算化学键的物理学家来说，多一种读法，多的是一层要想的东西，少的却什么都没有。把力气省下来去算，是一个实在的选择。

第二，它守住了一个来之不易的共识。从一九二七年到一九三五年，玻尔和爱因斯坦来回吵了八年，才让大多数物理学家接受了一套可以拿来干活的说法。有了这套说法，战后那一代年轻人才能坐下来，放心地学、放心地算。二十世纪中叶，物理学在原子核、固体、粒子、激光这些地方开出了一大片新地，靠的正是这一套

大家都认的语言。门要是天天开着，每来一个人都要从头争一遍“电子到底在不在那里”，这片新地未必开得出来。

第三，在玻尔看来，玻姆的读法是一步退回。他花了半辈子，才让大家放下“电子不管测不测都走着一条确定的路”这个想法；玻姆把这个想法又请了回来。用他自己的学说去看，这不是另一面，而是那个已经被他讲过为什么行不通的老样子。

第四，它挡住了一个年轻学派的散架。哥本哈根这一派，本来就不是一个有章程的组织，而是一群在不同国家、不同大学的人，凭着对一套说法的共同信任连在一起。这种连法很松，最怕的就是一种说法一种说法地往外分岔。守住一种读法，也就守住了这群人之间的那根线。

这四条都是真的。今天回头看，这扇门挡住的，有一大半是该挡的。

可是还有一小半，要照实写出来。

门里面，其实有一件事一直没有解决，就是前面讲过的测量问题：一个东西在没人测的时候处在好几种可能里，一测，怎么就只剩下一种了？是在哪一刻、凭什么定下来的？哥本哈根的回答是：这个问题不该这样问，我们能说的只有仪器上的读数。这个回答让人可以去干活，却没有让问题消失。它只是被放到了门外。

而玻姆和埃弗雷特，恰恰都是冲着这个问题来的。一个说，根本没有“定下来”这一步，颗粒一直都在某处；一个说，也没有“定下来”这一步，每一种可能都照样发生。两个人的答案相反，问的却是同一件事。门关上的时候，关在门外的，不只是两个年轻人的读法，还有门里面没解决的那个问题。

另一件事也一样。“量子力学已经是完备的，背后不会再有更深的一层”，这是哥本哈根一方的看法，爱因斯坦为此跟玻尔争了半辈子。这件事，玻尔在世的时候，没有被证明，今天也没有。门关着，让人以为它已经定了。

这就是守门的代价。挡住的大多是该挡的，可门一关，里面没答完的题，看上去也像答完了。

也要给被挡在门外的两种读法各说一句公道话。玻姆的读法，今天是一种受人尊重的少数读法；更要紧的是，正是它让贝尔在六十年代重新想起了爱因斯坦的老问题，引出了后来那一连串实验。卷五会讲。埃弗雷特的读法，今天也被不少研究宇宙学、研究量子计算的人认真对待。哥本哈根的读法呢，仍然是大多数教科书里讲的那一种，拿来干活，至今管用。

◆ 四、埃弗雷特，门外的第二个人

回到开头那个年轻人。

埃弗雷特的读法，和玻姆正好相反。玻姆要把一切都定下来，给每个颗粒一条确定的路；埃弗雷特不要任何东西定下来，他说所有可能都一样真，都照样发生。一个太“实”，一个太“多”。

可是在哥本哈根看来，这两种读法有一个共同的毛病：它们都想绕过“仪器”这一关。玻尔讲了半辈子，现象要把仪器算进去，实验结果必须用日常的话报告：指针指在这里，不在那里。埃弗雷特却说，指针也分成了好几份，每一份各指一处。这在玻尔那一派听来，等于把他立的第一条规矩拆了。

据记载，埃弗雷特离开以后，罗森菲尔德在后来的信里谈到他，话说得极不客气。

这里还有一层要看清。门关得最紧的，多半不是玻尔本人。据现有的记载，对玻姆、对埃弗雷特说出最重的话的，多出自学派里的其他人。这正是缝隙读法说的“传播中变宽”：大师自己身上的缝最窄，到了学生一代，就宽了一些。玻尔讲话一辈子含含糊糊、留着余地，上一章讲过；到了替他守门的人手里，余地没有了，只剩下门。

◆ 五、缝在哪里

把他写下的和他活过的并排放。

他写下的：对立即互补。两种互相排斥的描述，都要，缺一不可。这是站在两边之间的二号位。

他后半生活的：物理学的读法，只认一种。别人带着另一种来，门不开。这是一次只认一样。

和第17章那道缝放在一起看，会发现它们是同一道缝的前后两半。前半生，他在“颗粒还是波”上只认波；后半生，他在“哪一种读法”上只认自己的。两回都是一次只认一样，两回都有很硬的理由，两回都替他守住了东西。只不过前一回，实验替他开了门；后一回，他去世前，实验还没有来。

这道缝落在九宫之外的三号位：理论站二号位，两边都要；人生把自己那一边，当成了一号位上定死了的东西。

和第18章放在一起看，还有一层更细的缝。玻尔自己说话，一辈子含含糊糊、留着余地，从不把门说死；上一章讲过，那是一种不肯替我们把门关死的老实。可是他的学派，在读法这件事上，把门关得很死。他的话留着门，他的学派守着门。话是他一个人说的，学派是一群人守的。一个人可以边说边改；一群人要一起干活，就得先把门定下来。这道缝，一半在他身上，一半在“一个人变成一个学派”的那条路上。

它也是一种大师悖论，而且是最典型的第四种：给别人的，和给自己的，不是一样东西。他给世界的是开放，给自己的学说的是一扇守着的门。

为什么会这样？缝隙读法里有一条理由最贴：理论是某一阶段的总结，不是一生的总结。年轻时什么都敢碰，成名后收拢到一个视角，把它当成招牌。二十年代的玻尔，什么都敢押，连能量守恒都敢松开；那时他的屋子里，颗粒、波、统计、

守恒，什么想法都能摆上桌。一九三〇年代以后，他赢下了跟爱因斯坦的那几场，互补成了他的招牌，也成了一整个学派的招牌。招牌立起来，就不能随便动了。一动，不只是他一个人的说法要改，一大群靠这块招牌干活的人都要跟着动。

他守的，与其说是自己的面子，不如说是这一大群人脚下的那块地。这一点，下一章讲他的“地”时还会看到：这个人一辈子最会做的，就是替一群人守住一块地。

◆ 六、家族群的群主

放到日常里看。

比如有这样一个家族微信群，五十多个人，三代人。群主是大舅，退休前是镇上中学的校长，德高望重。群公告是他写的，头一句就是：一家人，各有各的想法，都正常，有话好好说。

这个群，大舅管得很好。谁家孩子考上大学，谁家老人住院，群里一喊，钱和人都到。过年红包、清明扫墓的安排，都在群里定。

那年外婆九十岁，腿脚不行了，要人照顾。群里吵了起来。大舅的意思，是几家子女轮流，一家一个月，接回家里住。多数人都同意。

只有一个表弟不同意。他在省城做护工培训，他说，轮流接回家，老人一个月换一个地方，最伤身子；不如留在老房子里，请社区的上门护理，几家一起出钱。他在群里发文章、发视频，一条接一条。有人回他，他就再回；一来二去，群里天天吵到半夜。

大舅私下劝了他两回，没劝住。有一天晚上，大舅把他移出了群。

群里安静了。轮流的办法定了下来，第一家把外婆接走了。

这件事，放在大舅那头看，是有道理的。群吵了半个月，几家人已经伤了和气；外婆等不起，总得先定一个办法。一个五十多人的群，能凝聚到今天，靠的就是有人拍板。那一晚上的“移出”，守住了一个大家庭的主心骨。

可是半年以后，外婆在第三家住着的时候摔了一跤。大家回头去想，才觉得表弟当初说的，也不是没道理。后来是二姨出面，把社区上门护理的办法重新提了出来，大家凑钱，让外婆搬回了老房子。二姨说，这办法是她从一个在省城做护工的晚辈那里听来的。

这个故事和玻尔同构的地方有四处。群公告写的是“各有各的想法都正常”，这是“对立即互补”；真正让这个大家庭办成事的，是有人拍板、只认一种办法，这是守门；天花板是，被移出去的那个想法，有一部分是对的，却只能等别人换个名字带回来，这是玻姆的读法后来由贝尔带回了物理学；补法是，拍板可以，但要给门外的那一种办法留一个“半年后回头看”的口子。大舅没有留，玻尔的学派也没有留。

大舅不是坏人。他守的那扇门，守住的东西是真的。只是他写在群公告上的那句话，和他那天晚上按下的那个键，中间有道缝。

> **带走的话**
>
> 他给世界开门，给自己的学说守门；这扇门挡住的大多该挡，可门外有一种读法，后来被别人带了回来。

小账

缝隙落在哪一格？——九宫之外，三号位：理论站二号位（对立即互补），后半生把自己那一种读法当成一号位上定死的东西；与第17章是同一道缝的后半截。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是对立的两面都要；他的学派能站住，靠的是只认一种读法、对门外关门。

◆

20

第 20 章

另一道缝：理论不谈地，人生全靠地

这一章的问题

玻尔的学说只讲我们能怎样说、怎样描述，他这一生，却是靠什么站住的？

一九四三年九月二十九日的夜里，丹麦东边的海岸。

玻尔五十七岁。丹麦被德国占领已经三年多，这一年秋天，形势突然紧了。他的母亲出身犹太家庭，他本人又是一个在全世界都有名的物理学家，留在哥本哈根，已经不安全。有消息传来，说他可能要被抓。

他和妻子玛格丽特被人领着，趁夜到了海边，上了一条小船，渡过那道海峡，到了对岸的瑞典。

到了斯德哥尔摩，他没有马上往别处走。英国方面急着要把他接过去，他却不肯立刻动身。据记载，他先去见了瑞典国王和政府的官员，请求瑞典公开表态，愿意接纳从丹麦逃过来的犹太人。十月二日，瑞典的电台广播了这个消息。在那前后，丹麦的犹太人成批地乘船渡海，大多数人得救了。史家对玻尔这一趟起了多大作用，看法不一：有人说他的请求是关键的一步，也有人说瑞典政府早已有了打算。本书两说并存。

几天以后，英国派来一架蚊式轰炸机接他。飞机上没有客座，他躺在炸弹舱里飞过北海。据记载，他的头太大，飞行头盔戴不上，没听见要他接上氧气的指示，飞到高处时昏了过去。飞行员察觉不对，把飞机降低。落地时，他醒了过来。

这个场面值得多看一会儿。这个人的学说，讲的全是“我们能怎样描述现象”：仪器、读数、经典的语言、说清楚。那里面没有海，没有船，没有国王，没有一架飞机的炸弹舱。可在这一夜和这几天里，他能不能活下来，一个民族里的许多人能不能活下来，靠的全是这些东西。

学说里没有地，人生全靠地。这是玻尔的另一道缝。

◆ 一、一片厚实的地：家

照缝隙读法，先看他脚下那片地是什么样的。

一八八五年，玻尔生在哥本哈根。父亲是一位生理学家，大学里的教授，在自己的行当里很有名望；生理学教科书里讲血液怎样携带和放出氧气，有一条规律，至今还以他父亲的姓命名。也就是说，“玻尔”这个姓，在尼尔斯成名之前，已经写进了教科书。母亲出身一个富有的银行世家。这个家，既有书，也有钱；既有学问的空气，也有见世面的门路。

一个孩子在这样的家里长大，从小听惯了大人们在饭桌上讨论学问，从小就知道，做学问是一件可以一辈子做下去的正经事。这种“知道”，不是哪一本书教的，是那片地给的。

他有一个弟弟，叫哈拉尔，小他两岁。兄弟俩感情极好，从小一起念书、一起踢球。哈拉尔后来成了数学家，在一门叫“殆周期函数”的学问上有开创之功；他还是一个好球员，一九〇八年随丹麦队拿过奥运会足球的银牌。尼尔斯自己也踢球，在一家有名的学生俱乐部当过守门员。

兄弟俩一辈子通信不断。尼尔斯在外地求学、做研究的那些年，心里有什么想法，第一个写信告诉的，常常就是哈拉尔。一个数学家弟弟，是他最早、也最挑剔的听众。第18章讲过，他的想法是在对话里长出来的；他人生里的第一个对话者，就在自己家里。

这一段看起来和物理无关，其实大有关系。一个年轻人，家里不愁吃穿，父亲身边有的是学者朋友，弟弟是他最亲近的对话者，这片地让他可以慢、可以想、可以一篇论文写十四稿。前面说过，他给弟弟的信里提到博士论文写了十四份草稿。能这样写，是要有底气的。

这一点他很少说。他后来讲认识论，讲互补，讲语言，从来不讲一个人要先有一片什么样的地，才能长成一个一篇东西改几十遍的人。

◆ 二、贵人：卢瑟福

一九一一年，他拿了博士学位，去英国剑桥，想跟着发现电子的大物理学家J.J. 汤姆孙做研究。去得不顺。两个人谈不到一块，他在那里没找到自己的位置。

一九一二年，他转到了曼彻斯特，到卢瑟福那里。卢瑟福刚刚用实验证明，原子中间有一个很小很重的核。这个发现，给玻尔送来了一片现成的地：原子中间有核，电子在外面，这张图摆在那里，缺的只是一个说得通的规矩。

第二年，玻尔拿出了他的原子模型，一连三篇，就是第17章讲的三部曲。卢瑟福读了稿子，提了意见，又替他把论文送到了刊物上。一个二十七岁的丹麦年轻人，一下子站到了原子物理的最前面。

卢瑟福是个实验家，说话直，不喜欢空谈。玻尔是个理论家，说话绕，最喜欢琢磨。两个人性子差得很远，却成了一辈子的师友。玻尔后来办研究所，那种一群年轻人围着一个长辈、边干边吵的样子，有一部分是从曼彻斯特学来的。

学说里的玻尔，是一个人对着原子在思考。人生里的玻尔，在最要紧的那一年，是站在另一个人的实验室里、借着另一个人的发现往前走的。

◆ 三、嘉士伯的钱，研究所的楼

一九一六年，他回到哥本哈根当了教授。他做的第一件大事，不是写论文，而是要一栋楼。

他四处去争取支持。先是一批热心的私人凑了钱，替这件事铺了路；再加上嘉士伯基金会的资助，就是那家酿啤酒的公司创办人留下的基金会，专门资助丹麦的科学。一九二一年三月三日，理论物理研究所落成。后来又有别的基金陆续资助，楼一扩再扩。

有了这栋楼，才有了后面的一切：全世界的年轻人来这里住、来这里算；每年一次的会；那出拿《浮士德》开玩笑的戏；一九二七年春天那一场吵到半夜的争论。第16章开头那盏亮到半夜的灯，就挂在这栋楼里。

一九三二年，嘉士伯又给了他一样东西：一座府邸。那是啤酒厂创办人当年的住宅，按遗愿，给丹麦在科学、文学或艺术上最有成就的人终身居住，人称“荣誉府邸”。玻尔一家搬了进去，一住三十年。这座宅子后来成了哥本哈根最有名的客厅之一：物理学家、哲学家、作家、各国的政要，都在那里喝过茶、吵过架。

一栋楼，一座宅子，一个基金会。玻尔的学说里没有这三样东西。可他的学说是在这三样东西里长出来的。

后来有人把研究所里那种空气，叫作“哥本哈根精神”：长辈和晚辈平起平坐，谁都能打断谁，想法没成形就可以拿出来吵，吵完了一起去看电影、去郊外走路。这几个字常被当成一种思想上的风气来讲。可是要让这种风气长出来，先得有一栋楼让人住下，有一笔钱让年轻人不愁下个月的饭，有一位名声足够大的长辈，让各国的年轻人愿意千里迢迢地来。风气是长在地上的。

还要看到，这片地不是天上掉下来的。一九一六年到一九二一年那几年，玻尔为了这栋楼，四处写信、求见、说明、等待，花的力气不比写论文少。他后来一辈子都在做这件事：替研究所找钱，替年轻人找位置，替来访的人安排住处。这些活，占了他大半的日子，没有一样写进了他的学说。

◆ 四、一九三三年以后：把人接过来

一九三三年，德国开始驱逐犹太学者和不合当局心意的学者。很多物理学家一夜之间丢了饭碗。

玻尔和弟弟哈拉尔一起，参与了救助流亡学者的工作。有的人到哥本哈根暂住，在研究所里有一张桌子、一份临时的钱；有的人经过这里，再往英国、美国去。研究所成了一个中转站。他靠的，是自己的名声、基金会的钱、和世界各地同行之间几十年攒下的信用。

有一件小事常被提起。一九四〇年，德国占领丹麦。研究所里存着两位德国物理学家托付的诺贝尔奖章，一位是劳厄，一位是弗兰克。奖章是金的，上面刻着名字，要是被搜出来，两个人都有麻烦。研究所里的化学家赫维西想了个办法：用王水把两枚奖章溶掉，那瓶溶液就摆在实验室的架子上。德国人来搜，没认出来。战后，人们从溶液里把金子取了出来，诺贝尔基金会重新铸了两枚奖章，还给了两位主人。

这件事不是玻尔亲手做的，但它发生在他的楼里，发生在他攒下的那片地上。一瓶摆在架子上没人认得出的溶液，说的正是这片地的样子：它不在哪一篇论文里，它在一群彼此信得过的人中间。

一九三九年初，他在美国和惠勒合作，写出了原子核裂变的理论。四年后，就有了开头那个夜晚。逃到英国以后，他又去了美国，用化名“尼古拉斯·贝克”到了洛斯阿拉莫斯。一九四四年，他去见丘吉尔，想谈战后原子能的国际管控，两个人谈得不欢而散。一九五〇年，他写了那封给联合国的公开信。这些只写公开的事

实，不作评判；和本书有关的只有一点：这些年里，这个讲“我们能怎样描述现象”的人，大半的力气，花在了人与人、国与国之间那片地上。

◆ 五、缝在哪里

把他写下的和他活过的并排放。

他写下的，是认识论：我们怎样描述原子，仪器怎样搅进现象，什么话能说、什么话不能说。九宫里，这落在 E1 三界（理念、现实、自我三个世界）的“理念界”：想法、概念、说法。

他活过的，大半在“现实界”：一个有书有钱的家，一个一起长大的弟弟，一位肯推他一把的老师，一位几十年替他记稿、替他把关的妻子，一个啤酒基金会，一栋楼，一座宅子，一张覆盖全世界的同行信用网，一条夜里的小船，一架飞机的炸弹舱。

这是一道 E1 格内的缝：理论站理念界，人生靠现实界。

为什么会有这道缝？缝隙读法里有一条理由，放在他身上最准：人回头看自己，看得见路，看不见地。玻尔回顾自己的科学生涯时，讲的是一个个想法怎样一步一步长出来：对应原理，互补，和爱因斯坦的几场争论。这是路。那片一直在托着他的地，家、老师、基金会、楼、同行的信用，他很少写进去。不是他忘了感恩，他对卢瑟福、对基金会、对同事的感激是出了名的。是因为这些东西，在他的认识论里没有位置。

还有更深一层。他的学说里有一条硬规矩：实验必须用大家都懂的日常语言报告。可“大家都懂”这四个字，本身就需要一片地。要有一群人，在一个地方，吃过同样的饭，吵过同样的架，用过同样的仪器，才会有一套“大家都懂”的语言。玻尔的学说，把这套共同的语言当成现成的前提；而他这一生做得最好的事，恰恰是造出了一个让这套语言长出来的地方。

他的理论把地当作已经在那里的东西；他的人生，是一辈子在造地。

照规矩，这里也要写保底。一门物理学说，不谈基金会、不谈房子，这本身没有错。原子的规矩不会因为谁有钱就改一个字，玻尔的认识论也不必把嘉士伯写进去。他在这件事上是对的：讲原子，就讲原子。

缝的要紧处，不在他的学说该不该谈地，而在后来学他的人。只读他的学说的人，会以为一个学派是从一个好想法里长出来的：想法对了，人自然就来了，共识自然就有了。他们学了“互补”，学了“说清楚”，然后回到自己的单位，发现怎么也聚不起一群人来。他们缺的，不是想法，是玻尔花了大半辈子造的那片地：一栋楼，一笔钱，一张信用的网，一种能让年轻人当面顶嘴的空气。

E1 三界里，还有第三个世界：自我界，就是自己心里那一份撑着的东西。这片地托着他，可地托不住一切。一九四三年那个秋天，英国人催他赶紧走，他偏要先留在斯德哥尔摩，去求见一国的国王，替别人讨一个说法。一个刚刚夜渡海峡、自己还悬着一条命的人，先想到的是还没渡过来的那些人。这份定力，不是哪个基金会给的，是他自己心里的东西。这一笔只为记下他的为人，不另算一道缝。

还有一层，从另一头看，也值得记一笔。这片地不只是托着他，他也一直在往这片地里还。他的名声，他从来没有只用在自己身上：一九三三年用来替流亡的人找桌子，一九四三年用来替一个民族里的许多人求一条生路，战后用来替各国的科学家搭一个能坐到一起的地方。他攒下的，别人都用得上。

这片地，在他去世以后也没有散。一九六五年，他八十岁诞辰那一年，研究所改名为“尼尔斯·玻尔研究所”。他的儿子奥格·玻尔也成了物理学家，一九七五年和同事们一起得了诺贝尔物理学奖，研究的是原子核的样子，就在这栋楼里做出来的。每年的哥本哈根会议，照样不定议程，照样让年轻人上台。一个人的学说，后来被人读出了缝；一个人造的地，后来一直有人在上面种东西。

◆ 六、物业经理的业主大会

放到日常里看。

比如有这样一位物业经理，姓邓，四十出头，在一个两千户的小区干了六年。小区要换电梯，这是大事，得开业主大会，按规定，要有过半的业主投票同意才行。

邓经理是个讲程序的人。他常挂在嘴边的一句话是：凡事按规矩来，程序对了，结果大家就认。开会之前，他把通知、议程、表决票、计票办法，一样一样对着条例做得滴水不漏；开会的时候，每个环节念得清清楚楚，谁发言、发多久、怎么表决，都有章可循。

那次大会开成了，票数过了半，电梯换了。事后邓经理在工作总结里写：本次业主大会严格依照程序召开，表决合法有效。

可是小区里的人都知道，那次大会能开成，靠的远不止程序。

两千户里，一大半平时根本不来开会。那一次来了那么多人，是因为邓经理前前后后跑了三个月。他知道三号楼的老张是退休的电梯工程师，说话大家信，就请老张先在楼道里给大家讲换电梯的道理；他知道五号楼的几户老人最怕花钱，就托老人们最信的那位社区医生去聊；会场是隔壁小学借来的，因为他跟那所学校的门卫、校长都熟；会上用的投影仪，是一位业主从单位借来的。开会前一晚，他还挨家挨户去敲过几家“钉子户”的门，坐下来喝了一杯茶。

这些，一件也没写进他的总结。

和玻尔同构的地方有四处。嘴上信的是程序和规矩，这是玻尔的认识论，讲怎样说才算数；真正让事情办成的，是三个月里攒下的人情和门路，这是玻尔的家、老师、基金会和那栋楼；天花板出现在他调到另一个新小区的时候：程序照样做得

滴水不漏，第一次业主大会却连一半人都没凑齐，因为在那里，他还没有一片地；补法是，他后来在新小区先不急着开会，而是花半年时间，一户一户地认识人。

更麻烦的是，他在新小区带的两个年轻助理，是照着他那份总结学的。总结里只有程序，他们就只学程序：通知贴得整整齐齐，议程印得漂漂亮亮，会场却空了一半。他们想不通，经理的办法一步都没走错，怎么就是不灵。

邓经理不是不知道人情要紧。他只是觉得那些不算“工作方法”，写不进总结。玻尔也不是不知道那片地要紧。他只是觉得那些不算“认识论”，写不进学说。

> **带走的话**
>
> 他的学说只讲我们怎样说；他的一生，是在替一群人造一片能说到一起的地。

> **小账**
>
> 缝隙落在哪一格？——E1 三界格内：理论站理念界（怎样描述、什么能说），人生靠现实界（家、老师、基金会、研究所、救难与出逃的那张网）。
>
> 他教的是什么，靠的是什么？——他教的是用大家都懂的话描述现象；他靠的是一辈子造出一个让大家能说到一起的地方。

◆

21

第 21 章

晚年的黑板

这一章的问题

爱因斯坦去世七年以后，玻尔最后那块黑板上，为什么还画着爱因斯坦的那只盒子？

一九六二年十一月十七日，哥本哈根，嘉士伯荣誉府邸。

玻尔七十七岁。这一天，他的书房里又坐着几位客人：美国来的科学史家库恩，老同事罗森菲尔德，多年的助手彼得森，还有年轻的吕丁格。他们在替一个记录量子物理史的项目做口述访谈，从十月底起已经来过好几回，这是第五次。

这一回谈得最多的是哲学：他年轻时读过、听过的哲学家，量子物理那些年怎样一步一步走过来，还有哲学家们为什么总也弄不懂他讲的互补。据访谈记录，他说到哲学家时，话说得很直，大意是：他们是一群很古怪的人，没有那种本能，不觉得要准备好去学一样极要紧的新东西。

第二天，十一月十八日，玻尔在家里去世。那一组访谈，第五次成了最后一次。

人们后来在他书房的黑板上，看到了两幅粗粗的草图。据流传的照片和说明，这是他去世前夜留下的：上面一幅和数学有关，是在一个平面上绕着一个特别的点画的一圈；下面一幅，是一只盒子。

那是一九三〇年第六届索尔维会议上，爱因斯坦拿出来的那只盒子。卷一第5章讲过：盒子里有一只钟，钟控制着一扇小门，门开一下，放出一个光子；称一称盒子前后的重量，就知道光子带走了多少能量；钟记下了放出的时刻。这样一来，能量和时间，似乎都能测准。相传玻尔那天晚上一夜没睡；罗森菲尔德本人的回忆只讲到当晚他很沮丧，第二天早上却是他的凯旋，他拿爱因斯坦自己的广义相对论把它驳了回去。

为什么画、画给谁，没有留下记载，本书不猜。能说的只有一件：三十二年以后，这只盒子还在他的黑板上。

这个场面值得多看一会儿。爱因斯坦已经去世七年了。两个人最后一次当面争论，是更早以前的事。可是在玻尔生命的最后一个晚上，他的黑板上，还画着这个人当年出给他的那道题。

◆ 一、七年以后，还在答

爱因斯坦一九五五年四月去世。他在普林斯顿的办公室里也有一块黑板，上面留着他最后演算的东西，照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张，前面几卷讲过。

两块黑板，隔了七年。一块上是爱因斯坦自己最后还在算的东西；一块上画的，是爱因斯坦出给玻尔的题。

这个对照值得停一下。爱因斯坦的最后一块黑板上，没有玻尔；玻尔的最后一块黑板上，有爱因斯坦。

这不是说谁更在乎谁。爱因斯坦晚年一个人在普林斯顿追他的统一场，和哥本哈根那一派来往已经不多。玻尔却不一样。一九四九年，他写那篇回顾两人争论的长文，把二十多年来的每一个回合，从头到尾重新讲了一遍，写得极细，改了又改。爱因斯坦去世以后，他还在各种场合讲起这场争论。

对玻尔来说，爱因斯坦不是一个已经被驳倒的对手，而是一个一直在场的对话者。

一九四九年那一篇，值得多说两句。那一年，美国的哲学家席尔普编了一本大书，叫《爱因斯坦：哲学家—科学家》，请各国的学者写文章评论爱因斯坦，最后由爱因斯坦本人写一篇总的答复。玻尔交的那篇，题目就叫《就原子物理学中的认识论问题与爱因斯坦的讨论》。别人多是评论爱因斯坦的某一方面，他却把两个人二十多年的争论，一个回合一个回合地重演了一遍，连光子盒都画了图。爱因斯坦在书末的《答评论》里，也一条一条地回了话。

一本书里，两个人隔着几百页，又吵了一次。这一次吵得很客气，很郑重，谁也没说服谁。

这件事说明，这场争论在玻尔那里，不是一段已经翻过去的往事，而是一件要不断重新整理、重新讲清楚的正事。他自己的学说，有一大半，就是在一遍遍回答爱因斯坦的过程中说清楚的。

◆ 二、讲给后人听的那个人

那几次访谈本身，也值得看一眼。

库恩那一行人来，是为了替量子物理学的历史留下第一手的口述。那时候，量子论的开创者们大多已经老了，有的已经去世。玻尔是这段历史里分量最重的见证人，他怎么讲，后人很大程度上就怎么记。

一个人站在自己一生的终点，替一段历史作证。他讲自己年轻时的读书和思考，讲原子模型怎样来的，讲互补，讲哲学家怎样误会了他。最后那一天的访谈记录里，谈的是哲学；最后那一晚的黑板上，留着的是爱因斯坦。

两样放在一起看，就有了意思。他对后人讲的，是“我们能怎样说”；他留给自己的，是那个一辈子不肯接受这种说法的人出的题。一个赢家，走到最后，离他最近的，是那个始终没被他说服的人。

◆ 三、那只盒子，再讲一遍

不妨借这块黑板，把那只盒子再用大白话讲一遍，看看留在他最后那块黑板上的，是怎样一道题。

量子力学里有一条规矩：有些成对的东西，不能同时都测得很准。位置越准，速度就越不准；时间卡得越准，能量就越不准。爱因斯坦的盒子，就是冲着“时间和能量”这一对来的。他的意思是：我让钟卡住光子飞出的时刻，时间就准了；我称盒子前后的重量，重量差就是光子带走的能量，能量也准了。两样都准，你那条规矩就破了。

玻尔的回答，要点是：你怎么称这只盒子？盒子得挂在一根弹簧上，看它往上弹了多少。可是盒子一动，就在高低之间挪了位置。照爱因斯坦自己的广义相对论，钟在高处和低处走得快慢不一样。盒子的位置一不确定，钟的快慢也就跟着不确定，你记下的时间就不准了。算下来，不准的程度，刚好让那条规矩保住。

这就是卷一讲过的，用对方的刀打回去。

那一晚的样子，罗森菲尔德后来回忆过，大意是：会上爱因斯坦拿出盒子，玻尔大为震动，一时想不出破绽；晚上他从一个人走到另一个人，劝大家说这不可能是对的，要是对的，物理学就完了；第二天早上，他找到了答案，神采飞扬。一只盒子，把一个人从一晚上的沮丧，推到了第二天的得意。

一个人一辈子最难熬的一个晚上，和最痛快的一个早上，都装在这一只盒子里。三十二年以后，它还留在他的黑板上。

后来的物理学家对这个回答有过不少讨论。有人说玻尔的论证不够严密，前后用的“不准”意思不太一样；也有人说，这个盒子不靠广义相对论也驳得倒。本书不当裁判。可有一件事是一般公认的：从那以后，爱因斯坦不再说不确定关系能被这样破掉，他把问题转到了另一处，就是量子力学到底“完备不完备”。

所以，那只盒子，是玻尔在这场争论里赢得最干脆的一回。留在他最后那块黑板上的，正是这一回。是回味，还是心里仍有一点不放心，没有人知道。

◆ 四、守门人唯一的那位对手

把这块黑板和第19章放在一起看，会看出一件有意思的事。

第19章讲，玻尔的学派对两种新读法关了门。玻姆来了，门没开；埃弗雷特来了，谈了约六周，门也没开。

可是对爱因斯坦，这扇门从来没有关过。从一九二〇年柏林初见，到一九六二年那块黑板，四十二年里，玻尔一直在跟他谈，跟他争，替他的每一道题想答案。爱因斯坦的每一次质疑，他都当成最要紧的事，放下一切别的工作去回应。一九三五年的 EPR，据罗森菲尔德回忆，就是这样。

两个人的交情，也一直不是只在纸上。据玻尔后来回忆，一九二三年爱因斯坦到哥本哈根，他去车站接，两人上了电车，一路谈物理，谈得忘了下车，坐过了站，又坐回来，又坐过了站。卷一讲过这个故事。近四十年后，那个在电车上说个不停的对手，还在他的黑板上。

为什么？也许是因为，爱因斯坦是那个唯一和他站在同一片地上的对手。两个人是同一代人，同一年拿了诺贝尔奖，一起见证了量子论从头长出来。爱因斯坦不是带着一套现成的新读法来“推翻”他的，而是一回一回地出题，出的都是玻尔自己也认为是真问题的题。他们用的是同一种东西：思想实验，一只盒子、一道缝、两颗飞远了的粒子，一个画面，一番道理。

守门人也有他从不关门的那一位。只不过，那一位不是来改他的学说的，而是来跟他的学说较劲的。玻尔对这种较劲，一辈子都欢迎。

这块黑板还有一层意思，这里只点到。四十二年里，他的答辞改过很多遍，对EPR的回应前后几稿，一九四九年的长文又换了说法；可是那套框架，互补，现象包含仪器，必须用经典语言，一直没有动过。公道地说，他不动它是有底气的：直到他去世，还没有任何一个实验能在他和爱因斯坦之间分出高下，那要等贝尔和后来的实验台，卷五会讲。两个人为什么都没把这场争论回写进自己脚下那片地，见卷四第29章。

◆ 五、“没有量子世界”

还有一句话，常和晚年的玻尔连在一起。

玻尔的助手彼得森，在玻尔去世第二年写的回忆文章里说，玻尔被问到量子力学背后的世界是什么样的时候，回答的大意是：没有一个量子世界，只有一种抽象的、用量子物理的话写成的描述；物理学的任务不是去发现自然是什么样的，而是去讲我们关于自然能说些什么。

这句话是彼得森转述的，不是玻尔亲笔写下的，本书也只转述大意，并标明出处。

把它放在这块黑板前面读，味道就出来了。一个说“没有量子世界，只有我们能说的”的人，生命最后一个晚上，黑板上留着的，是和一个认为“世界不看也在”的人之间，那一场怎么也说不完的对话。

他的学说里，只有“我们能说的”；他最后那块黑板上，有一个一直在场的对手。

◆ 六、老裁缝的盘扣

放到日常里看一个同样的样子。

比如有这样一位老裁缝，姓唐，八十岁，做了一辈子中式衣裳。她年轻时在县城的国营服装社上班，同一个车间里有一位老姐妹，姓方。两个人手艺都好，却为了一样东西吵了几十年：盘扣。

唐师傅做盘扣，讲究一根布条一口气盘到底，中间不断，结要紧，要像一颗石子；方师傅的盘法，是分两段盘好了再接，结松一点，软一点，钉在衣服上会随着人走路微微晃。唐师傅说方师傅那种是偷工，扣久了要散；方师傅说唐师傅那种是死疙瘩，穿在身上像钉了一排钉子。车间里的年轻人，有的跟唐师傅学，有的跟方师傅学，一个车间分成了两派。

两个人吵了几十年，却一直是最好的朋友。谁家有事，对方第一个到；谁做了一件得意的衣裳，一定先拿给对方挑毛病。

方师傅走得早，七十出头就去世了。唐师傅又做了好几年衣裳。

她去世以后，家里人收拾她的针线筐，在最上面发现了一颗还没钉上去的盘扣。盘法不是她自己的，是方师傅的，分两段接起来的那一种。旁边还有一张纸，上面用铅笔画着两种盘法的走线，一左一右，左边是她自己的，右边是方师傅的，右边那一幅，画得比左边还细。

她的女儿说，母亲最后那几年，常一个人坐着，一边盘，一边念叨，说方姐当年那个结，到底松在哪里。

这个故事和玻尔同构的地方有四处。嘴上一辈子认的是自己那一种，这是玻尔的互补框架，一辈子没改；真正陪她一辈子的，是那个跟她吵了几十年的人，这是爱因斯坦；天花板在于，她把对方的盘法画了又画，画得比自己的还细，却始终是

在证明“它松在哪里”，没有让它改动自己的那一种，这是答辞改了、框架没改；而那颗没钉上去的盘扣，说明她心里一直给那个人留着门。

唐师傅不是固执。她是太看重那个对手了，看重到对方走了以后，她还要一个人把那场争论接着吵下去。

带走的话

守门人也有从不关门的那一位；他最后那块黑板上留着的，是那位对手出给他的题。

小账

缝隙落在哪一格？——不另落新格，仍是第19章那道九宫之外三号位的缝，这一章看它的例外：对学派之外的新读法关门，对爱因斯坦这个出真题的对手，门四十二年没关；答辞一改再改，框架没有回写（见卷四第29章）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是互补这个框架；他一辈子把这个框架磨得这样亮，靠的是那个不肯认它的人。

◆

22

第 22 章

保底、定位卡与判语：他对在哪里

这一章的问题

把玻尔的三道缝和他脚下那片地放在一起，他到底对在哪里，只学他理论的人会卡在哪里？

不妨想象这样一个场景，这是我构想的。

今天，某所大学的一间量子实验室里。几台冷得发白的大罐子立在屋子中间，里面是一块块比指甲盖还小的芯片，芯片上是研究生们每天要摆弄的“量子比特”。一个二年级的研究生正在写实验记录。她的导师要求很严：每一条记录，都要写清楚用的是哪台仪器、什么样的安排、读出来的数是多少。少一样，这条数据就不算数。

她做的每一件事，都是玻尔讲过的。一个量子比特在没测的时候，处在好几种可能里；一测，就只剩下一种。测的办法不同，读出来的样子就不同。仪器、安排、读数，连在一起，才叫一个现象。

那天晚上组会，她犹豫了一下，还是问了导师一个问题：老师，这个比特在我们没测的时候，到底是个什么样子？

导师笑了笑，说：这个问题不影响你的数据。先把数据做好。

她没有再问。组会接着讲下一项。

这个场面值得多看一会儿。玻尔的第一条，现象要把仪器算进去，在这间实验室里活得好好的，每一条记录都照着它写。可他的另一半，那个一辈子不肯把“到底是什么样子”这个问题说死、一辈子站在边界上摸索的玻尔，在这里只剩下一句“先把数据做好”。

这一章是卷三的结账。先说他对在哪里，再填卡、压判语，然后看这间实验室里的那个问题，是怎样一代一代被放下的。

◆ 一、保底：他对在哪里

照缝隙读法的规矩，说他漏了什么之前，先把他对的地方摆出来。定位卡上写了三条，这里一条一条说。

第一，一九三〇年那只盒子。第21章讲过，他用爱因斯坦自己的广义相对论，把“时间和能量可以同时测准”这个挑战驳了回去。后来的物理学家对他的论证细节有争议，有人说前后用的“不准”意思不一，有人说不用广义相对论也驳得倒。可结论是守住了的：时间和能量这一对，确实不能靠一只盒子同时测准。从那以后，爱因斯坦也不再从这个方向进攻。不论细节严不严密，这一仗，他守住了不确定关系。

第二，“现象要把仪器算进去”。这一条至今是量子测量的真问题。开头那间实验室里，每一条记录都在照它写；今天整个量子计算、量子通信的行当，天天跟“测一下它就变”打交道。怎样测、测完以后东西变成什么样，这是今天工程师们最头疼、也最要紧的问题。玻尔没有解决它，但他是最早把它摆到桌面正中的人之一。

第三，他的研究所。从一九二一年到他去世，这栋楼是二十世纪最开放的物理学“客厅”之一。它培养出了一整代的物理学家，把一种长辈晚辈平起平坐、想法没成形也能拿出来吵的空气，带到了世界各地。这是他留下的另一件作品，不写在任何一篇论文里，却比很多论文活得长。

还可以加一条，是第17章里的。一九二五年，他押上能量守恒的 BKS 被实验判负，他痛痛快快地认了，没有找借口，没有拖。一个人最大胆的一次押注输了，还能这样体面地认输，这是一个科学家最可敬的样子之一。

再算上第16章讲过的对应原理，就是五条。新规矩在大处要回到老规矩，这根拐杖今天还在用：一个新理论提出来，物理学家头一件要查的，就是它在大家熟悉的地方，能不能退回到老理论早已验证过的答案。退不回去的，多半有问题。这条规矩没有写进任何一本教科书的封面，却写进了每一个做理论的人的手感里。那座桥这头钉在熟地上，今天的人还踩着它过河。

这五条，是他一生压出来的真东西。下面说他的缝，都是站在这五条上说的。

◆ 二、缝隙定位卡

照全书统一的口径，把他的卡填在这里。

> 【缝隙定位卡】玻尔（物理，1885—1962）
> 理论站在：
> ①二号位 · 互补：现象包含仪器，对立的描述都要，缺一不可（1927 科莫讲演）
> ②E2 信息 · 符号：一切实验必须用经典概念的日常语言来报告，要求说得清楚无歧义
> 人生另活：
> ①一次只认一样：前半生只认波、抗拒光量子十几年（1913—1925）（1922 诺贝尔讲演仍否定光量子；1924 BKS 宁可让能量守恒只在统计上成立）；后半生只认哥本哈根一种读法，对玻姆（1952）、埃弗雷特（1959）关门
> ②边走边想、边说边改：口授、几十遍改稿、说话含糊，自己的文字以晦涩著称；“真理与清晰互补”常被归到他名下
> （E2 这道缝：理论站“符号”——清楚无歧义的经典语言；人生另活“逻辑”——在对话里一句一句推敲出来的道理，写成符号时反倒含糊）
> 另一道缝：E1 三界 · 现实界。理论不谈地，人生全靠地——母亲一方的家底、嘉士伯基金会、1921 年研究所、1933 年起救助流亡学者、1943 年出逃、1950 年致联合国公开信讲“开放世界”
> 保底：对 1930 年光子盒的回应（不论细节是否严密）确实守住了不确定关系；“现象要把仪器算进去”至今是量子测量的真问题；他的研究所是二十世纪最开放的物理学“客厅”之一
> 缝隙位置：九宫外（三号位的二号位）＋E2 格内＋E1 格内

> 大师悖论类型：第四种（给别人的和给自己的不是一样东西——给世界“开放”，给诠释关门）兼第三种（抗拒光子十几年后，用光子的两面性立了互补）

这张卡上，三道缝各有来处。第一道和第三道，是同一道缝的前后两截，落在九宫之外的三号位：理论站在“两边之间”，人生前后两回都只认了一边，一回是颗粒和波，一回是几种读法。第二道落在 E2 信息格内：理论站符号，要清楚无歧义的经典语言；人生另活逻辑，在对话里一句一句推敲，推出来的道理写成符号时反倒含糊。另一道落在 E1 三界格内：理论站在理念界讲怎样描述，人生靠的是现实界那一整片地。

和卷二的爱因斯坦放在一起看，两张卡有一个有意思的对照。爱因斯坦的理论站在一号位，事外；玻尔的理论站在二号位，事中。可两个人的人生，都在自己理论不站的那个位置上翻过身：爱因斯坦靠把自己放进去，靠观察者之间怎样对表；玻尔靠一次只认一样，把一种读法当成事外定死的东西。两道缝交叉着，卷四专门讲。

◆ 三、悖论一句话

> **他教的是两样都要，他靠的是一次只认一样。**

这句话要慢慢读。

“两样都要”，是他写下的那一半：颗粒和波，都要；对立的两种描述，都要；刻在纹章上的那一行字，对立即互补。这一半是真的，第16章讲过它对在哪里。

“一次只认一样”，是他活过的那一半。前半生，他只认波，挡了光子十几年，为了守住波，连能量守恒都肯松开；后半生，他的学派只认一种读法，玻姆来

了，埃弗雷特来了，门没开。他讲话、写字，也是一次只认一句，改到下一稿，上一稿就全部作废。

这不是说一套做一套。恰恰是这一次只认一样的劲头，让他走到了两样都要。前半生只认波，只认到把守恒都押上去、被实验干干脆脆地判了负，他才退到“两样都不急着认，先看我们能说什么”那一步，从那一步里长出了互补。后半生只认一种读法，守住的是一整个学派能坐下来干活的那块地。他的“两样都要”，是在“一次只认一样”里长出来、又靠“一次只认一样”守住的。

再压成一句更短的：他讲互补，守的是门。

这是大师悖论的第四种：给别人的，和给自己的，不是一样东西。他给世界的是开放世界，给自己学说的是一扇门。它同时也兼着第三种的样子，只不过次序倒过来：别的大师是让自己成名的东西后来被自己否定了；玻尔是先否定了光子十几年，后来却用光子的两面立起了让他成名的学说。

◆ 四、只学理论的人卡在哪

照缝隙读法，只学他理论的人，会卡在他理论没写下的那一半上。卡法有好几种，写成一个群像。

第一种，是开头那间实验室里的样子。一代一代的物理学生，学到了“现象要把仪器算进去”，学到了“只谈能测的”，却没学到玻尔一辈子在“到底是什么样子”这个问题前的那份不安和摸索。到后来，这份摸索被压成了一句口号，叫“闭嘴，算吧”。这句话常被安到费曼头上，其实是物理学家默敏一九八九年说的，是一句带几分挖苦的俏皮话。可它流传开以后，成了很多人对哥本哈根的全部理解。碰到那个真问题，这些学生只会说：不影响数据。

第二种，是把“两样都要”学成了和稀泥。有的管理者、有的家长，学到了“对立的两面都对”，于是碰到什么争执都说“你们都有道理”。可玻尔的“两样都要”，是在一个具体的实验里，分开问、分开记、各管一种问法，每一面都要

清清楚楚。只学到“都对”的人，两面都不肯细问，最后哪一面都没弄清楚。第18章那位班主任说“你们说的都对”，后面跟着的是一长段一句一句推出来的话；只学口号的人，说完“都对”，就没有下文了。

第三种，是只学到了守门。有的学派、有的团队，学玻尔学到了“要有一种统一的说法”，于是对一切不一样的读法一律关门，还觉得自己是在守正统。他们没学到的，是玻尔自己一辈子对爱因斯坦开着的那扇门：对一个真正出好题的对手，他四十多年没关过门，放下一切去答。门可以守，可守门的人得分得出，哪一个是来捣乱的，哪一个是来出真题的。

第四种，是只学到了学说，没看见那片地。第20章那位物业经理的年轻助理，就是这种。学了“大家都懂的语言”，学了“说清楚”，回到自己的地方，却怎么也聚不起一群能说到一起的人。他们缺的是玻尔花了大半辈子造的那栋楼、那笔钱、那张信用的网。

四种卡法有一个共同点，正是缝隙读法讲的“传播中变宽”：玻尔本人身上的缝最窄，因为他还活着另外那一半；到了学生一代，门关得更紧了；到了口号里，就只剩下“闭嘴，算吧”。学得越像他的理论，离他本人越远。

◆ 五、监考老师的规矩

放到日常里看一个同样的样子。

比如有这样一位老监考，姓孙，在县里的考试中心干了二十多年，每年成人自考、职称考试、各种资格证考试，他都是主监考。他的规矩在考点出了名：答题只能写在规定的区域，只能用规定的笔，准考证、身份证摆在桌子左上角，差一样都不行。他常说，考场上的规矩，就是让每一个考生都在同一张桌子上考试。

这套规矩，他一条一条写成了一本《监考须知》，每年发给新来的监考员。

可跟他监过考的人都知道，孙老师真正的本事，不在那本须知里。

有一年，一个中年考生进场以后，发现带错了笔，急得满头汗。新来的年轻监考员照须知办，说不符合规定，只能用考点备用的笔。备用的笔恰好用完了，考生眼看着要被耽误。孙老师走过来，先没说规矩，而是蹲下来问考生：你这支笔，拆开给我看看。他看过，是一支普通的黑色签字笔，只是颜色深浅不一样。他当场去隔壁考场借了一支合规的笔，交给考生，又把这件事一笔一笔记进考场记录：几点几分，什么情况，怎样处理，谁作证。

还有一回，两个考生答卷上出现了几处一样的错。年轻监考员要按作弊上报。孙老师把两个人分开，一个一个地问：你这道题是怎么想的？问完，他发现两个人是同一个培训班出来的，老师教错了同一处。他没报作弊，而是把情况原原本本写进了记录，交给上面去判。

分开问，两面都听，自己怎么问算进去，最后写清楚。这正是第16章那位调解员的四步，也是玻尔写下的那一半。孙老师把这一半做到了家。

可他写进《监考须知》的，只有规矩那一条条。怎样蹲下来问，怎样分开听，什么时候规矩要守、什么时候要先去隔壁借一支笔，这些，他从来没有写进去。他觉得这些说不清楚，只能跟着他看。

后来孙老师退休了。新来的监考员们照着那本须知办事，一条都不差。头一年，考点就出了两回投诉：一回是考生带错了笔，被挡在了考场外；一回是两个考生被当成作弊上报，查下来是冤枉的。

年轻人们很委屈：我们一条规矩都没违反。他们翻遍了那本须知，找不到哪一条写着“先蹲下来问”，也找不到哪一条写着“去隔壁借一支笔”。须知里没有的，他们就当它不存在。

这就是玻尔的追随者卡住的地方。孙老师写下的，是守门的规矩；他活出来的，是门前那一蹲、那一问。学的人只学到了门。

和玻尔同构的地方有四处。写下的是一套要求人人照做、一字不差的规矩，这是玻尔的“必须用经典语言说清楚”和那扇守住一种读法的门；真正让他把事办好的，是每一回分开问、两面听、把自己的问法算进去，这是玻尔的“两样都要”在现场的样子；天花板是，接班的人只学到了门，碰到规矩之外的事，只会挡；补法是，把“门前那一蹲”也写进须知里去，哪怕写不清楚，也要写下“这里要先蹲下来问”。

◆ 六、补上缝隙，可以这样学

学玻尔，他写下的那一半一定要学：两样都要，现象要把仪器算进去，报告要说清楚。这是真本事。学完以后，要在他的缝上多下三处功夫。

第一处，补“一次只认一样”的那一面。你要知道，自己眼下多半也在只认一样。家里、单位里，每个人都有一条“这件事就该这样”的规矩，而且多半有很硬的理由，就像玻尔当年守着波。补法不是把它扔掉，而是给它配一个能判它负的东西：像 BKS 那样，把自己的说法讲到能被检验的地步，再去找那一桌一桌的记录。社区食堂的刘师傅，要是早一点让小陈去记一桌一桌的剩菜，那两个窗口就能早开两年。

第二处，补“门”的那一面。门可以守，但每一扇门都要留一个回头看的口子。定一个时间，比如半年、一年，把当初挡在门外的那个说法拿回来，重新看一遍。家族群的大舅要是留了这个口子，那个上门护理的办法，就不必等二姨换个说法再带回来。还要学玻尔对爱因斯坦的那一面：对真正出好题的人，永远开着门。

第三处，补“地”的那一面。学他的学说，也要学他造地。想让一群人说到一起，先得有让他们坐到一起的桌子，有让年轻人不愁下个月饭钱的那点余地，有一个肯被晚辈顶嘴的长辈。只讲规矩、只讲说法、不造地的人，说得再清楚，也没人听。

这三处功夫，都要按剂量来，每次只比能扛的多一点点。放到家里，可以这样试：饭桌上，孩子和你为一件事争起来，先别急着判谁对，分开问两遍，一遍听他的，一遍说你的，把两份“笔录”都当真；过一个星期，再把这件事拿出来，看看当初被你否掉的那个说法，有没有哪一点其实是对的。放到单位，可以这样试：团队定了一种做法以后，专门留一个人，每季度把没被采用的那个方案拿出来，对着这一季的数据重看一遍，看完写一页纸，不必推翻什么，只把“门外那一种”留在视线里。

最后，还有他写字的那一面。说清楚要学，也要学他几十遍改稿里的那份老实：宁可说得慢一点、绕一点，也不为了清楚把话说假。

两样都要是他写下的学问，一次只认一样是他走过的路，一群人能坐到一起是他脚下的地。

带走的话

他讲互补，守的是门。学他，学两样都要，也要学他怎样守门、怎样给对手开门、怎样替一群人造地。

小账

缝隙落在哪一格？——九宫外（三号位：理论站二号位，人生一次只认一样）＋E2 格内（理论站符号，人生活在逻辑的推敲）＋E1 格内（理论站理念界，人生靠现实界）。

他教的是什么，靠的是什么？——他教的是两样都要，他靠的是一次只认一样。

◆

卷　四

缝隙之争：两道缝怎样对撞

卷　首　语

腊月里一个星期六下午，老秦在教师宿舍楼下摆开棋盘，没有对手，自己跟自己下。小满从长沙回来，拎着一袋橘子坐到对面，手机里还开着前两卷的笔记。

“外公，前面读完了。爱因斯坦有一道缝，玻尔也有一道缝。可我还是想不通，两道缝各在各的身上，怎么就吵到一块去了？”

老秦把一枚“车”推过河，又把对面的“马”跳回来吃掉它。“你看，我左手下红，右手下黑。红方这一步，是我昨天输给老周那盘学来的；黑方这一步，是我年轻时自己最爱走的。两只手都是我的，可它们吃的，都是对方身上我自己也走过的那一步。”

小满想了想：“你是说，他们俩打对方，用的是自己身上的东西？”

“不光是用自己身上的。”老秦把棋子一颗颗摆回原位，“是用自己嘴上不认、身上却有的东西。一个人嘴上认的那一半，是刀柄；身上有而嘴上不认的那一半，才是刀刃。刀刃砍过去，砍中的偏偏是对方身上、也是自己身上的那一块。”

这一卷就是把这句话摊开来讲。卷二、卷三各读一个人，一人一张缝隙定位卡。这一卷把两张卡叠在一起，看两道缝在三十五年的争论里碰在哪一年、哪一个思想实验、哪一个词上，碰出来的又是什么：先看刀，再看一次换位，再看两人各拿一半的“观察者”和两人都没说清的那句话；然后看脚下的地，再照一次镜子，最后问为什么没有结局。

小满剥了一瓣橘子递给外公：“那我先猜一个答案：他们吵不完，是因为谁都没输。”

老秦摇头：“是因为谁都没回头。”

23

第 23 章

交叉的刀

这一章的问题

两人打向对方的刀，是从哪里来的？

不妨想象 1930 年 10 月布鲁塞尔的那个傍晚。第六届索尔维会议散了一天的会，爱因斯坦刚刚讲完一只盒子：盒子里装满光，壁上开一个小孔，孔上有一只由钟控制的快门；钟到点，快门一开一合，只放出一个光子。放之前称一次盒子，放之后再称一次，少了多少重量，就知道那个光子带走了多少能量；钟又记下了它离开的时刻。能量和时间，似乎可以同时测得清清楚楚。

据罗森菲尔德后来的回忆，那天晚上玻尔非常沮丧，四处找人说这不可能是对的，却一时说不出错在哪里。第二天，他的神情完全变了，像是打了一场胜仗。他的回答用的不是量子力学里的哪一条，而是爱因斯坦本人的广义相对论：钟放在引力场里，走得快慢和它所在的高度有关；你要称盒子，盒子就得在秤上上下挪动一点，挪动一点，钟的快慢就跟着变一点。于是能量称得越准，时间就记得越不准。

这个场面值得多看一会儿。一个人拿出一只盒子，想证明对方的理论有漏洞；对方沮丧了一晚（相传一夜没睡），第二天早上拿这个人自己最得意的理论，把盒子打了回来。卷一第5章已经把这一回合的来龙去脉讲过了，这里只问一件事：玻尔手里那把刀，是从哪里来的？爱因斯坦手里那只盒子，又是用什么材料做的？

◆ 一、刀柄和刀刃

先把本书判词的前半截拆开来看（判词全文在第29章第三次出现）。它说，桌面上争的是骰子；缝隙里，每个人用自己写下的一半，去打对方活过的一半，而被打的那一半，打的人自己也活过。

这句话里有两个“一半”。一个人“写下的那一半”，是他的理论、他公开站的立场；“活过的那一半”，是他没写进理论、却实实在在靠过的东西。卷二、卷三各给了一张缝隙定位卡，两张卡上都分了这两栏。

一把刀有刀柄，也有刀刃。握在手里的是刀柄，砍出去的是刀刃。

刀柄，是每个人写下的那一半。爱因斯坦握的是“一个严格因果、不看也在的世界”；玻尔握的是“现象要把仪器算进去，对立的描述都要”。这是他们各自站的地方，是他们说“我相信什么”时说的话。

刀刃，却常常是自己活过而没写下的那一半。爱因斯坦的思想实验，一个一个拆开看，材料是光子、钟、观察者、涨落、统计，这些恰好都在他定位卡的“人生另活”那一栏里。玻尔的回应，一次一次拆开看，靠的是边走边想、边说边改，拿对方的东西当自己的材料，这也在他定位卡的“人生另活”那一栏里。

刀刃砍向哪里？砍向对方活过的那一半。而那一半，砍的人自己也活过。这就是“交叉”两个字的意思：不是两把刀迎面相撞，而是两把刀斜着交过去，各自砍中对方身上、也是自己身上的那一块。

本书第四条判决说的就是这件事：每人打对方的刀，都来自自己理论没写下而自己活过的那一半。这一章把最要紧的五件事并排放，一件一件验这句话。

◆ 二、五件事并排

第一件，1930 年的光子盒。爱因斯坦这只盒子里有两样东西最要紧：一颗光子，一只钟。光子是他 1905 年放上桌的，将近二十年里多数同行不肯信，直到 1923 年康普顿的实验以后才渐渐被接受，他自己也说一辈子没弄懂它是什么（见卷二第10章）。钟是他 1905 年相对论的看家本领：相对论讲的就是不同地方、不同运动状态的钟怎样对表。这两样东西，都在他定位卡的“人生另活”一栏——粒子，和“观察者之间对表”。他握着“世界本来定得清清楚楚”这个刀柄，砍出去的刀刃，却是自己活过的光子和钟。

玻尔那边，刀刃是爱因斯坦的广义相对论，这是明摆着的；可握刀的那只手，是玻尔一辈子的做事样子：边走边想、边说边改，把对手的东西拿过来，拧成自己的回答。据罗森菲尔德回忆，那天晚上他四处找人说话，第二天早上便是他的凯旋；相传他一夜没睡。卷三第18章讲过，他要求把话说得清楚无歧义，自己却在对话里一句一句推敲，写下来反倒以含糊出名。这一晚正是“边说边改”最漂亮的一次。

还有一个细节，把这把刀的来处照得更清楚。十几年后，玻尔在 1949 年那篇讲两人争论的长文里，给这只盒子配了一幅示意图：盒子吊在一根弹簧上，旁边立着刻度，盒上有指针，钟装在盒子里，底下还挂着调零用的小砝码，像一件车间里真能做出来的器具。爱因斯坦的盒子原本只是脑子里的一个画面；到了玻尔笔下，它成了一套连秤、连钟、连砝码都要交代清楚的仪器。这正是玻尔写下的那一半：要谈现象，先把整套仪器摆出来。

砍中了哪里？砍中的是爱因斯坦的钟会随高度变快变慢，也就是“钟的读数离不开钟放在哪里”。这是爱因斯坦活过的那一半（观察者之间要对表），也是玻尔写下的那一半（现象要把仪器算进去）。一把刀，同时砍在了两个人的身上。

第二件，1926 年春天海森堡在柏林。海森堡讲完他的新力学，爱因斯坦在讲座之后和他长谈了一次。海森堡说，他只用看得见的量来立理论，这是跟相对论学的。爱因斯坦答：也许我这样推过，但照样是胡说，“是理论决定我们能观察什么”。

这一回合，刀在三个人手里转了一圈。海森堡手里的刀，“只认看得见的”，来自爱因斯坦活过的那一半：年轻的爱因斯坦立相对论时，确实不肯承认一个谁也测不到的“绝对时间”。爱因斯坦不认这把刀，拿出来的是写下的那一半：世界先在那里，理论告诉你该看什么。而这句话，据海森堡后来说，又启发了他第二年的不确定关系。爱因斯坦的一句反驳，成了对方的下一把刀。

第三件，1924 年的换位。那一年玻尔和两位合作者写了一篇论文（后人按三人姓氏的头一个字母叫它 BKS），为了保住连续的光波，宁可让能量只在大数上守恒，单个事件可以不管。爱因斯坦反对，要一个一个事件都守恒，要光子。站位和 1927 年以后正好倒过来。这件事第24章专门讲。

第四件，1916 到 1917 年。爱因斯坦写辐射论文，第一次把“跃迁”写成一件只有概率、没有确定时刻的事：一个原子什么时候放光、往哪个方向放，理论只能给出可能性。他在文末承认，这是理论的弱点，把基本过程发生的时间和方向留给了“偶然”。后来一辈子说“他不掷骰子”的人，是第一个把骰子放到基本过程桌上的人。

值得留意的是，他当时并没有把这当作丢人的事。同一篇文章里他说，对这条路完全有信心。可是三年后，他在给玻恩的信里又说，因果性那件事也让他很烦恼。信心和烦恼，隔了三年，住在同一个人身上。信心来自活过的那一半：这条路算出来的东西是对的，后来激光就是从“受激辐射”这个想法里长出来的。烦恼来自写下的那一半：一个定好的世界，不该有“偶然”这个空位。1927 年以后他打量子力学的偶然，打的正是自己当年满怀信心走过、后来又放不下心的那一半。

第五件，1935 年的 EPR。爱因斯坦和两位合作者设想两个东西先碰在一起，再分开走得很远。这把刀的材料，是“一边测了，就能推出另一边”的那种对应，说到底是统计上的相关，又是他活过的那一半。玻尔的回应，说整个实验安排是一个整体的现象，这是他写下的那一半；可他的回应以难懂出名，这又是他活过的那一半。第26章专门讲。

五件事摆在一起，同一个样子一再出现：刀柄是写下的，刀刃是活过的；砍中的，是对方身上、也是自己身上的那一块。

◆ 三、一位在场的朋友看见了

这种交叉，不是今天回头才看出来的，当时就有人看见了。

据海森堡后来回忆，1927 年索尔维会议上，他们两人共同的朋友埃伦费斯特对爱因斯坦说过一句话，大意是：爱因斯坦，我为你感到难为情，你反对新量子论的样子，正像当年别人反对你的相对论。

埃伦费斯特自己也把那几天记了下来。会后不久，1927 年 11 月 3 日，他给莱顿的几位学生写信，说这场交锋“像一盘棋”，爱因斯坦每天都拿出新的例子，像一只玩具盒里的弹簧小人，每天早上都精神抖擞地蹦出来；他又说，自己几乎毫无保留地站在玻尔一边、反对爱因斯坦。一个两边都亲近的朋友，私下认定玻尔一边更对，当面对爱因斯坦说那句重话时，说的却不是“你错了”，而是“你站的样子，像当年你的对手”。他看见的不是谁更聪明，而是爱因斯坦站到了哪里。

这句话说的正是交叉。当年反对相对论的人，握着“绝对时间、绝对空间”这个刀柄，不肯承认观察者之间要对表。如今爱因斯坦握着“世界不看也定好了”这个刀柄，不肯承认仪器要进入现象。他站到了自己当年对手的位置上，而他砍的，是自己当年亲手砍开的那道口子。

埃伦费斯特这句话，爱因斯坦没有听进去。这一点不必惋惜。一个人要听进去这样的话，得先承认自己活过的那一半比写下的那一半更要紧，这对谁都很难。第29章还会回到这里。

◆ 四、为什么偏偏是这一半

交叉的样子看清了，还要问一句：为什么刀刃偏偏来自自己活过的那一半？为什么砍中的又偏偏是对方活过的那一半？这不是巧合，有它的道理。

先说刀刃。一个人最知道哪里会疼，是因为那里他自己疼过。爱因斯坦为光子争了二十年，被人当成怪论，他比谁都清楚一颗一颗的东西有多难缠；所以他造思想实验，顺手就拿一颗光子放进盒子，拿两颗粒子放到天涯两头。这些材料，他摸得最熟，用起来最趁手。玻尔一辈子边说边改，一个念头要翻来覆去几十遍才落定；所以别人丢过来一个难题，他最拿手的就是连夜把它翻过来、倒过去，直到从里头翻出对方自己的东西。刀刃锋利，是因为那块钢是自己一锤一锤打出来的。

写下的那一半就不一样。写下的是结论，是站好的位置，是拿来守的，不是拿来砍的。你守一座城，用的是城墙；你出城打仗，用的却是自己在野地里摸爬滚打练出来的本事。

再说砍中的地方。为什么总砍在对方活过的那一半？因为写下的那一半，对方早守好了。爱因斯坦要是直接说“你的互补不对”，玻尔有一整套话等着他；可他拿出一颗粒子、一只钟，问“这个你怎么测”，玻尔就得离开自己的城墙，到野地里来接招。玻尔也一样，他不去驳“世界不看也在”这句信条，那是驳不倒的；他去碰爱因斯坦的钟，碰那个“钟在哪里、怎么读”的活计，爱因斯坦就无话可说，因为那是他自己的活计。

一个人写下的那一半，是他最有把握的地方，也是他最少被人碰的地方；活过的那一半，是他最有本事的地方，也是他最不设防的地方。两个高手过招，都绕开对方的城墙，专打对方的野地。而这片野地，两人都走过。

◆ 五、婆媳的年夜饭

设想一户湘中人家的年夜饭，婆婆和儿媳一人掌一口锅。

婆婆嘴上信的是老规矩。她常说，菜要按老辈传下来的做，腊肉要熏足四十天，鱼要下猪油，看书看手机学的都是花架子。儿媳嘴上信的是新做法，少油少盐，照手机里的菜谱称克数，不看“火候”“手感”这种说不清的东西。

这是两人写下的那一半。

可是那天，要是有人站在厨房门口看，会看见另一样东西。婆婆那道剁椒鱼头，是前两年跟着手机上一个视频学会的，视频还是孙子帮她找的；她只是不说。儿媳那道蒸腊味，比例是照着婆婆早年随手记在挂历背面的一张单子做的，那张单子她拍了照存在手机里；她也不说。

两人各用了对方的菜谱。

饭桌上吵起来了。婆婆夹了一筷子儿媳的菜，说：“你这个网上学的东西，没有根，味道是虚的。”儿媳尝了一口剁椒鱼头，说：“妈，您这个凭感觉放的，咸淡全看运气。”

你看这两把刀。婆婆握的刀柄是“老规矩”，砍出去的话是“网上学的不靠谱”，砍中的是儿媳活过的那一半，可那一半婆婆自己也活过，她的鱼头就是网上学的。儿媳握的刀柄是“照克数”，砍出去的话是“凭感觉靠运气”，砍中的是婆婆活过的那一半，可那一半儿媳自己也活过，她的腊味比例就是从婆婆的“感觉”里抄来的。

再往细里看，她们手里的刀刃是什么？婆婆能一口尝出儿媳的菜少了什么，靠的是她几十年的舌头，也是她跟着视频学鱼头时才练出来的“试一试”的胆量。儿媳能一眼看出婆婆的盐放多了，靠的是她照克数练出来的眼，也是她偷偷照婆婆那

张单子做过一遍、才知道老单子哪里写得含糊。两人刀刃上的钢，都来自自己没说出口的那一半。

这个故事和爱因斯坦、玻尔对得上四处。嘴上信的：婆婆信老规矩，像爱因斯坦信一个定好的世界；儿媳信新做法，像玻尔信新的量子力学。身上靠的：各自偷偷用过对方那一套。碰到天花板的时刻：饭桌上吵，谁也说服不了谁，因为每人砍中的地方，自己身上也有，砍得越狠，自己越说不出口。后来能怎样补上：只要有一个人先说一句“这道鱼头，我是跟手机学的”，交叉的刀就能变成交换的菜谱。

可惜，这句话常常没人说。

◆ 六、交叉是不是巧合

有人会问：五件事都对得上，会不会是挑出来的？专挑对得上的讲，对不上的不提？

这个疑问是对的，本书第四条判决专门为它留了推翻条件：如果有人找到同样多的、分量相当的“没有交叉”的回合，第四条就要改成“部分交叉”。

我们自己先查一遍。1927 年索尔维会议上，爱因斯坦早饭时出的那些题，多数是让电子或光子穿过一条缝或两条缝，再设法看它从哪条缝过去。这些题的材料，仍然是一颗一颗的粒子，是他活过的那一半，交叉的样子还在。可玻尔那一方每天晚饭时交的卷，多半用的是不确定关系和“仪器也要算进去”，这是玻尔写下的那一半，并不来自他活过而没写下的东西。所以1927 年那一轮，爱因斯坦一边是交叉的，玻尔一边更接近“直着砍”，只能算半交叉。

这样算，上面列的五件事，再加上 1927 年索尔维这一轮，一共六处：光子盒、海森堡、1916—17 年、1924 年四处，交叉得比较干净；1927 年索尔维和 EPR 两处，是一边交叉、一边半交叉。说“每人打对方的刀都来自自己活过的那一半”，在爱因斯坦一边站得很稳；在玻尔一边，站得住大半，但有收窄的余地。本书把这一条记在这里，不回避，第29章与结语再验收一次。

还有一层保底要先说。交叉不等于刀是钝的。爱因斯坦的盒子和 EPR 抓住的问题是真的，纠缠和“远处的两个东西能不能互不相干”至今是物理学的真问题（见卷二第15章）。玻尔的回应不论细节严不严密，确实守住了不确定关系，“现象要把仪器算进去”至今是量子测量的真问题（见卷三第22章）。刀是好刀，砍中的也是要害。交叉说的不是谁砍偏了，而是谁都没有回头看一眼：自己这把刀的钢，是从哪里来的。

把这一章压成一个画面：两个人隔着一张桌子，各举一把刀。刀柄上刻着自己的信条，刀刃上的钢却是从自己没写下的日子里炼出来的。两把刀斜着交过去，都砍在对方身上、也是自己身上的同一块地方。

所以这场争论越吵越深，却总也吵不完。吵得深，是因为每一刀都砍在真东西上；吵不完，是因为每一刀砍中的，砍的人都不能承认自己也有。

带走的话

刀柄是写下的，刀刃是活过的。砍向对方的那一刀，砍中的常常是自己也活过的那一块。

小账

这两道缝在哪里碰上了？——在光子盒的钟上，在 1926 年那句“是理论决定我们能观察什么”上：爱因斯坦活过的光子与对表，玻尔活过的边说边改，各自成了打对方的刀刃。

碰出来的是什么？——一种交叉：每人砍中的，是对方身上、也是自己身上的那一块；六处回合里四处交叉得干净，两处一边交叉、一边半交叉。

24

第 24 章

1924 年的换位

这一章的问题

1924 年两人站的地方，为什么和 1927 年以后正好相反？

不妨想象 1924 年春天，爱因斯坦在柏林读到一篇从哥本哈根寄来的论文。作者是玻尔和他的两位合作者克拉默斯、斯莱特。论文想解决一个老难题：光明明是一阵一阵的波，可光打在金属上、打在电子上，又像一颗一颗的子弹。玻尔不肯要子弹。为了保住波，论文走了一步险棋：能量守恒这条物理学最硬的规矩，可以不在每一次碰撞里都成立，只要在成千上万次的平均里成立就行。

爱因斯坦的反应，他在给玻恩的信里写过，常被人引用。大意是：要是真这样，他宁可去当鞋匠，甚至去赌场当个雇员，也不当物理学家了。

这个场面值得多看一会儿。三年之后，在布鲁塞尔，说“单个事件只能讲概率”的是玻尔一方，说“这不可能是最后的话”的是爱因斯坦。可在 1924 年，恰恰是玻尔愿意让一条根本的规矩只在平均上成立，恰恰是爱因斯坦坚持每一次都要算清楚。两个人的站位，像两家对门的铺子，过几年互换了招牌。

◆ 一、BKS 到底说了什么

先用大白话把这篇论文讲清楚。按三位作者姓氏的头一个字母，后人叫它 BKS。

打个比方。一家店每天进进出出几百笔账。一种记法是每一笔都要当场对上，收一块钱就是一块钱，少一分都不行。另一种记法是，单笔可以对不上，有时多收，有时少收，只要月底一合总，大数对得上就行。

老规矩的能量守恒，是第一种记法：每一次碰撞，进去多少能量，出来多少能量，一笔一笔都对得上。BKS 说，为了让光一直是连续的波，我们可以改用第二种记法：单个原子、单个电子那里，能量可以对不上；成千上万次合起来，平均是守恒的。

玻尔为什么肯付这么大的代价？卷三第17章讲过，他前半生只认波，1922 年领诺贝尔奖时的演讲里仍然否定光量子。他宁可动能量守恒，也不肯让光变成一颗一颗的。在他心里，连续的光比每一笔都对得上的账更要紧。

爱因斯坦正好相反。光子是他 1905 年放上桌的，将近二十年里多数同行不肯信，他自己也常说没弄懂它。可他不肯放弃两样东西：光有一颗一颗的一面，能量每一次都守恒。一个是他活过的粒子，一个是他写下的秩序。

◆ 二、1925 年，实验说了话

这一回合没有拖太久。1925 年春天，两组实验先后做出来：一组是博特和盖革，一组是康普顿和西蒙。他们去看单个的光和单个的电子碰撞，看每一次的能量和动量是不是对得上。结果是，一次一次都对得上。

BKS 被判负。玻尔认了，放弃了“能量只在统计上守恒”这个想法。但据记载，他对“光子”这个说法仍然不热心。

这是争论史上少有的一次，桌面上有了清清楚楚的输赢。赢的是爱因斯坦，不过不是在辩论里赢的，是实验替他说了话。

要特别说一句：这一次输，对玻尔不是坏事。卷三第17章已经说过他的第三种大师悖论：抗拒光子十几年后，用光子的两面性立了互补。1925 年的这次输，是他从“只要波”走到“两样都要”的那一道门槛。1927 年他在科莫讲出“互补”，光的波和粒子两个样子都被收了进去。可以说，1924 年输掉的那一半，成了 1927 年立起来的那一半的地基。

◆ 三、同一年，爱因斯坦在做什么

说到这里，容易把 1924 年的爱因斯坦想成一个只讲规矩、不碰统计的人。事情恰恰相反。

就在他写信说“宁可当鞋匠”的同一年，一位印度年轻人玻色给他寄来一篇论文，用一种新的数法来数光子。爱因斯坦亲手把它译成德文，替他投了稿，又顺着这条路往下推，推到了一种新的统计：一大群一模一样、分不出你我的粒子，该怎么数它们的可能状态。后人把它叫作玻色—爱因斯坦统计，推出来的那种极冷状态下“大家挤到同一个状态里去”的现象，叫玻色—爱因斯坦凝聚。

也是这前后，法国的德布罗意提出，电子这样的粒子，也有波的一面。当时不少人拿不准，爱因斯坦却站出来支持。

把这三件事放在一起看，是一幅很有意思的画。一边，他反对 BKS，说一条根本的规矩不能只在平均上成立；一边，他自己在做一门新的统计，一门只讲“一大群怎么分布”的学问。一边，他坚持光有一颗一颗的一面；一边，他支持电子有一阵一阵的一面。

这不是自相矛盾，这正是他 1909 年在萨尔茨堡讲过的那件事：将来的光理论，会是波和粒子的某种融合。1924 年的爱因斯坦，是活得最像这句话的时候。

他身上粒子也有，波也有，统计也有，秩序也有，四样东西都在用，而且用得都对。

所以1924年他赢，不是赢在“只认秩序”。他赢在那一年他什么都认：认光子，认守恒，认统计，认物质波。他只是不认一件事：拿统计去顶替守恒。统计可以用来数一大群，不能用来免掉每一笔账。这条线，他划得清清楚楚。

问题出在三年以后。新的量子力学来了，它把光子、物质波、统计全都收进去了，恰恰是爱因斯坦那几年亲手推过的东西；可它在“每一个单个的事件发生在什么时候、什么地方”这件事上，只给概率。那条线被越过了。爱因斯坦没有回头去看，越过那条线的理论里，装着多少是他自己1916年、1924年一砖一瓦搬进去的。

说到“宁可当鞋匠”这句话本身，也值得停一下。一个物理学家反对一篇论文，可以说它推导错了，可以说它和实验不合；他说的却是“那我就不干这一行了”。这是一句关于口味的话，不是一句关于证据的话。写下的那一半，到了最深处，常常不是一套论证，而是一种“不这样我就活不下去”的口味。1924年，这份口味和实验站在一起；1927年以后，只剩口味站在他身边。

◆ 四、换位：两张桌子倒了个个儿

现在把1924年和1927年以后并排放。

1924年，玻尔说：单个事件可以不管，只要大数上对。爱因斯坦说：不行，单个事件一个一个都得对账。

1927年以后，局面倒过来了。新的量子力学里，能量倒是一次一次都守恒了，可一个电子什么时候、落在哪里，理论只给概率。玻尔说：单个的事情，就说到这一步为止，再往下问没有意义，这就是完备的描述。爱因斯坦说：这个理论管得了一大群的平均，管不了单个的那一个，所以它还没说完。到了1949年，他在给那本纪念文集写的《答评论》里讲得更明白。一般认为，这是他晚年对量子力学

的一贯读法：那套描写，说的是一大群同样准备好的东西的统计，不是单个东西的完整样子。

你看，1924 年爱因斯坦要“单个的也要清楚”，玻尔要“大数就够了”；1927 年以后，爱因斯坦说“这个理论只有大数”，玻尔说“单个的就到此为止”。关于“单个”和“大数”，两人的桌子整个倒了个个儿。

换位是哪一刻定下来的？两封信可以作记号，收信人都是玻恩。1924 年那封，他说要是能量只在统计上守恒，他宁可去当鞋匠；1926 年 12 月 4 日那封，他说量子力学说了很多，却没让我们更接近“老头子”的秘密，无论如何，他相信那一位不掷骰子。两年之间，同一个收信人，同一种口气，反对的东西却换了：前一封反对的是玻尔的统计，后一封反对的是一门已经把他的光子收进去、却只给概率的新力学。口气没变，对面站的人变了，他自己站的地方也跟着挪了。

还有一层换位。1924 年爱因斯坦是那个新东西的辩护人，光子是新的；玻尔是那个老东西的辩护人，连续的波是老的。1927 年以后，玻尔成了新东西的辩护人，爱因斯坦成了守老规矩的人。这一层，就是上一章埃伦费斯特那句话说的：他反对新量子论的样子，正像当年别人反对他。

◆ 五、两家对门的理发店

设想县城一条老街上，两家理发店门对门开了十几年。

东边那家的老板姓罗，开张的时候走的是“快”：十块钱一个头，十分钟剪完，不洗不吹，赶集的人排着长队。西边那家的老板姓向，走的是“细”：一个头剪四十分钟，先洗后剪再修面，价钱贵两倍，来的都是熟客。两家老板见面客客气气，背后都说对方的路子不对。罗老板说，剪头就是剪头，磨磨蹭蹭是糊弄人。向老板说，十分钟剪出来的头，走出门就走了样。

过了几年，街上来了年轻人开的新式发廊。罗老板的快剪被抢走了一半生意，他咬咬牙，添了洗头床，学着向老板慢下来。向老板的熟客一个个老了，年轻人嫌他慢，他也咬咬牙，推出十五块的快剪。

那几年，两家门口的价目牌都换过好几回。罗老板的牌子上添了“精剪三十元”，字写得比“快剪十元”大；向老板的牌子上添了“快剪十五元”，贴在最下面一行，用的是小字，像是不太愿意让人看见。牌子不会说谎，嘴会。

又过两年，有人在街口听两位老板吵嘴。罗老板说：“你现在这个快剪，糊弄人。”向老板说：“你那个慢工，是装样子。”听的人笑出了声：两个人说的，正是几年前对方说自己的话，只是倒了个个儿。

这个故事和 1924 年对得上。嘴上信的：各自当年那一套，罗老板信快，向老板信细，像 1924 年的玻尔信大数、爱因斯坦信单个都要对账。真正靠的：环境一变，两人都去学了对方的路子，像玻尔被实验逼着收下光子、爱因斯坦在新理论面前改守“它只管大数”。碰到天花板的时刻：两人换了招牌，却还用老口气骂对方，骂的正是自己新挂出来的那块招牌。后来能怎样补上：只要有一位老板说一句“你当年说我的那句话，现在我懂了”，两家店就可以互相介绍客人，而不是隔街对骂。

故事里最要紧的，不是换位本身。做生意的人换路子是常事，搞学问的人换站位也是常事。要紧的是：换了位，嘴上的理由却没跟着换。罗老板慢下来了，却还觉得自己是“快”的那个人；向老板快起来了，却还觉得自己是“细”的那个人。

◆ 六、换位说明了什么

1924 年的换位，至少说明三件事。

第一件，两人的站位不是天生的性格，是各自在那个时候最舍不得放下的东西决定的。1924 年玻尔最舍不得的是连续的波，所以他肯拿守恒去换；1927 年以后他最舍不得的是互补这个框架，所以他说“到此为止”。1924 年爱因斯坦最舍不得的，恰好是两样东西合在一起：光子和守恒；1927 年以后他最舍不得的，只剩守恒背后的那个定好的世界。

第二件，这就引出本章最要紧的一个读法。1924 年爱因斯坦是赢家，为什么赢？因为那一年他写下的那一半和活过的那一半站在同一边：活过的光子，写下的秩序，一起反对 BKS。两半合成一股劲，又有实验撑着，所以赢得干净。1927 年以后，新的量子力学把他活过的光子收了进去，却把他写下的秩序留在了门外。两半分家了。他站到了写下的那一半那边，去反对一个装着自己活过那一半的理论。这一仗，他再没赢过。

玻尔反过来。1924 年他只守一样，只守波，输了。输完了，他学会两样都要，写成了互补，赢了。

所以换位的意思是：一个人两半合在一起的时候最有力；两半分家、只守写下的那一半的时候，最容易输。爱因斯坦 1924 年是前一种，1927 年以后是后一种。玻尔 1924 年只守一样输了一次，那一次输，把他推到了“两样都要”。

把“两样都要”和“只认一样”这两个说法拿来再看一眼，换位还有更深的一层。1924 年，活得“两样都要”的是爱因斯坦：粒子和波，单个和大数，他都在用；活得“只认一样”的是玻尔：只要波。1927 年以后，爱因斯坦在写下的那一半里收拢成“只认一样”：只认一个定好的世界，别的读法都算“还没说完”。玻尔则在写下的那一半里立起了“两样都要”，可卷三第19章讲过，他在学派的日子里仍然一次只认一样：只认哥本哈根一种读法，对后来的玻姆、埃弗雷特关门。

也就是说，两人换的不只是桌面上的站位，还有“两样都要”和“只认一样”这对习惯在各自身上的住处。爱因斯坦把“两样都要”留在了 1924 年以前的日子里，玻尔把它搬进了自己的理论里。一个人活过而没写下的，另一个人写下了而没活成。这一点第28章还要放到九宫图上细看。

第三件，换位让我们看清，第23章的交叉不是偶然摆出来的造型。一个人身上本来就有两半，环境一变，站到哪一半去，常常由不得他。站过去以后，他就拿这一半的刀柄，去砍另一半；而另一半，他曾经住过。

还要交代一句，这一章的读法靠的是一根柱子：1924 年的玻尔确实“只要波”。BKS 这篇论文、1922 年的诺贝尔演讲，是这根柱子最硬的两块砖。本书第三条判决为此留了推翻条件：要是有可靠史料显示，玻尔在 1920 年代初就已经接受光量子是实在的，只是出于别的考虑才写 BKS，那么“前半生只认波”要收窄，这一章说的“只守一样输了一次”也要跟着改口。照王德生立的判读纪律，没查到不等于没发生，我们只能说：到目前查到的材料为止，这根柱子立得住。

这里也要说保底。1924 年反对 BKS 的爱因斯坦是对的，实验站在他那边。1927 年以后说“这个理论没说完”的爱因斯坦，到今天也不能说是错的，量子力学是不是完备的，至今没被证明（见卷五第33章）。玻尔 1924 年错了，但错得勇敢，他敢动最硬的规矩；1927 年以后他守住的互补，至今是理解测量的重要读法之一。换位不是谁糊涂，而是两个认真的人，在同一个难题上，先后站过了对方站过的地方。

> **带走的话**
>
> 站到哪一边，常由不得人；可站过去以后，拿来骂对方的话，多半是自己几年前被骂过的那句。

小账

这两道缝在哪里碰上了？——在“单个”与“大数”上：1924 年玻尔要大数、爱因斯坦要单个都对账；1927 年以后整个倒了过来。

碰出来的是什么？——一次换位：爱因斯坦两半合一时赢、两半分家后不再赢；玻尔只守一样时输，输完了长出“两样都要”。

◆

25

第 25 章

同一个“观察者”，两人各拿一半

这一章的问题

两人都离不开“观察者”这个词，为什么却各拿了一半？

不妨想象 1950 年前后普林斯顿的一条小路。一位年老的物理学家和一位年轻的同事一起走回家，路上他忽然停下来，问了一个听上去像小孩子会问的问题。据那位年轻人派斯后来回忆，爱因斯坦问他：你真的相信，月亮只有在你看它的时候才在那里吗？

这个问题问的是量子力学的一种说法：一个东西在被测量之前，它的某些性质说不上有确定的值。爱因斯坦觉得这不可能是最后的话。月亮就在那里，看不看都在；电子也该在那里，测不测都有它自己的样子。

这个场面值得多看一会儿。问这话的人，是二十世纪最会用“观察者”讲物理的人。1905 年他立相对论，讲的就是站在不同地方、以不同速度运动的观察者，比如站台上一个人、火车上一个人，各拿各的尺子和钟，量出来的长短快慢不一样，该怎么换算。没有这些观察者，就没有相对论。可到了晚年，他问的却是：没有人看，月亮在不在？

一个人一生把“观察者”用到了极致，却要把观察者从实在里请出去。另一个人，玻尔，一生讲仪器进入现象，却只让观察者走到仪器口为止。同一个词，两人各拿了一半。

◆ 一、先说三个位置

先借一组 SDE 的词，用大白话说清楚，后面好用。一个人看事情，可以站在三个位置上（三号位）。

第一个位置，盯着事本身，好像自己不在场，事情就是那样，写成条文、写成客观规律（一号位）。第二个位置，盯着人和人之间、人和东西之间，事情是在来来回回的互动里成形的（二号位）。第三个位置，盯着自己心里，事情是我怎样体会到的、怎样想出来的（三号位）。

卷二第12章给爱因斯坦定的缝，正落在三号位这组位置上：他的理论站一号位，实在不依赖观察者，物理学写的是“事外”的世界；他的人生却另活在三号位和二号位上。三号位是他自己心里的画面：据他晚年的自述，十六岁上下就想过，要是追上一束光，会看见什么；据他另一处回忆，1907 年前后又想到，一个人从高处自由落下，会不会觉得自己没有重量，这个念头后来常被画成一个关在封闭升降机里的人。二号位是观察者之间对表：相对论本身，就是讲不同的观察者怎样把各自的读数对上。

卷三第16章给玻尔定的位置，也在三号位这组位置上：他的理论站二号位，现象要把仪器算进去，对立的描述都要，缺一不可。

两个人都在三号位这组位置里。一个理论站一号位、人生活二号位和三号位；一个理论站二号位。可两人手里的“二号位”，不是同一个二号位。

◆ 二、爱因斯坦手里的那一半：观察者之间对表

先看爱因斯坦的观察者。

不妨想象一个夏夜，两个人隔着一条河看烟花。一个人站在河这边，一个人坐在一条顺流而下的船上。烟花在对岸炸开，两个人看见的时刻差了一点，听见响声的时刻差得更多。事后两人一对，各自说的时间、距离都不一样。这里的差别，有一部分只是光和声音走路要花时间，扣掉就是了。

相对论讲的是更深的一层：就算把路上的时间全扣干净，两个相对运动的人，对“是不是同时”“有多长”“过了多久”的读数，仍然会不一样。船走得越快，差得越多，只是日常的速度太慢，差得小到觉察不出。谁对？相对论的回答是：都对，只是各有各的尺子和钟，只要知道两人之间怎样换算，就能把两份记录对成一份。

这就是爱因斯坦的观察者：一群站在不同地方、不同速度上的人，每人手里一套读数。相对论不管他们心里怎么想，也不管他们的眼睛和钟本身是什么做的，只管一件事：各人的读数之间，按什么规矩换算。

这是一种二号位：事情在观察者之间的互动里成形。可爱因斯坦拿它做了一件很妙的事。他说，既然每个人的读数都不一样，那么所有人换算之后都认的那个东西，才是真的。长短会变，快慢会变，可是有些东西，无论谁来量、怎么换算，都不变。那不变的，才是实在。

这样一来，观察者用完就被请了出去。他们像一群证人，各自作证，法官把证词对齐，得出一个事实，证人就可以回家了。事实不依赖任何一个证人。爱因斯坦用观察者，是为了证明实在不需要观察者。

他站在二号位上干活，把结果交给一号位。这正是他定位卡上那道缝：理论站一号位，人生另活二号位和三号位。

还要补一笔三号位。相对论里那些观察者，是从哪里来的？是从爱因斯坦自己心里来的。站台上的人、火车上的人、追光的少年、掉下去的升降机，一开始都不在实验室里，而在他脑子里的画面里。他先在自己心里当了一回那个观察者，设身处地地“看”了一遍，才把看到的东西写成换算的规矩。卷二第13章讲过，他早年靠的是画面和思想实验，数学是后来借来的。

这就是说，相对论出生在三号位，长大在二号位，最后落户在一号位。出生的地方和长大的地方，都在“观察者”这一边；落户的地方，却是一个不需要观察者的世界。孩子长大了，不认老家。这不是忘本，是一种物理学的习惯：写进论文的只能是最后那个落户的地址，出生证明不收。

◆ 三、玻尔手里的那一半：仪器进了门

再看玻尔的观察者。

在玻尔那里，要紧的不是观察者之间怎么对表，而是观察者和被看的东西之间，隔着一样什么。隔着的，是仪器。

你想知道一个电子在哪里，得用光去照它，或者让它打在一块屏上；你想知道它跑多快，又得换一套装置。玻尔说，这两套装置不能同时摆在一起用，用了这一套，就得不到那一套的答案。所以“电子在哪里”和“电子跑多快”，不是电子自己身上两样同时摆着、等你去看的东西，而是两种不同的实验安排各自给出的现象。现象里，包含了仪器。

这是另一种二号位：事情在观察的一方和被看的一方之间成形。卷三第16章把它叫作玻尔的秘籍：两样都要，缺一不可。

可玻尔也在一个地方停住了。他要求，仪器必须用日常的、经典物理的话来说清楚：这是一块屏，那是一只钟，读数是几点几分。仪器这一头，是清楚的、大家都能对得上的；仪器那一头的电子本身，是什么样子，他不说，或者说“不能这样

问”。据他的助手彼得森后来回忆，玻尔说过，大意是：没有一个量子世界，只有一套抽象的量子物理的描述。

他为什么偏偏停在仪器口？卷三给他定的第二个站位，就是答案：一切实验，都必须用经典概念、用日常的话来报告，要说得清楚、没有歧义。仪器这一头，是能用日常的话说清楚的最后一站。屏上亮了一个点，钟指着几点几分，这些话，任何一个实验员都能听懂、都能核对。再往里走一步，去说电子本身“在干什么”，日常的话就不够用了，一说就有歧义。玻尔宁可不说。

所以玻尔的门口，其实是语言的门口。观察者能走到哪里，要看大家共同的话能说到哪里。这是一道很讲究的门，守门人是“说清楚”这条规矩。可是卷三第18章也讲了，守这道门的人，自己说话以含糊出名。这一点第26章再细说。

也就是说，玻尔把观察者放进了现象，但只放到仪器口为止。观察者心里想什么，不进来；仪器另一头的东西本身是什么，也不说。观察者在他那里，是一只站在门口的手：手伸进了门，人留在门外。

◆ 四、周日晚上的视频电话

设想这样一户人家。儿子在长沙上班，老两口住在县城，孙子六岁。每个星期天晚上八点，儿子一家和老两口开视频。

这通电话里，有两件事总是弄不对。

第一件是对不上。县城那头网慢，画面比声音晚一截；长沙这头孙子刚说完一句话，那头奶奶过了两秒才笑。爷爷有一回说：“你们那边的钟是不是快了？”儿子就耐心解释，两边的时间都没错，只是信号在路上走了一会儿，要把这一会儿算进去，两边说的话才对得上。这是爱因斯坦那一半：不同位置上的人，各有各的读数，要按规矩对表；对好了，就知道“真正的”那一刻是什么时候。

第二件是变了样。孙子平时在家里满地打滚，一对着手机镜头，就坐得端端正正，背起儿歌来。奶奶在镜头前也总要先理一理头发。老两口说：“孙子真乖。”奶奶床头有个小本子，每个星期天挂了电话，她就记一行：“背了三首儿歌”“会数到一百了”。一年下来记了大半本，本子上的孙子，每个星期都是乖的。儿媳在旁边笑，心想你们没见过他平时的样子。这是玻尔那一半：手机镜头这个“仪器”一进来，看到的就不是没开镜头时的那个孩子了；你看到的“乖”，本来就包含了镜头。

一家人为这件事拌过嘴。爷爷说：“孩子乖就是乖，跟手机有什么关系？”这是爱因斯坦的口气：孩子本来就有一个样子，看不看都在，信号慢了对一对时间就行。儿媳说：“你们看到的就是镜头前的他，镜头外的，您看不到，也就别说他乖不乖。”这是玻尔的口气：现象里包含仪器，镜头外的，不能这样问。

这个故事和两人对得上。爷爷嘴上信“孩子有他本来的样子”，像爱因斯坦信一个不看也在的世界；可他自己天天在干的，是隔着手机对表，靠两个观察者的读数拼出一个孙子，这是他活过的那一半。儿媳嘴上信“镜头前的才算数”，像玻尔信现象包含仪器；可她也只说到镜头为止，镜头外面孩子平时的样子，她天天看着，却不拿来跟老人讲，这是她停在仪器口的地方。碰到天花板的时刻，是这场拌嘴怎么也吵不出结果：一个把镜头请出去，一个把镜头之外请出去。

后来能怎样补上？不妨让孙子自己拿一回手机，拍一段自己在家里打滚的样子发过去。这时镜头还是镜头，可拿镜头的人换成了被看的人，看的人和被看的人都进了这件事。这一步，爷爷的“本来的样子”没有丢，儿媳的“镜头也算数”也没有丢，丢掉的只是“观察者要么全出去、要么只到门口”的那道门槛。

五、两半在 EPR 那里碰上了

两人各拿一半“观察者”，平时可以各说各的，到了 1935 年，就碰上了。

EPR 设想的，是两个东西先在一起，然后分开，走到很远的两处。两处各有一个观察者，各拿一套仪器。一处测了，另一处的结果就能推出来。

爱因斯坦用的是他那一半：两处的观察者，是两个隔得很远的证人。相对论告诉他，没有任何影响能比光跑得还快；这一处的测量，不能在一瞬间改变那一处东西的实在状态。这就是后人常说的爱因斯坦的“分离原则”：相隔很远的两个东西，各有各的实在状态。既然那一处的结果不用碰它就能推出来，那一处的东西本来就有这个值；量子力学没把这个值写进去，所以不完备。

玻尔用的是他那一半：两处的仪器、那对东西，整个实验安排是一个现象，不能拆开来说“这一半的实在”和“那一半的实在”。你选了在这里测哪一种量，就决定了关于那一处能说哪一种话。这不是一个信号跑过去改了那边的东西，而是“能说什么”本来就由整个安排定下。

在爱因斯坦看来，玻尔这套说法，等于承认远处的东西会被这里的选择牵着走。十二年后，1947 年，他在给玻恩的信里给这种牵连起了一个名字，叫“鬼魅般的超距作用”。这个说法直到今天还常被引用。在玻尔看来，爱因斯坦这样说，是把“远处那一半自己的实在”当成了不用问、不用测就摆在那里的东西，这恰恰是他一辈子说“不能这样问”的那一问。

一个觉得对方在讲鬼故事，一个觉得对方在问不该问的问题。

这一回合，两人为什么谈不拢？因为爱因斯坦的观察者是分开的一群人，彼此对表，对完各回各家；玻尔的观察者是伸进门的一只手，手和门里的东西连成一个现象。一个说“分开的两处，各有各的实在”，一个说“整个安排是一件事”。他们用同一个词，指的是不同的一半。

◆ 六、两人都没拿的那一半

最后要问：两人各拿一半，那有没有谁都没拿的?

有。观察者自己，那个站在三号位上的人，他心里的画面、他的选择，在两人的物理学里都没有位置。爱因斯坦把自己心里的追光、升降机活成了相对论，却把观察者从实在里请了出去。玻尔把仪器请进了现象，却让人停在门外，说“不能这样问”。

用 SDE 的话说一句就够：两人都还是从“看”出发去找世界，一个要找到看不看都在的东西，一个找到了“看”本身也在现象里，却不再往前走。这一条卷五第35章细讲，这里只留一个记号：在这件事上，两人都是在“发现”世界，还没走到世界和看的人一起“发生”那一步。

这一章的保底也要说清。爱因斯坦把观察者请出去的那一套，在相对论里立得极稳，靠它，全世界的卫星定位今天才能把钟对准。玻尔把仪器请进来的那一套，到今天仍是理解量子测量绕不开的一步。两人拿的都是真东西，只是各拿了一半。

这一章也可以拿回日常里用。今天的人看别人，常常隔着一样“仪器”：一份工作汇报、一个朋友圈、一次视频面试。看的时候不妨问自己一句：我拿的是哪一半观察者？是把几个人的说法对一对，得出一个“他本来就是这样”的结论；还是只认镜头前的那一个，镜头外的一概不问？两种都有用，也都只是一半。

> **带走的话**
>
> 一个用观察者证明不需要观察者，一个把观察者请进门，却只请到门口。同一个词，两人各拿一半。

小账

这两道缝在哪里碰上了？——在“观察者”这个词上：爱因斯坦活过的是观察者之间对表，写下的是事外的实在；玻尔写下的是仪器进入现象，却只到仪器口。1935 年在 EPR 两处分开的仪器上碰了头。

碰出来的是什么？——两种观察者说的是两件事，所以谈不拢；谁都没拿的，是站在三号位上的那个人自己。

◆

26

第 26 章

两人都没写清楚的那句话

这一章的问题

争论最要紧的那一回合，为什么两个人都没把最要紧的话写清楚？

1935 年 6 月 19 日，爱因斯坦在普林斯顿给远在欧洲的薛定谔写了一封信。一个月前，《物理评论》登出了他和波多尔斯基、罗森合写的那篇论文，题目是一个问句：能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗？这篇论文后来以三人姓氏的头一个字母出名，叫 EPR。

可是在这封信里，爱因斯坦对这篇自己署名的论文并不满意。据研究者考证，文稿是波多尔斯基执笔的，爱因斯坦似乎没有审过定稿。他在信里说，大意是：文章没有写成我本来想要的样子，要紧的东西反倒被博学闷住了。

“闷住”这个说法，值得多看一会儿。那个要紧的东西就在文章里，没有丢，只是被一层层的学问盖住了，透不过气来。一篇后来改变了物理学走向的论文，它的署名人亲口说，最想说的那句话没说出来。

而另一头，玻尔几个月后发表的回应，也以难懂出名。几十年来，物理学家、哲学家一遍一遍地读，一遍一遍地争它到底说了什么。

最要紧的一回合，两边最要紧的话，都没写清楚。

一、那句被闷住的话

先替爱因斯坦把那句话，用大白话说一遍。

两个东西先碰在一起，再分开，走得很远，一个在这座城，一个在那座城。它们分开以前的那次碰撞，让它们之间有了一种对应：这边是什么，那边就一定是什么。现在，你在这座城测了这一个，不用碰那一个，就知道那一个是什么。

爱因斯坦心里的画面就这么简单。他接着问：那座城里的那个东西，在你测这一个之前，到底有没有那个值？只有两种回答。要么它本来就有，那么量子力学没把这个值写进去，理论不完备。要么它本来没有，是这边一测，那边才一下子有了，那就是这边的动作隔着千山万水、一瞬间改了那边，这他绝不能接受。

这就是他的“分离原则”：相隔很远的两个东西，各有各的实在状态，这一边做什么，改不了那一边。

可是印出来的 EPR 论文，不是从这个画面开始的。它先立了一条判定“什么算物理实在”的标准，一环扣一环地推，用的是两个粒子的位置和动量，公式一排一排。画面在里面，被推理和公式裹住了。

爱因斯坦自己显然知道这一点。此后几年，他在给别人的信里、在 1936 年的《物理学与实在》这样的文章里，又换着法子讲过这个意思，讲得一次比一次直白：两个分开的东西，各有各的实在，这一边动，改不了那一边。可是物理学界记住的，仍是 1935 年那一篇。第一次印出来的样子，常常就是后人认识一件事的样子。

卷二第13章说爱因斯坦的另一道缝，正落在这一处：他晚年只信方程的简洁，早年却靠画面和思想实验成事。EPR 是这道缝落到纸上的样子：他最有力的是画面，纸上印出来的是一层学问。

◆ 二、玻尔的回答为什么难懂

再看玻尔那一头。

据罗森菲尔德回忆，EPR 一到哥本哈根，像一声晴天霹雳，玻尔放下了手头别的一切工作。玻尔一边口授、一边一遍一遍地改，从 EPR 5 月 15 日刊出到他的答文 7 月 13 日寄到编辑部，不到两个月。1935 年 10 月，玻尔的回应登在同一份刊物上，用的是一模一样的题目。

“晴天霹雳”这个说法本身，就说明了一件事：玻尔没有把 EPR 当成一篇可以随手回一封短信的文章。他放下一切，是因为他知道，这一回对方打到了最要紧的地方。一个人的回应难懂，有时候不是因为他想得少，恰恰是因为他想得太多，每一句都要把所有可能的误解先堵上，句子才越写越长。

他的核心意思，前一章已经说过：两处的仪器、那对东西，整个实验安排是一个现象。你在这里选了测哪一种量，就定下了关于那一处能说哪一种话。他强调，在这样的测量里，谈不上有什么机械的扰动碰到了那边的东西；但是，那些规定“能对它将来作出哪几种预言”的条件本身，确实受到了影响。他还说，EPR 那条判定实在的标准，在“不以任何方式扰动一个系统”这句话的意思上，含着歧义。

还要留意他回应的路数。他没有顺着 EPR 的推理一步一步去找哪一步推错了，而是退后一步，把问题本身换了个问法：不问“那一处的东西本来有没有值”，而问“在这样一套实验安排下，我们能说哪些话”。这是玻尔最拿手的一招，1927 年、1930 年他都这样接招。对手在一号位上发问，问的是事情本身；他把问题搬到二号位上作答，答的是事情和仪器之间。这一招常常很有力，因为它让对手的问题落了空；可它也常常让对手觉得没被回答，因为对手问的那一句，他并没有直接接。

意思其实不算太深。难懂的是说法。长句套长句，一个限定接一个限定，“条件”“现象”“安排”几个词绕来绕去，读的人常常读完一段，说不上他到底同不同意“那边的东西本来就有值”。

卷三第18章讲过，这正是玻尔的一道缝：要求说得清楚无歧义的人，自己的文字以晦涩著称。他习惯口授，一篇稿子改几十遍，边说边想，边想边改。一句常被归到他名下的话，说真理与清晰是互补的。这话是不是他原话，不好说；但放在他身上，确实像。

◆ 三、交叉的指责：都说对方不清楚

有意思的是，这一回合里，两人对对方的指责，正好落在自己的缝上。

爱因斯坦嫌量子力学什么？嫌它不清楚。它说不出那一处的东西在测量之前是什么样子，这在爱因斯坦看来，就是对实在的描写含糊其词。他要的，是一个每一样东西都有清清楚楚的值、每一步都有清清楚楚的因果的世界。可他自己最想说的那句话，印出来的时候被闷住了。

玻尔嫌 EPR 什么？也嫌它不清楚。他说，“物理实在”那条判定标准有歧义，没说清楚“不去扰动”指的是哪一种扰动。他要的，是每个词都指一个明明白白的实验安排。可他自己的回应，读者读了几十年还在猜。

这又是第23章的交叉：用自己写下的一半，打对方活过的一半，而被打的那一半，自己身上也有。爱因斯坦写下的是“清清楚楚的实在”，打的是量子力学的“说不清”，而他自己那篇论文就活在“说不清”里。玻尔写下的是“清清楚楚的语言”，打的是 EPR 的“有歧义”，而他自己的回应就活在“有歧义”里。

◆ 四、夫妻吵架用对方的原话

设想一对结婚十来年的夫妻，为了过年回谁家吵了起来。

妻子说：“你去年自己说的，‘今年先回你家，明年回我家’，这话是不是你说的？”丈夫说：“我是说过，可你前年也说过，‘你妈身体不好，以后多回你家’，这话是不是你说的？”妻子又翻出一句，丈夫又翻出一句。两个人都记性极好，对方哪年哪月在哪张饭桌上说过什么，一字不差。妻子甚至翻出手机，找到前年腊月里丈夫发给她的一条语音，外放出来，一屋子都是丈夫自己的声音。丈夫也不示弱，翻出一张聊天截图，上面是妻子的原话，连标点都在。

证据越来越硬，屋子里的气却越来越冷。每拿出一条原话，对方就退一步，再从自己的手机里掏出一条来顶回去。

这场吵架，吵得非常“清楚”。每一句都有出处，每一句都是对方的原话。可越吵越远。

吵到半夜，两人都累了。妻子坐在沙发一头，忽然不说那些原话了，低声说了一句：“我就是怕，我爸妈老了，我回去的次数一年比一年少。”丈夫愣了一下，也说了一句：“我也是怕，我妈一个人，过年那几天，她连个说话的人都没有。”

这两句话，才是这场吵架底下真正要说的。前面那些原话，每一句都清楚，却把这两句闷住了。

这个故事和 EPR 这一回合对得上。嘴上信的：两人都信“说清楚”，拿对方的原话当证据，像爱因斯坦和玻尔都要求对方把话说清楚。真正靠的：每个人心里一个简单的画面，父母老了、一个人过年，像爱因斯坦心里那两个隔着千山万水的东西。碰到天花板的时刻：原话越翻越多，要紧的话越埋越深，像 EPR 被博学闷住、玻尔的回应被限定语绕住。后来能怎样补上：先把心里的那个画面说出来，再去对原话。原话说的是“谁对”，画面说的是“怕什么”。

◆ 五、说清楚和说真话

这一章可以落到一对词上：说清楚，和说真话。

说清楚，是一门手艺。字句不含糊，推理不跳步，每个词指一样东西。说真话，是另一件事：把自己最在乎、最放不下的那一点，照原样说出来。两件事常常在一起，但不总在一起。

用 SDE 的话说，这件事落在 E2 这一格，也就是“信息”那片地里。信息有三种样子（信息三模态）：符号，是讲故事、打比方、画画面；逻辑，是一环扣一环地讲道理；数学，是算数、列式子。卷二第13章给爱因斯坦定的另一道缝在这一格里：他晚年只信数学的简洁，早年靠的是符号里的画面，数学靠借。卷三第18章给玻尔定的站位也在这一格里：他要求用日常的话把实验说清楚，自己却说不清楚。

放在一起看，EPR 这一回合就清楚了。爱因斯坦真话的样子，是一幅画面；印出来的，是逻辑和数学。画面没进论文，真话就被闷住了。玻尔要守的，是日常语言说得清楚；可他真正想说的那件事，“整个实验安排是一个现象”，恰恰是日常语言最说不顺的一件事。他越想说清楚，句子越长，真话越埋越深。

两人都在说真话，都没说清楚。

还有一样可以留意：三种样子里，逻辑这一样，恰恰是两人都最强、也都最放心的。EPR 一环扣一环，玻尔的回应也一环扣一环，这场交锋几乎全在逻辑这条路上进行。可两人各自最要紧的那一点，一个在画面里，一个在“整个安排是一件事”这种很难用一环一环的话说出来的整体感里。争论走的是逻辑的路，真话却不在这条路上。

把两道缝在这一格里的样子并排放，还能看出一点不对称。爱因斯坦的缝，是真话在符号里的画面，印出来的却是逻辑和数学。玻尔的缝方向正好相反：他写下的是符号，要清楚无歧义的经典语言；他活过的是逻辑，在对话里一句一句推敲出

来的道理，一写成符号，反倒含糊了。所以要救爱因斯坦的那句话，得把画面找回来；要救玻尔的那句话，得把推敲的那一长串剪短。后来薛定谔做的，恰好两样都做了：一只猫，一个词。

那么，这句话后来是在哪里说清楚的？不在两人的论文里，在第三个人手里。1935 年，薛定谔和爱因斯坦来回通信。爱因斯坦在信里举了一个家常得多的例子：一桶会自燃的火药，放一段时间，要么炸了，要么没炸，不会是“半炸半不炸”。

薛定谔差不多同时写出了那只关在盒子里的猫，路子和火药桶一样。也是在这一年，他在公开发表的两篇论文里（一篇登在剑桥哲学学会会刊，一篇登在德国的《自然科学》），给这种“两个东西分开了，却只能合起来描写”的样子，正式起了一个名字，叫“纠缠”。信里有火药、有猫，名字是在论文里亮相的。

这里要停一下，说清楚两个“纠缠”。物理学里的“量子纠缠”，说的是两个东西分开以后，只能合起来当一个整体来描写，单说其中一个，说不全。SDE 里的“特征纠缠”（E），说的是脚下那片地：家庭、时代、身边的人、手里的工具，互相缠在一起，一起托着一个人往前走。两者不是一回事，但有一样相像：都拆不开，拆开了单说一半，就说不全。卷五第30章会细讲这个名字的来历。

画面，是从火药、从猫那里回来的。在私下的信里，两个人都比在论文里说得清楚。这不奇怪：写信是活过的那一半，写论文是写下的那一半。

为什么信里反倒说得清？写论文的时候，一个人面对的是整个学界，他要守住自己写下的那一半，每一句都得经得起挑剔，于是加限定、加推理、加公式，一层一层地护住。写信的时候，对面只坐着一个懂你的人，你不用守，只用说。一桶火药、一只猫，这种话在论文里显得不够郑重，在信里却刚刚好。真话常常是在不用设防的地方说出来的。

这也照见了两人争论的一个遗憾。三十五年里，爱因斯坦和玻尔见面、开会、写文章，大多是在“论文”那一头交手，各守各的城墙。就本书用到的材料看，两人最直白的话，多半是各自写给第三个人的：爱因斯坦的“不掷骰子”“鬼魅般的超距作用”写给玻恩，“被博学闷住”写给薛定谔，而不是写给对方的。

◆ 六、保底：没说清的，不等于没说对

最后要把保底说足。

EPR 虽然写得闷，它抓住的东西是真的。分开的两个东西之间那种对应，后来被贝尔改写成一条可以拿实验去检验的不等式，再后来被一次又一次的实验验证（见卷五第31、32章）。爱因斯坦最想说的那句话，在他身后被别人说清楚了，也被实验回答了。

只是要公道地说一句，实验回答的方向，并不是爱因斯坦盼的那个方向。他盼的是“两边各有各的实在，互不相干”，也就是本书第一条判决里说的“定域实在”。贝尔以后的实验，一次比一次干净地判了它的负。爱因斯坦问对了问题，他心里的答案却没被实验认下。问对了问题，是他的功劳；答案被判负，也是事实。两件事都要记。

玻尔的回应虽然难懂，它守住的东西也是真的。“现象要把整个实验安排算进去”，到今天仍是理解这类实验的一把钥匙。他没说清，但他没说错方向。

两人都说了真话，都没说清楚。说清楚这件事，是后来的人、后来的实验，一起替他们完成的。这也是本书卷五要讲的：纠缠不是谁的发现，它是两个人一起、再加上后来很多人，一起说清楚的。

带走的话

说清楚是手艺，说真话是心里那幅画。两人都说了真话，都没说清楚；真话后来是从信里、从一只猫那里回来的。

小账

这两道缝在哪里碰上了？——在 E2 信息这一格：爱因斯坦的真话是画面，印出来被逻辑和数学闷住；玻尔要守日常语言的清楚，自己的回应却最难懂。两人都指责对方不清楚。

碰出来的是什么？——一句两人都没写清楚、却由第三个人（先在信里、后在论文里）说清楚了的话，和它的名字：“纠缠”。

◆

27

第 27 章

友谊这片地：为什么吵了三十五年还吵得下去

这一章的问题

一场谁也说服不了谁的争论，为什么能吵三十五年，吵不散？

1920 年 4 月，玻尔到了柏林，两人第一次见面。那时第一次世界大战刚结束不久，柏林缺吃少穿。相传玻尔还随身带了些丹麦的吃食，送给主人家。两人谈了些什么，没有留下逐字的记录；留下来的，是事后的几封信。

爱因斯坦给他的朋友埃伦费斯特写信，说起玻尔，大意是：他也像埃伦费斯特一样，“爱上”了这个人。随后他又直接给玻尔写信，大意是：一生中很少有人，仅仅因为在场，就给他带来这样的快乐。玻尔回信说，与他见面交谈，是自己最重要的经历之一。两个月后，爱因斯坦去了哥本哈根，讲他的相对论。

三年后，1923 年，爱因斯坦又到哥本哈根。据玻尔后来回忆，两人在电车上谈得入了神，坐过了站，下车往回坐，又坐过了站，就这样来回了好几趟。

这个场面值得多看一会儿。两个人并排坐在电车上，谈的多半就是后来吵了三十几年的那些事：光到底是什么，因果还算不算数。电车一站一站地过去，他们一站一站地没下车。后来的三十五年，其实也像这辆电车：一直在争，一直没有到站，也一直没有人下车。

为什么没有人下车？这一章不看桌面，也不看两人手里的刀，看两人脚下那片地。

◆ 一、脚下那片地

SDE 讲一件事怎样发生，要看三样东西：长出来的样子（S，显露），走出来的路（D，差异），还有脚下那片地（E，特征纠缠）。地，是家庭、时代、身边的人、手里的工具、被迫接受的环境。这些东西互相缠在一起，一起托着人往前走，所以叫“纠缠”。人回头看自己，常常看得见路，看不见地。

一场争论也有地。桌面上是论点，是思想实验，是一来一回的交锋；桌子底下，是两个人凭什么还愿意坐在同一张桌子边。

大多数争论是怎么结束的？常见的有三种。一种是有人赢了，另一方认输。一种是有人走了，不再奉陪。还有一种，是地塌了：两个人撕破了脸，再也不肯坐到一起，争论不是被说完的，是被砸断的。

爱因斯坦和玻尔的争论，三种都没有发生。桌面上谁也没认输；两个人谁也没走开，一个到死还在问量子力学到底说了什么，一个去世前夜的黑板上还留着对方的盒子；地也没有塌，吵到最凶的时候，两个人说起对方，仍是敬重的口气。

还要算上距离。1933 年以后，爱因斯坦离开德国，到了大西洋那边的普林斯顿；玻尔留在哥本哈根。战争、海洋、各自的事务，都把两人隔开了。见面少了，可争论没有断。1935 年的 EPR、1949 年的那本厚书，都是隔着大洋接上的。一片地要是薄，几千公里就把它扯断了；这片地扯不断。

所以这场争论能吵三十五年，靠的不是桌面，是地。

可这片地，两人自己很少写。他们留下的文字，写的多是论点：谁出了什么题，谁怎么接的，哪一步推得通、哪一步推不通。这是路。至于为什么总愿意再坐回这张桌子，为什么吵完了还惦记着对方，这些是地，他们几乎不写，或者只在书

信的开头结尾带一两句。这不奇怪，人回头看自己，本来就是看得见路、看不见地。我们今天要读这片地，只能从那些零零星星露出来的地方去读。

下面就去看那些露出来的地方。

◆ 二、看得见的敬重

地是看不见的，可它会在一些地方露出来。这里只列公开的事实。

1922 年 11 月，诺贝尔奖同时公布：爱因斯坦补授 1921 年的物理学奖，理由是光电效应的定律；玻尔获得 1922 年的物理学奖，理由是原子结构与辐射的研究。两人在同一时刻站上了同一个台阶。有意思的是，爱因斯坦得奖的那项工作，正是光量子那篇论文里的内容，也正是玻尔当时还不肯接受的东西。颁奖把两人放到一起，也把两人最大的分歧放到了一起。

1949 年，美国的哲学家席尔普编了一本厚书，叫《爱因斯坦：哲学家—科学家》，请各路学者写文章评爱因斯坦，最后由爱因斯坦本人作答。玻尔为这本书写的，是一篇长文，题目叫《就原子物理学中的认识论问题与爱因斯坦的讨论》。在一本为对手祝寿的书里，玻尔把两人二十多年的争论，一个回合一个回合地重讲了一遍，从 1927 年讲到光子盒，讲到 EPR。这是一种很特别的敬重：他没有写客气话，他把对方当成最值得一辩的人，把辩论本身当作献给对方的礼物。爱因斯坦在书末的《答评论》里，也认真回了他。

还有一层很少被人留意。今天我们讲 1927 年早饭时出的题、1930 年那只盒子，很大一部分依据的，正是玻尔这篇文章里的讲述和文中配的示意图。也就是说，爱因斯坦当年向玻尔发起的挑战，是由玻尔本人记下来、讲给后人听的。一场争论里，对手成了你的史官。他完全可以把对方的题讲得弱一点、把自己的回答讲得漂亮一点；从文章看，他没有这样做，爱因斯坦的题在他笔下都讲得很有分量。能让对手放心地把自己交给他去讲，这本身就是地。

还有一句话，常被引用，据说是爱因斯坦形容玻尔的：玻尔发表意见的时候，像一个永远在摸索的人，从不像一个自以为掌握了确定真理的人。这话只见于后来的转述，找不到爱因斯坦亲笔的出处，本书只写“据说”。可不管措辞如何，这个意思放在两人三十五年的交往里，是对得上的：爱因斯坦最看重玻尔的，不是他的结论，是他那份一直在找的样子。

最后一件，发生在爱因斯坦去世七年以后。1962 年 11 月，玻尔在哥本哈根去世；去世的前一天，他还在接受库恩等人的访谈。据记载，去世前夜，黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦 1930 年的光子盒；为什么画、画给谁，没有留下记载（见卷三第21章）。三十二年过去了，对手早已不在，那只盒子还在他的黑板上。

一个人去世七年以后，对手在自己生命的最后一晚，黑板上还留着他出的题，这比任何一句客气话都更能说明，这片地有多厚。

◆ 三、中间人

一片地上，常常不只站着两个人。

爱因斯坦和玻尔之间，有一个两人都极亲近的朋友，莱顿大学的埃伦费斯特。1920 年爱因斯坦说自己“爱上”了玻尔，那封信就是写给他的。爱因斯坦去荷兰，常住在他家里。玻尔同他也是多年的好友。

在这场争论里，埃伦费斯特站的不是哪一边，而是两边之间。第23章讲过，据海森堡回忆，1927 年索尔维会议上，他当面对爱因斯坦说，你反对新量子论的样子，正像当年别人反对你的相对论。这句话是对爱因斯坦说的，也是替玻尔一方说的，可它的口气，是朋友的口气，不是对手的口气。

另一件事方向正好相反。1931 年 7 月 9 日，埃伦费斯特写信给玻尔，替爱因斯坦把话说清楚。这封信常被研究者引用：他说，爱因斯坦亲口对他讲，自己早就一

点也不怀疑不确定关系了；那只能称重的光盒子，也根本不是为了反驳不确定关系才想出来的，而是另有用意。这一回，他是替爱因斯坦向玻尔解释。

好的中间人，传的不是话，是意思。话可以原样转过去，意思却要先懂了这一边，再用那一边听得进的方式说出来。埃伦费斯特两边都懂：他懂爱因斯坦为什么放不下一个定好的世界，也懂玻尔为什么非要把仪器算进去。所以他对爱因斯坦说的那句重话，是朋友才说得出口的；他替爱因斯坦向玻尔解释的那封信，也只有一个两边都信得过的人才写得出。

一个朋友，一会儿替这边对那边说真话，一会儿替那边向这边讲清楚。争论的两个人各守各的城墙，他在城墙之间来回走。这样的人，在 SDE 的读法里，就是那片地上的一部分：他不出论点，不出思想实验，可没有他，两座城墙之间就少了一条路。

埃伦费斯特 1933 年去世。此后两人之间，少了这样一个人。地还在，路却少了一条。两年后 EPR 那一回合，两人隔着大洋各写各的文章，中间再没有一个人来回走动，替这边把那边的意思说清楚。第26章讲的那句两边都没写清楚的话，也许和这一点有关；这只是一种猜测，记在这里。

◆ 四、兄弟分家

设想湘中乡下一户人家，老母亲八十多了，两个儿子都已成家。老屋要拆了重建，两兄弟为怎么分争了好几年。

哥哥说，老屋的地基是爷爷那辈打的，按老规矩，长子多分一间。弟弟说，这些年爹娘生病，都是他在跟前伺候，出力多的该多分。两个人各有各的道理，每年过年都要为这件事吵一架，声音大到隔壁都听得见。

奇怪的是，吵了好几年，兄弟俩从来没有真的翻脸。每年腊月二十八，两家人照样都回老屋，照样围着母亲吃一顿饭。吵完了，哥哥给弟弟的孩子塞红包，弟弟给哥哥家拎两块腊肉。第二年，接着吵。

村里的人说，这两兄弟是吵不散的。为什么吵不散？因为他们脚下有一片共同的地：一个还在的母亲，一栋还没拆的老屋，从小一起下河摸鱼的记忆，还有一个村里人都认识的姑父，每回吵到要掀桌子，他就端着茶杯进来，这边说两句，那边说两句。

这个故事和两人对得上。桌面上争的：哥哥讲老规矩，弟弟讲出力多，各有道理，谁也说服不了谁，像爱因斯坦和玻尔的论点。桌子底下托着的：母亲、老屋、从小的情分，像两人之间 1920 年开始的那份敬重。中间人：那位端着茶杯的姑父，像埃伦费斯特。

可是这个故事还有后半段，它让我们看见地的另一面。正因为地够厚，兄弟俩可以放心地吵，每年吵一次，吵完了照样吃饭；也正因为吵得放心，谁也不必真的回头想一想，对方那个道理里，有没有自己该认的一分。哥哥从没问过自己：这些年爹娘生病，我确实去得少；弟弟也从没问过自己：老屋的地基，确实不是我打的。地托住了争论，也托住了两个人不用改。

后来这件事是怎么了结的？不是谁吵赢了。是有一年姑父病了，没法再来端茶；母亲也住进了县城的医院。兄弟俩第一次在医院走廊里单独坐了一个下午，没吵，各自说了一句平时没说过的话。

◆ 五、地托住了争论，也托住了不改

故事的后半段，放回爱因斯坦和玻尔身上，就是这一章最要紧的一层意思。

卷三第20章讲过，玻尔另有一道缝在 E1 三界：他的理论不谈地，人生全靠地。母亲一方的家底，嘉士伯基金会的支持，1921 年落成的研究所，1933 年起救助流亡学者，1943 年的出逃，1950 年致联合国的公开信讲“开放世界”，这一样一样都是地。友谊，是他身上又一片地。他的理论里没有这片地，他的日子里处处有。

爱因斯坦也一样。他的理论写的是一个“事外”的世界，没有谁和谁的情分这一项；可他三十五年的争论，是在一片情分的地上吵下来的。在普林斯顿的最后二十年，他埋头做统一场论，和物理学的主流越走越远（见卷二第14章）；和玻尔的这场争论，是他和量子物理之间始终没有断掉的一根线。对一个越来越独行的人来说，一个始终认真跟他吵的对手，本身就是一片地。

这片地做了两件事。

头一件是托住。有了这片地，两人可以把最锋利的刀亮出来，不必担心砍断交情。光子盒让玻尔沮丧了一整晚，EPR 让玻尔放下手头的一切，这些都是真刀真枪；可第二天，两人照样是朋友。没有这片地，争论可能三五年就散了，也就不会有后来那么多来回，不会有 EPR，不会有“纠缠”这个名字。

第二件是托住了不改。正因为地够厚，吵下去是安全的；正因为安全，谁都不必被逼到墙角，回头把对方的道理写进自己的土里。一场撕破脸的争论，往往逼得人要么认输、要么改；一场有情分托底的争论，可以一直吵，吵成一种习惯，吵成两个人之间的一种相处。

这不是说友谊错了，而是说地有两面。它让争论活了三十五年，也让争论三十五年没有回写。第29章专讲“回写”，那里还要回到这一层。

◆ 六、保底

这一章的保底很简单：这片地是好的，而且难得。

这片地也不只是两个人的私交。卷三第22章讲过，玻尔的研究所是二十世纪最开放的物理学“客厅”之一，各国的年轻人来来去去，在那里吵架、喝茶、打乒乓球似的你来我往；索尔维会议也是一片公共的地，每隔几年把各路高手请到同一张桌子边。私交的地之外，还有一片公共的地。两片地叠在一起，一场三十五年的争论才有地方落脚。

对普通读者来说，这一层也许最值得带走。一个家、一个单位、一个小区，要吵得起架而不散，光靠两个当事人的脾气是不够的，还要有一张大家都肯坐过来的桌子，一个肯端茶进来的人。有了这些，吵架才吵得出东西来；没有这些，吵一次就少一个朋友。

学界里的争论，撕破脸的并不少见。两个人为了一个根本问题吵了半辈子，还能在为对方七十岁编的文集里写长文、在自己的最后一天画对方的题，这在任何一行里都是少见的。后来的人读这场争论，常常先被桌面上的交锋吸引；可要学的，也许首先是这片地。

没有地，不会有这场争论；只有地，也不会有这场争论的结局。地托住的是一场还在进行的争论，结局要靠别的东西，那就是回写。

> **带走的话**
>
> 能吵三十五年，靠的不是论点，是脚下那片情分的地；可地托住了争论，也托住了两个人都不用改。

> **小账**
>
> 这两道缝在哪里碰上了？——在 E 这片地上：两人的理论都不写情分，两人的争论却全靠情分托着；埃伦费斯特在两座城墙之间来回走。
>
> 碰出来的是什么？——一场吵不散的争论，也是一场没人被逼着回头的争论；地给了它三十五年，没给它结局。

◆

28

第 28 章

九宫镜像：两个人的缝摆在一张图上

这一章的问题

把两个人的缝摆到同一张九宫图上，看得出什么对称、什么错位？

1947 年，丹麦国王授给玻尔大象勋章。按惯例，获勋的人要有自己的纹章。玻尔自己选了图案：正中是一个太极图，一黑一白两条鱼首尾相衔；配着一句拉丁文铭文，意思是“对立即互补”。

这个场面值得多看一会儿。太极图是一个很特别的图：黑鱼的眼睛是白的，白鱼的眼睛是黑的。每一半的身子里，都嵌着另一半的一个点。玻尔拿它来画自己的互补：波和粒子，对立，却缺一不可。

我们在这一章借他这幅图用一用，不画波和粒子，画两个人。要是把爱因斯坦的缝和玻尔的缝摆在同一张图上，会不会也是这个样子：一个人的身子里，嵌着另一个人的一只眼睛？

◆ 一、先把图摊开

SDE 看一个人，用的是一张三行三列的图，叫九宫。

三行是三个大方面。第一行是长出来的样子（S，显露），问的是：他看世界，看出的是什么形态、什么秩序、什么价值。第二行是走出来的路（D，差异），问的是：他为了什么走、怎么一步一步走、走得多紧。第三行是脚下那片地（E，特征纠缠），问的是：他站在什么世界里、用什么样的信息、凭什么样的劲头。每一行再分三格，合起来九格。

九格之外，SDE 体系里还有两件现成的工具，缝隙定位卡本来就用着，不是本书另编的。一件是“三号位”（盯着事、盯着人和人之间、盯着自己心里），这一卷已经用过。另一件是“显露光谱”，这一章也要用：一样东西长出来的样子，可以是一锅粥（混沌态），可以是正在成形（介生态），也可以是已经定型（秩序态）。

卷二、卷三给两人各定了一张缝隙定位卡。这一章不另立新缝，只把两张卡上已经定下的落点，一格一格搬到同一张图上。定位卡没落的格，就空着，不硬塞。

◆ 二、一张图

下面这张表，是本章唯一的一张表。左边两栏是爱因斯坦，右边两栏是玻尔；每人分“理论站在”和“人生另活”两栏。

摆在哪里	爱因斯坦·理论站在	爱因斯坦·人生另活	玻尔·理论站在	玻尔·人生另活
S2 模态维（粒子·波·场）	场	粒子（1905 光量子）；波（1909 预言波粒融合）	波和粒子都要（1927 互补）＊	前半生只要波，抗拒光量子到 1925＊
显露光谱（一锅粥·正在成形·定型）	定型：严格因果的世界	一锅粥与统计：布朗运动、涨落、1916—17 的“偶然”、玻色—爱因斯坦统计	定位卡未落	定位卡未落
三号位（事·人和人之间·自己心里）	一号位：实在不依赖观察者	自己心里（追光、升降机）；观察者之间对表	二号位：现象包含仪器	一次只认一样：后半生只认一种读法（卷三第19章）
E2 信息（符号·逻辑·数学）	数学：方程的简洁	符号：画面、思想实验；数学靠借	符号：日常语言，要清楚无歧义	逻辑：对话里一句一句推敲（口授、边说边改），写成符号反倒含糊
E1 三界（理念·现实·自我）	定位卡未落	定位卡未落	理论不谈地	现实界：家底、基金会、研究所、救助学者、出逃、公开信
大师悖论	第三种兼第五种		第四种兼第三种	

表里打了＊号的一行要先说明。卷三给玻尔定的第一道缝，写的是“理论讲对立的描述都要，人生一次只认一样，前半生只认波”。它本来不是按 S2 这一格定的。这里把它放到 S2 这一行，是把同一道缝投到“粒子·波·场”这一格上看一眼，方便和爱因斯坦对照，不是给玻尔另立一道新缝。表里写着“定位卡未落”的格子，本书不去填，照缝隙方法的纪律：没定下的，先空着，空着也是一种读数。

◆ 三、读出对称：一个人的身子里，嵌着另一个人的眼睛

先看对称。

第一处在 S2 那一行（玻尔一边是投影，上面说过）。爱因斯坦的理论站在场上，他相信的是一整片连续的、处处有定值的场；可他活过的，是粒子和波两样都要。1905 年他把光说成一颗一颗的，1909 年在萨尔茨堡预言，将来的光理论会是波和粒子的某种融合。玻尔反过来。他的理论写的是波和粒子两样都要，缺一不可；可他活过的，是前半生只要波。

一个人活过的“两样都要”，正是另一个人写下的“两样都要”。一个人写下的“只认一样”（只认场），正对着另一个人活过的“只认一样”（只认波）。这就是太极图里的那只眼睛：爱因斯坦的人生里，嵌着玻尔的理论；玻尔的人生里，嵌着爱因斯坦理论的那种脾气。

第二处在三号位那一行。爱因斯坦活过的二号位，是观察者之间对表；玻尔写下的二号位，是仪器进入现象。第25章已经说过，这是同一个词的两半。放在图上看，爱因斯坦把“二号位”活在了身上，玻尔把“二号位”写进了理论。反过来，爱因斯坦的理论站一号位，世界是定好的，只有一种读法；玻尔活过的，恰恰是“一次只认一样”，后半生只认哥本哈根一种读法。一个人写下的“只有一种”，是另一个人活出来的“只有一种”。

这一行还能多读出一层：两人走的方向。爱因斯坦的相对论，第25章说过，出生在三号位（自己心里的画面），长大在二号位（观察者之间对表），最后落户一号位（一个不需要观察者的世界）。玻尔反过来，理论一直站在二号位，可卷三第22章说过，他在学派的日子里，把一种读法当成了事外定死的东西，人生这一头滑向了一号位。

两人都在二号位上干过最漂亮的活，最后却都落到了一号位上；只是一个落在写下的那一半里，一个落在活过的那一半里。镜子里左右是反的，终点却在同一个位置。这不是新添的一道缝，只是把两张卡上已经定下的落点，按时间先后连成了两条线。

第三处在大师悖论那一行。两人都兼着第三种：让自己成名的东西，后来被自己否定了，或者反过来。爱因斯坦是先开头、后否定：光量子是他开的头，偶然是他第一个写进基本过程的，后来他都不认这门由它们长成的理论。玻尔是先否定、后收下：抗拒光子十几年，然后用光子的两面性立了互补。同一种悖论，走的是相反的方向，像一个人从镜子这头走进去，另一个人从镜子那头走出来。

还有半处对称在 E2 信息那一行。爱因斯坦写下的是数学，他晚年只信方程的简洁；他活过的，是符号，是站台、火车、升降机这些画面。玻尔写下的，恰恰也是符号：日常的话，要说清楚。这样看，爱因斯坦活过的那种信息的样子，正是玻尔写进理论的那一种。只是镜子到这里照不全了：玻尔活过的，是逻辑，是对话里一句一句的推敲，写成符号反倒含糊，并没有活到爱因斯坦写下的数学那边去。所以这一行只算半处对称：一只眼睛嵌进去了，另一只没有。

三处半对称，说的是同一件事，也是第23章那把交叉的刀的来历：一个人打出去的，正是对方身上、也是自己身上的那一块。放在图上，就是太极图：黑鱼的眼睛是白的，白鱼的眼睛是黑的。

◆ 四、读出错位：两人不全在同一行里

镜子也有照不到的地方。图上至少有五处错位，其中一处是两人一起空着。

第一处，E1 三界那一行，只有玻尔。卷三给玻尔定了一道“理论不谈地，人生全靠地”的缝；卷二没有给爱因斯坦在这一行落点。这不等于爱因斯坦没有地，他的专利局、他的朋友、他的时代，当然都是地；只是本书的定位卡没有把他的主缝放在这里，我们就不硬塞。缝隙方法有一条纪律：为了凑满图，硬把人放进空格，是读大师最容易犯的错之一。

第二处，显露光谱那一行，只有爱因斯坦。他理论站定型，人生活一锅粥和统计，这是他最承重的一道缝（见卷二第11章）。玻尔在这一行没有落点。他的互补，说的不是“定型还是一锅粥”，而是“两种描述要一起用”。

第三处更要紧：两人的缝，大体落在不同的层上。爱因斯坦的缝，多半落在“世界是什么样子”上：场还是粒子，定型还是一锅粥，事外还是有观察者。玻尔的缝，多半落在“人怎样说、怎样做”上：话说得清不清楚，学派的门开不开，地靠不靠得住。一个人的缝在自然里，一个人的缝在对自然说话的方式里。

这一处错位，正好解释了两人为什么常常谈不拢。第26章讲过玻尔接招的路数：爱因斯坦在一号位上问事情本身，玻尔把问题搬到二号位上答“能说什么”。放在图上看，这不只是一种辩论技巧，而是两人的缝本来就长在不同的层上。一个问的是世界，一个答的是话；两个人都认真，却像在两层楼上隔着楼板说话。

第四处是一个空着的地方，比上面几处都大：九宫的第二行，“走出来的路”（D）那一行，两张定位卡都没有落点。意义目标（为了什么走）、路径组织（怎么一步一步走）、优化约束（走得多紧），这三格里，两人的缝一处也没定。两人的缝，全落在“长出来的样子”（S）、“脚下那片地”（E）和九宫外的三号位、显露光谱上。

这不是说两人没有路。三十五年一回合一回合地交手，本身就是一条路。这是说，这场争论争的，是世界长成什么样、话该怎么说，而不是“我们该怎样一步一步往下走”。两个人都把心思放在样子和地上，谁也没把“怎样改自己的路”当成问题。第29章要讲的“回写”，恰恰是路上最后那一拍：走完一段，回头改自己的土。图上“路”这一行空着，和争论没有结局，也许是同一件事的两面。这是本书的读法，不是定位卡本身的结论，也不是定论，记在这里，留给第29章去接。

第五处在“缝伤到谁”上。爱因斯坦兼着第五种悖论：理论反噬本人。他晚年三十年押在统一场论上，把“只认场、只认秩序”押成了全部，伤得最重的是他自己（见卷二第14章）。玻尔兼着第四种：给别人的和给自己的不是一样东西，给世界讲“开放”，给诠释关了门。他的缝伤到的，更多是门外的人，比如 1952 年的玻姆、1959 年的埃弗雷特（见卷三第19章）。一个人的缝往里收，一个人的缝往外推。这里也要公允：玻尔本人对玻姆说过些什么，本书还没查实，只能说“哥本哈根一方”冷淡以至敌视；门关得最紧的，未必是玻尔本人的手。

◆ 五、两个跑长途的搭档司机

设想两个跑长途货运的司机，老聂和老易，合伙买了一辆半挂车，搭档跑了十几年。

老聂嘴上信的是规矩。他常说，跑长途就一条，按点走、按线走，哪里加油、哪里吃饭、哪里睡觉，出门前全排好，路上别乱改。老易嘴上信的是灵活。他常说，路是活的，天气、封路、货主催单，哪样都算不准，得见招拆招，两样都得会：既会按计划跑，也会临时绕道。

可是跟车跑过的人都知道，两人身上活的，跟嘴上说的正好反过来。

老聂开车的时候，最灵的就是他。前面堵了，他第一个拐进小路；货主临时改地址，他一边开一边在脑子里重新排线。他那本“规矩”，是每次跑完回来才补写的，写的是这回跑顺了的那条线，跑的时候，他哪回都在改。老易正相反。他嘴上说两样都得会，真上了路，只认一条他走熟的老国道，别的路再近也不走；徒弟跟他说导航上有条新修的高速，他摆摆手，说那条路他没跑过，不算数。驾驶室遮阳板上夹着一张他手画的线路图，纸都黄了，十几年没改过一笔。

两人为这件事吵了十几年。老聂说老易：“你天天说灵活，一条新路都不敢走。”老易说老聂：“你天天说规矩，自己哪回按规矩跑过？”一个说的，正是自己身上活着的那一半；一个骂的，正是自己嘴上信着的那一半。

把他们俩摆在一张图上，就是这一章的样子。老聂理论站“规矩”，人生活“见招拆招”；老易理论站“两样都会”，人生活“只认一条”。一个人活过的，是另一个人写下的；一个人写下的，是另一个人活过的。碰到天花板的时刻：有一年老国道大修，封了三个月，老易的那条线断了；同一年，公司要求所有车按系统排的线路走，不许司机临时改道，老聂的本事一下子用不上了。两人各自卡在了自己嘴上那一半的反面。

后来能怎样补上？有一回两人在服务区吃面，把这十几年跑过的线路摊在桌上对了一遍，才发现：老易那本“两样都会”，其实是老聂天天在做的；老聂那本“规矩”，其实是老易天天在守的。两人商量好，往后老聂带徒弟跑新路，老易带徒弟守老线，谁也不再拿对方身上的东西骂对方。

这个故事同构的，不只是一人一道缝，而是两道缝互为镜像。四步都对得上：嘴上信的，一个像爱因斯坦只认一种定好的世界，一个像玻尔讲两样都要；身上靠的，正好倒过来；天花板在环境一变时露出来；补法，是把两张图摆在一起看，认出对方身上是自己写下的那一半。

◆ 六、镜子的用处和限度

这张图有什么用?

它的用处，是把第23章那句“交叉的刀”从一个一个回合里提出来，放到一张图上。一个回合一个回合地看，交叉像是偶然碰上的；放到图上，就看得出它有一个固定的样子：一个人写下的，是另一个人活过的。刀之所以交叉，是因为两道缝本来就像太极图那样嵌在一起。

它还有一个用处，是这一整本书相对于第 166 号的新东西。第 166 号读二十位大师，一次读一位，缝在一个人身上：他教的是什么，他靠的是什么。那种读法看得见一个人的两半，看不见两个人的两半怎样咬合。这一章第一次把两张定位卡叠起来，才看出缝与缝之间也有样子：可以交叉，可以换位，可以各拿一半，也可以像太极图一样互相嵌着。一个人的缝，放在另一个人旁边，才看得出它原来是一场对话的一半。往后读别的大师之争，也可以先画两张卡，再叠起来看。

它的限度，也要说清楚。

第一，图上有空格。E1 三界、显露光谱两行，都只有一个人。镜像只在 S2、三号位、E2、悖论四行里成立，不能说“两人的缝处处互为镜像”。

第二，打＊号的那一行是投影。把玻尔的第一道缝放到 S2 上看，是为了对照方便；要是这样投不妥，这一处对称要撤下来，只留三号位和悖论两处，外加 E2 那半处。

第三，“路”那一行两人都空着，可能说明这场争论本来就不在路上，也可能只是两张定位卡定得还不够细。往后要是在 D 行里找到了确凿的缝，这一处读数要改写，第29章的一部分论证也要跟着收窄。

第四，镜像可能有一部分是修辞。一张图画得越整齐，越容易让人觉得世界本来就这么整齐。本书第四条判决的推翻条件，也适用于这里：要是有人找出同样多、分量相当的“不成镜像”的地方，这一章就要改成“部分镜像”。

读者也可以拿这张图照一照自己身边的一对搭档：夫妻、合伙人、一对总在争的同事。先各画一张卡，写上嘴上信的、身上靠的；再把两张卡叠起来，看是不是一个人身上活着的，正是另一个人嘴上写着的。要是这样，两人的争吵就不必再问谁对，而可以问：我身上活着的那一半，能不能借给你；你嘴上写着的那一半，能不能教给我。

最后说保底。这张图照出来的，不是两个人的短处，而是两个人的互补：爱因斯坦活过而没写下的，玻尔写下了；玻尔写下而没活成的，爱因斯坦活过。玻尔在纹章上画太极图，画的是波和粒子。他大概没想到，这幅图画他和爱因斯坦，也一样合适。

> **带走的话**
>
> 一个人活过的，是另一个人写下的；一个人写下的，是另一个人活过的。黑鱼的眼睛是白的，白鱼的眼睛是黑的。

> **小账**
>
> 这两道缝在哪里碰上了？——在 S2、三号位、E2 三行和悖论那一行上：爱因斯坦活过“两样都要”和“观察者对表”，玻尔写下了它们；玻尔活过“只认一样”，爱因斯坦写下了它。
>
> 碰出来的是什么？——一张太极图似的镜像，外加五处错位：E1 只有玻尔，显露光谱只有爱因斯坦，“路”那一行两人都空着，一个的缝在世界里、一个的缝在说话里，一个往里伤、一个往外伤。

◆

29

第 29 章

为什么没有结局：两个人都缺回写

这一章的问题

吵了三十五年，两人都认真、都没撕破脸，为什么还是没有结局？

不妨想象 1949 年，一位年轻的物理学家从图书馆借到一本刚出版的厚书，《爱因斯坦：哲学家—科学家》。他先翻到中间，读玻尔那篇长文。玻尔从 1927 年讲起，讲早饭时的题、晚饭时的答，讲 1930 年那只盒子和那一夜，讲 1935 年的 EPR，一个回合一个回合，讲得很细，也很长。读完，他翻到书末，读爱因斯坦的《答评论》。爱因斯坦在这里回应各位作者，说到量子力学，他仍然说：这套描述管的是一大群的统计，不是单个东西的完整样子；他仍然相信，将来会有一个更完整的理论。

他要是读得细，还会碰到一处让人意外的地方。在这篇《答评论》里，爱因斯坦说，替正统读法辩护的人里，玻尔的说法在他看来最接近把这个问题讲公道；接着他把玻尔的论证用自己的话重述了一遍，再说明自己为什么仍不同意。他认真读了对方，认真复述了对方，然后站在原地没动。对方的话进了他的文章，没有进他的土。

这位年轻人合上书，也许会有一点茫然。二十二年了，两个人把每一步都讲得清清楚楚，可两篇文章放在一起，和 1927 年那个秋天相比，两人各自站的地方，几乎没有挪动。

这个场面值得多看一会儿。一本书里，两个人各写一篇，一篇讲争论的历史，一篇讲自己的立场。争论本身被记得很完整，可争论没有改动任何一个人。这不是谁不认真，恰恰是两人都太认真了，认真到各自守住了自己。

为什么？这一章用一个词来回答：回写。

◆ 一、什么叫回写

SDE 讲一件新东西怎样发生，有一个简单的三拍（123 原理）。

第一拍，张力积累。两样东西顶着，一时谁也压不倒谁，劲儿越攒越多。第二拍，形状改变。劲儿攒够了，事情的样子变了，出了一个新招、一个新说法、一个新局面。第三拍，回写。事情变完了，回过头去，把这次变出来的东西，写回自己脚下那片地里，改自己的土。下一回再起步，站的就是改过的地。

前两拍，很多人都有；第三拍，最容易缺。

拿做饭打个比方。你做一道菜，咸了，这是张力；你加了半碗水，这回不咸了，这是形状改变。可是下回做，你还是照老习惯放盐，还是咸，还是加水。你改了这一锅，没改你的手。回写，是把“我放盐的手偏重”这件事，写回自己的手上，下回一开始就少放。

回写和改答案不一样。改答案，是这一次换一个说法；回写，是把换说法的原因，写进自己下一次起步的地方。一个人可以一辈子不停地改答案，却一次也不回写。

回写也和认输不一样。认输是说“你对我错”，桌面上分出输赢；回写不管输赢，只问“这一回，我从你那里学到了什么，要不要改我自己的地”。一个人可以

赢了争论而回写，也可以输了争论而不回写。所以本书第一条判决说表面之争没有总赢家，第五条判决说没有结局是因为缺回写，这两条说的不是一回事：前一条是桌面上的账，后一条是缝隙里的账。桌面上的账，后来由实验一笔一笔替他们算了（见卷五第33章）；缝隙里的账，只能由他们自己来算，而他们都没有算。

◆ 二、前两拍，两人都有

先说公道话：前两拍，两人都做得极好。

张力积累，三十五年没断过。光量子、因果、完备性、测量、定域，一个问题接一个问题，劲儿越攒越多。第27章讲过，靠着那片情分的地，这份张力一直没有散。

形状改变，也一再发生。爱因斯坦的攻法变过。1927 年、1930 年，他出的题是想证明不确定关系能被打破；据后来的分析，光子盒之后他不再这样主张，把问题换成了“量子力学完不完备”。1935 年的 EPR，就是换过之后的新招。攻的地方换了，这是形状改变。

玻尔的答法也变过。每一次接招，他都要重新想，重新说，常常要一个晚上、几个星期。1930 年他拿对方的广义相对论作答，1935 年他把问题换成“整个实验安排能让我们说什么”。每一次都有新东西。

两人都在变。争论的样子，1935 年和 1927 年已经很不一样了。

◆ 三、第三拍，两人都缺

可是第三拍，两人都没有走。

先看爱因斯坦。卷二给他定的缝，写得清楚：理论站定型、站一号位、站场；成名作和最漂亮的活，却靠涨落、统计、观察者、粒子。三十五年的争论，一次又一次把他活过的那一半推到他面前：1927 年以后的量子力学，装的正是他 1905 年的光子、1916 年的偶然、1924 年的统计。回写，就是把这些写回自己的土里，承认“偶然”也许不只是暂时的无知，承认观察者也许不只是用完就请出去的证人。

他没有这样做。1951 年，他给老朋友贝索写信，说五十年有意识的思考，没让他更接近“光量子是什么”这个问题的答案；如今人人都以为自己知道，其实他们错了。这是一句很诚实的话，张力一直在他身上，一点没松。可他没有让这份张力去改他的框架。1925 年到 1955 年，他把三十年押在统一场论上，要找一个只有场、只有秩序的理论，最后没有成功。这就是本书给这场争论下的判语里的前半句：一个一辈子不改框架。

再看玻尔。他改的，一直是答辞。每一道题都有新的回答，每一次回答都比上一次讲究；可“互补”这个框架，1927 年立下以后就没有再动过。争论把爱因斯坦的问题一次次推到他面前：远处那一半到底有没有自己的样子？还有没有别的读法？回写，就是把这些问题写回自己的土里，给别的读法留一道门。

他没有这样做。卷三第19章讲过，后半生他只认哥本哈根一种读法。1952 年玻姆提出一种决定论的读法，哥本哈根一方冷淡以至敌视；1959 年春天，年轻的埃弗雷特在哥本哈根待了约六周（另有约两个月一说），和玻尔当面谈过，毫无结果；他那时已经转去做别的工作，此后再没有回到物理学的研究里来。他去世前夜，黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦 1930 年的光子盒（为什么画、画给谁，没有留下记载）：他到最后还惦着那道题，仍是在答。这就是那句：一个只改答辞不改框架。

要补一句公道话。第24章讲过，玻尔一生确实回写过一次，就是1925年BKS被实验判负以后，他从“只要波”走到了“两样都要”。可那一次是被实验逼的，而且发生在他和爱因斯坦真正交手之前。1927年以后，面对爱因斯坦，他没有第二次。

两人都缺第三拍。前两拍越强，缺了第三拍，就越显得像一辆电车，一站一站地开，一站一站地不下。

这一条也要留推翻条件。本书第二条判决写明：要是有可靠史料显示，爱因斯坦晚年明确承认统计的描述可以是根本的，那么“一辈子不改框架”要收窄。玻尔一边同样如此：要是查到他晚年明确给玻姆或埃弗雷特那样的读法留过门，“只改答辞不改框架”也要改口。照判读纪律，没查到不等于没发生；到目前查到的材料为止，两条都立得住。

那么，回写为什么这么难？难，不是因为两人不够聪明，也不是因为不够诚实。缝隙方法讲过几条“为什么会有缝”的理由，这里有两条正好用得上。

一条是：理论是某一阶段的总结，不是一生的总结。年轻时什么都敢碰，成名以后收拢到一个视角，把它当成招牌。爱因斯坦最敢碰的年份，是1905年到1924年那二十年，粒子、波、涨落、统计、观察者，他样样都碰；1927年以后，他收拢到了“一个定好的世界”。玻尔最敢碰的，是1913年到1927年，从原子模型到互补；1927年以后，他收拢到了“互补”这块招牌。回写，等于要把招牌摘下来重新写，这比每天换一句答辞难得多。

另一条是第27章说的那片地。情分托住了争论，也让争论变得安全。一场安全的争论，可以一直吵下去而不必改；一场逼到墙角的争论，才逼得人回头。两人之间从来没有谁把谁逼到墙角，所以谁也没有被逼着回写。这不能怪友谊，只能说，好的地并不自动长出回写，回写要人自己回头。

◆ 四、判词第三次出现

到这里，可以把全书的判词第三次放上来，一字不改：

> **桌面上，他们争的是上帝掷不掷骰子；缝隙里，每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。争了三十五年，缝里长出来的第三样东西叫“纠缠”：它不是谁的发现，是两个人一起的发生。**

这一卷走到这里，判词的每一截都有了着落。

“桌面上，他们争的是上帝掷不掷骰子”，是卷一讲的六个回合。

“每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过”，是这一卷第23至26章和第28章讲的：交叉的刀，1924 年的换位，各拿一半的观察者，两人都没说清的那句话，太极图似的镜像。

“争了三十五年”，是第27章讲的那片地。没有那片地，争不到三十五年。

最后一截，“缝里长出来的第三样东西叫‘纠缠’：它不是谁的发现，是两个人一起的发生”，要在这一章里先说一个大概，留给卷五细讲。

为什么说它是“发生”，不是“发现”？这里要用一对词。发现，是说东西本来就在那里，等着人去找到它，像在地里挖出一块石头。发生，是说东西本来不在那里，是几样东西缠在一起、一步一步走，才长出来的，像两股水汇到一起，才有了一个漩涡。

“纠缠”这个东西，不是爱因斯坦找到的。他 1935 年指出那种对应，是为了证明量子力学不完备，他心里盼的答案是“两边各有各的实在”，这个答案后来被实验判了负。它也不是玻尔找到的。玻尔 1935 年的回应，是为了证明量子力学已经完备，他没有给这种对应起名字，也没有把它当成新东西。名字是薛定谔在两人

争论的缝里起的；把它变成可以检验的问题，是二十九年后的贝尔；把它在实验台上一次次做出来，是后来的一代又一代实验物理学家（见卷五第30至32章）。

没有爱因斯坦的追问，就没有这个问题；没有玻尔的顶住，这个问题就不会被逼得那么尖。它是两个人一起顶出来的，不属于任何一方。

◆ 五、老同学聚会翻旧账

设想一群高中老同学，毕业三十年，每年正月初三在县城一家老饭馆聚一次。

每年到了酒过三巡，总有两个人要翻同一笔旧账。老魏说，高考前那个晚上，是老汤把他的准考证借走忘了还，害他第二天早上满城找，差一点没进考场。老汤说，那张准考证是老魏自己塞到他书包里的，他一直不知道，是第二天一早他发现了，骑车满城去找老魏送过去的。

三十年来，这笔账年年翻。每年都有新花样。有一年老魏找来了当年的班主任作证；有一年老汤翻出了一张旧照片，说照片上那天早上他穿的就是那件蓝外套，骑的就是那辆车；还有一年，两个人为了“那天早上下没下雨”又吵了半个钟头。证据越来越多，说法越来越细，张力一年比一年足，形状一年比一年新。

可是三十年了，两人没有一个人回写。老魏从没想过：那天要不是老汤满城去找，他也许真进不了考场。老汤也从没想过：那张准考证怎么会在他书包里，说不定是他自己收拾书桌时顺手扫进去的。每人都守着自己那一版，一年比一年守得牢。

有意思的是，这笔旧账给这群同学长出了一样东西。每年聚会，大家都等着这一段；有人专门带了当年的毕业照，有人把两人的说法编成了顺口溜，年轻一辈的孩子们也知道了“准考证事件”。这笔账成了这群人的一个共同的故事，谁提起来都笑。它不是老魏的，也不是老汤的，是两个人三十年顶出来、一桌人一起养大的。

这个故事和两人对得上。张力积累：三十年年年翻。形状改变：年年有新证据、新说法，像爱因斯坦的攻法和玻尔的答辞年年翻新。回写：两人都缺，谁也没把对方那一版写回自己的记忆里，像两人都没把争论写回自己的土。缝里长出来的第三样东西：一个属于整桌人的故事，像“纠缠”这个属于整个物理学的问题。

故事能怎样补上？不必等谁认输。只要有一年，老魏先说一句“那天早上，还好你骑着车来了”，老汤接一句“那张准考证，可能真是我扫进书包的”，这笔账就不是翻完一年又一年，而是翻过去，翻出一个新的起点来。

◆ 六、两种“发现”的姿态，都差一步

最后用一小段，把两人放到“发现”和“发生”这两个词上看一眼。这一层卷五第35章会细讲，这里只说大概。

爱因斯坦的姿态，是彻底的发现。世界在看之前就定好了，物理学的事，是去把它找出来，观察者只是来来去去的证人。这是“客体先在”：东西先在那里，人后来去看。

玻尔往前走了一步。他说，现象要把仪器算进去，看的一方已经在现象里了。这一步很了不起。可他只走到仪器口，仪器那一头是什么，他说“不能这样问”，停在了说不得的地方。

两人都没有走到下一步：长出来的样子、走出来的路、脚下那片地，三样东西互相生成，哪一样都不能单独拿出来当起点。样子由路和地一起生成，路由样子和地一起生成，地也由样子和路一起生成（写成式子是 $S=F(D,E)$，$D=G(S,E)$，$E=H(S,D)$，这里只看这一眼）。照这个读法，世界不是一个等人去挖的石头，看的人也不只站在门口；看的人、看的路、被看的东西，是一起发生的。

回写，就是走到这一步的那一拍。只有把争论变出来的东西写回自己的土里，地才会变；地变了，下一回长出来的样子才会不同。两人都缺这一拍，所以两人都

停在“发现”的两种姿态上。而他们一起没有走的那一步，被他们的争论本身替他们走了：纠缠这个东西，就是在争论里发生的。

不妨设想一下，两人要是各自回写了一次，会是什么样子。这只是设想，不是史实，也不是替他们编话。对爱因斯坦来说，回写也许意味着承认，他1916年留给“偶然”的那个空位，未必只是理论的弱点，也可能是世界本来的样子之一。对玻尔来说，回写也许意味着承认，爱因斯坦问的那一半，自己说“不能这样问”，别人却未必不能换一种问法来问，而哥本哈根的门，可以为这样的人开着。两样都不必认输，只是把对方的问题写进自己的土。就本书查到的材料看，两人都没有走这一步。

还有一个数字，也在这里对一下。说“争了三十五年”，可以从1920年初见算到1955年爱因斯坦去世；也可以从1927年第五届索尔维会议算到1962年玻尔去世。两种算法都是三十五年。前一种是两个人一起争的年头，后一种是争论本身活着的年头：爱因斯坦走后，玻尔一个人又和那只盒子争了七年。

这一卷到这里结束。桌面上的六个回合，缝隙里的两道缝，在这一卷里对撞了七次，撞出了交叉、换位、各拿一半、说不清、情分的地、镜像，最后撞出了一个两人都缺的第三拍。卷五要讲的，是那个缝里长出来的东西，后来怎样一步一步从哲学之争走到实验台上，又从实验台走进今天的日常。

> **带走的话**
>
> 两人都攒足了张力，也都一再换了招，只是谁都没回头改自己的土。没被写回去的，从缝里长了出来，叫“纠缠”。

> **小账**
>
> 这两道缝在哪里碰上了？——在 123 原理的第三拍上：爱因斯坦一辈子不改框架，玻尔只改答辞不改框架，两人都缺回写。
>
> 碰出来的是什么？——一场没有结局的争论，和一个不属于任何一方的发生物：“纠缠”。

◆

卷　五

缝里长出来的东西

卷　首　语

正月里一个晴天的下午，老秦在老教师宿舍的阳台上晒太阳，小满坐在旁边嗑瓜子，手机横在膝盖上。

“外公，你看这条。”她把屏幕递过去，“说我们国家的卫星，把一对‘纠缠’的光子分到了一千多公里外的两个地方。底下有人评论，说这就是爱因斯坦说的‘鬼魅’，爱因斯坦输了。”

老秦眯着眼看了半天，把手机还给她，没急着说话。他从果盘里抓了一把花生，剥了两颗放进嘴里，嚼完了才开口：“前面四卷，我们看了两个人吵了三十五年，桌面上吵什么，缝里又吵什么。吵到最后，两个人都走了，吵的东西却没走。”

“没走，去哪里了？”

“长出来了。”老秦说，“你刚才念的那个词，‘纠缠’，不是爱因斯坦起的，也不是玻尔起的。它是在两个人吵得最凶的那一年，被第三个人从缝里捡起来的。后来又有人把它从哲学的桌子上，搬到了实验台上；再后来，又从实验台上，搬进了你手机里的新闻。”

小满想了想：“那它算谁的？”

“这一卷就讲这个。”老秦把花生壳拢成一小堆，“先讲它怎么有了名字，再讲被关在门外的人怎样把问题带回来，再讲实验台怎样替他们计了分，再讲它今天成了什么工具。最后讲一件难的：为什么说它是‘长出来’的，不是‘找到’的。”

这一卷六章，照着老秦说的次序走。前四卷读的是两个人，这一卷读的是他们中间长出来的那样东西。每章末尾的两行小账，换成两个新问题：缝里长出了什么？它属于谁？

30

第 30 章

“纠缠”这个词是怎么来的：薛定谔、那只猫和那桶火药

这一章的问题

一个今天家喻户晓的词，是怎样在两个人吵得最凶的那一年，被第三个人从缝里捡起来的？

不妨想象 1935 年 8 月中旬，英国牛津。这是我构想的场景。

一位四十八岁的奥地利物理学家坐在书桌前，拆开一封从大西洋对岸寄来的信。他叫薛定谔，九年前写下了量子力学里最有名的那条波动方程，两年前刚拿了诺贝尔奖。1933 年他离开柏林，这时暂住在牛津。

信是爱因斯坦写的。信里没有公式，只有一个画面：一堆不稳定的火药，放在那里，一年之内，炸不炸各占一半。爱因斯坦问：照量子力学的写法，一年以后，描述这堆火药的，是一个“还没炸”和“已经炸了”掺在一起的东西。可是真实的火药，要么炸了，要么没炸，哪有什么掺在一起的？

据研究者对这段通信的梳理，薛定谔很快回了信。他说，他正在写一篇长文，里面也想到了一个类似的例子。那个例子里，有一只猫。

这个场面值得多看一会儿。量子力学史上最有名的一只猫，不是在课堂上、也不是在实验室里诞生的，而是在两位不满意量子力学的人之间，一来一回的几封私

信里诞生的。两个人都想用一个荒唐的画面，去说明一件事：这套理论要是照字面去读，会读出荒唐来。

就在这一年，薛定谔还给一样东西起了名字。那个名字，后来比猫还要长寿。

◆ 一、一个夏天的几封信

先把时间摆清楚。

1935 年 5 月 15 日，EPR 论文刊出。第6章讲过，爱因斯坦对它并不满意，6 月 19 日写信给薛定谔，说要紧的东西被博学闷住了。这封信能写到薛定谔那里，是因为薛定谔先来了信：据研究者对通信的梳理，EPR 一刊出，薛定谔就在 6 月 7 日写信给爱因斯坦，表示高兴，说这篇文章当众揪住了“教条的量子力学”，抓住了哥本哈根一派的要害。

为什么是薛定谔？他在这场争论里的位置很特别。他是量子力学的奠基人之一，他的波动方程至今是每一本教科书的中心。可他从 1926 年起，就对哥本哈根一派的读法不满意。他本来希望，他方程里的那个“波”，是一样实实在在的东西，像水波、像声波那样摆在空间里。哥本哈根一派却把它读成了“概率”，只管算出现在哪里的可能有多大。他觉得自己的孩子被别人领走了，领去做了一件他不认的事。

所以在 1935 年这场交锋里，薛定谔站得离爱因斯坦近，离玻尔远。可他又不完全站在爱因斯坦那一边。他比爱因斯坦更愿意认真对待量子力学的数学，想看看它照字面推下去，到底会推出什么来。

这一年夏天，两人的信来来往往。据梳理，8 月 8 日，爱因斯坦写了火药那一封；8 月 19 日，薛定谔回信提到猫；9 月 4 日，爱因斯坦回信，对这只猫表示很欣赏，大意是：你的猫说明，我们两人的看法完全一致。

两个隔着大西洋的人，用两样最不像物理的东西，一堆火药、一只猫，说的是同一个疑问。

◆ 二、火药桶和猫：先看画面

先看爱因斯坦的火药。

一堆火药，自己会慢慢起变化，一年之内炸不炸，各占一半。这里没有什么玄的，只是说它什么时候炸，事先说不准。

照量子力学的写法，描述这堆火药的，是一份“可能性的清单”：炸了的可能有多大，没炸的可能有多大。时间一天天过去，清单上“炸了”那一栏的分量越来越重。可在有人去看之前，清单上两栏一直同时在。

爱因斯坦的意思是：这份清单，当作“我们知道多少”的记录，没问题；可要是当作“火药本身是什么样子”的完整写照，就荒唐了。真实的火药，任何一刻，要么炸了，要么没炸。清单写不出这一点，说明清单不全。这就是他一贯的意思，理论不完备。

再看薛定谔的猫。

把一只猫关进一个铁箱子里。箱子里还放着一小撮放射性的东西，少到一个钟头里，也许有一个原子会衰变，也许一个都没有，两样可能各占一半。旁边放一台计数器，一有原子衰变，它就会响；它一响，就牵动一把小锤子，敲碎一个装着毒药的小瓶子。

一个钟头以后，箱子里的猫是死是活?

照量子力学的写法，那一小撮原子，处在“衰变了”和“没衰变”掺在一起的样子里。计数器、小锤子、毒药瓶，都跟着它走。一路推下来，描述整只箱子的，就成了“活猫”和“死猫”掺在一起的一份清单。据记载，薛定谔在文章里用了一个很不客气的说法，大意是活猫和死猫被“抹匀”在了一起。

薛定谔讲这个例子，是要反对的。他的意思是：原子那么小，说它处在两种样子掺在一起，也许说得过去；可这种掺和，一路传上来，传到了一只猫身上，就荒唐了。没有人会真的相信，箱子里有一只半死半活的猫。所以，不能把那份清单直接当成世界本来的样子。

这里有一件很有意思的事。今天，“薛定谔的猫”常被人拿来说明“量子世界真奇妙，一只猫可以又死又活”。这恰恰把薛定谔的意思倒了过来。他讲这只猫，是想说“又死又活”是荒唐的，是理论读错了的信号。一个用来反驳的画面，后来成了被反驳的东西的招牌。

这只猫和这桶火药，是在争论的缝里长出来的画面。它们不属于玻尔，玻尔不会这样提问；它们也不完全属于爱因斯坦，爱因斯坦只写了火药。它们在两个人的信里一来一回，才成了今天的样子。

◆ 三、一个词：Verschränkung

同一年秋天，薛定谔发表了两篇文章。一篇用英文写，题目是《分离系统之间概率关系的讨论》，8 月中旬寄到英国剑桥哲学学会，10 月登在学会的会刊上；一篇用德文写，题目是《量子力学的现状》，从 11 月底起分三次登在德国的《自然科学》杂志上，猫就在这一篇里。

在这两篇文章里，他给 EPR 讲的那种情形起了一个名字。要记准：这个名字正式亮相，是在这两篇公开发表的论文里，不是在哪一封私信里。私信里有火药、有猫，名字是写进论文、当着整个物理学界起的。德文叫 Verschränkung，英文他写作 entanglement，中文后来通译作“纠缠”。德文这个词，原本有“交叉着扣在一起”的意思，比如两只手十指交叉扣住，就可以用它。

它说的是什么？用大白话讲：两个小东西，碰过一次，有过交集，然后分开。从那以后，不管分开多远，量子力学只肯给它们俩合在一起写一份描述，不肯给每

一个单独写一份。你想知道其中一个是什么样，没有它自己的那一页，只有两个人合用的那一页。

薛定谔在英文那篇里有一句被后来人反复转引的话，大意是：纠缠不是量子力学的“一个”特点，而是“那个”特点，是它和经典想法彻底分道扬镳的地方。

他还说了一层更细的意思，两篇里都讲到，也值得记下。照量子力学，你可以对两个东西合起来的整体，知道得一清二楚，知道到理论允许的最多；可与此同时，你对其中每一个单独的部分，却可能什么都说不准。整体知道得最全，部分反而最模糊。这和日常的经验正好相反。平常我们总以为，把每一块都弄清楚了，整体也就清楚了；纠缠说的是，整体清楚，不等于每一块清楚。

要看清一点：这种情形不是薛定谔发明的。早在 1926 年，量子力学的数学里就有它，每一个会算两个粒子的人，都在不知不觉地用它。EPR 把它推到了台前，薛定谔给它起了名字。有了名字，一样东西才从“算式里的一步”，变成了“可以拿出来问的问题”。

名字的分量，在后面几十年里才看得出来。

◆ 四、两只手套分装两个快递

爱因斯坦心里的“那种对应”是什么样子，最好用一件家常事来看。

设想长沙有一家卖手套的网店，店主小杨手脚麻利。这天，她接了两单：一单寄湘潭，一单寄广州，两位买家恰好是一对姐妹，说好各要一只，一副手套拆开来分着用，姐姐戴左手，妹妹戴右手，冬天骑电动车，一人护一只手就够了。可小杨忙中出错，没记清哪一只该寄给谁，随手拿起一只装进这个袋子，另一只装进那个袋子，贴上单子就发走了。

第二天，湘潭的姐姐拆开快递，一看，是右手的。她立刻就知道了：广州妹妹那一包，一定是左手的。

她没打电话，没发微信，也没有任何东西从湘潭跑到广州去。可她一拆，就知道了几百公里外那只手套是哪一只。

这里一点也不神秘。那只手套是左是右，从小杨装袋那一刻起就定了。它在广州的袋子里，一路上都是左手的，谁看不看都一样。姐姐拆开自己这一包，不是“让”那边变成了左手，只是“知道”了那边本来就是左手。

这正是爱因斯坦心里对 EPR 的读法。两个碰过的小东西，就像这副手套：分开之前，各自的样子就装好了；分开以后，各带各的，一路不变。你量这一个，就知道那一个，不是因为这边动了那边，而是因为两边本来就配好了。量子力学不给每一只手套单独写一页，说明它的本子记得不全，漏了“装袋时就定好了”这一层。

后来的贝尔讲这件事，用的也是一个差不多的家常画面。1981 年，他写过一篇文章，题目就叫《贝特尔曼的袜子和实在的本性》，拿一位叫贝特尔曼的同事开玩笑：这位同事总爱穿两只颜色不一样的袜子，你只要看见他一只脚上是粉色的，不用看另一只脚，就知道那一只一定不是粉色。贝尔说，EPR 那种对应，在爱因斯坦一派看来，就是这样的袜子。

这个故事讲到这里，是爱因斯坦的一方。它给后面几章埋了一个问题：小东西的世界，真的都像手套和袜子这样吗？“装袋时就定好了”这个读法，能不能拿来检验？三十年以后，贝尔证明，能检验；又过了几十年，实验说，不像。至少不全像。

要说明白，这个故事有它说不到的地方。手套装袋，是一个人手里的事，谁也不会怀疑它早就定了。小东西的世界里，“早就定了”恰恰是要打的官司。这个故事只画出了爱因斯坦心里的那幅图，不证明那幅图是对的。下一章会看到，那幅图在哪里被打破。

◆ 五、两个“纠缠”：不是一回事，但同构

说到这里，要停下来把一件事讲清楚，免得读者混了。

这本书从卷二起，一直在用 SDE 的一个词，叫“特征纠缠”，记作 E，大白话叫“脚下那片地”：一个人的家庭、时代、身边的人、手里的工具、被迫接受的环境，这些东西缠在一起，托着他走路、长成样子。这一卷讲的，是物理学的“量子纠缠”。两个词都有“纠缠”二字，却不是一回事。

不是一回事，差在三处。

一是说的对象不一样。量子纠缠说的是两个或几个小东西，比如两颗光子、两个电子；特征纠缠说的是一个人、一件事脚下的那片地，里面缠着的是家境、时代、语言、手艺、名望这些东西。

二是凭据不一样。量子纠缠有一套严格的数学，能算、能测，后面几章会看到，它在实验台上被一次次做出来；特征纠缠是一种读法，用来看一个人的成长和一件事的发生，它不靠仪器去测。

三是用处不一样。量子纠缠今天成了造工具的材料，第34章会讲；特征纠缠是读人、读事的一把尺子。

可是，两者在形状上是相像的，这就是“同构”的意思：两样东西材料不同，骨架相同。骨架在哪里？在一句话上：有些东西一旦缠在一起，就不能再拆成各自独立的几份去讲；要讲其中一份，得连着别的一起讲。

量子纠缠里，两颗光子碰过以后，就不能各写一页，只能合写一页。特征纠缠里，一个人的“家底”和他的“时代”、他的“手艺”缠在一起，也拆不成三张互不相干的单子；说他的手艺，就得连着他的家底和时代一起说。卷三读玻尔，说他“理论不谈地，人生全靠地”，那片地里，母亲的家底、嘉士伯基金会、研究所、流亡来的学者，就是缠在一起、拆不开的。

本书只取这个骨架上的相像，不说物理学证明了 SDE，也不说 SDE 解释了物理学。两个“纠缠”各在各的地方站着，同构，不等于同一。以后凡讲到物理学的，一律照原名写“量子纠缠”；讲到 SDE 的，写“特征纠缠”或“脚下那片地”。

◆ 六、纠缠是争论的发生物

最后回到这一卷的问题：这个词，是怎样从缝里长出来的？

先看它不是怎么来的。

它不是爱因斯坦的。爱因斯坦最先把这种对应推到了台前，可他推它，是为了说明量子力学不完备。在他心里，这种对应一点也不深，就是手套和袜子，装袋时就定好了。他没有给它起名字，因为在他看来，它不需要一个新名字。

它也不是玻尔的。玻尔 1935 年的回应，是要说明量子力学已经说全了。在他看来，EPR 的情形没有什么新东西，只要把整套实验安排算进去，一切都在理论的掌握之中。他也没有给它起名字，因为在他看来，它不值得单独拎出来。

一个觉得它太平常，一个觉得它不新鲜。两个人都没有把它当成一样东西。

起名字的是第三个人。薛定谔站在两人中间：他跟爱因斯坦一样不满意哥本哈根，又比爱因斯坦更愿意照字面去读量子力学的数学。正是站在这个位置上，他看见了两个人都没有看见的东西：这种对应不是量子力学的一个角落，是它的心。

这里有一个很耐人寻味的地方。薛定谔起这个名字，本意也不是要赞美它。他和爱因斯坦一样，觉得这件事很别扭，他的猫就是用来说明别扭的。一个本来用来挑毛病的词，后来成了整个物理学里最有生命力的词之一。

照 SDE 的读法，这正是“发生”的样子，不是“发现”的样子。发现，是东西早就在那里，等人去挖出来；发生，是几样东西顶在一起、一步一步走，才长出来一个原来没有的东西。“纠缠”这个词，是爱因斯坦的追问、玻尔的顶住、薛定

谔的不满意，三股劲儿顶在一起，在 1935 年这一个夏天长出来的。少了哪一股，都长不成这个样子。

它长出来以后，就不再属于这三个人中的任何一个了。下一章要讲的，是它怎样被一个在门外的人，一步一步带回到桌子中间。

> **带走的话**
>
> 一个嫌它太平常，一个嫌它不新鲜，第三个人拿它挑毛病，给它起了名字。纠缠就这样在缝里长了出来。

> **小账**
>
> 缝里长出了什么？——一个名字，“纠缠”，和两幅画面：一桶火药、一只猫。它们让一段算式里的对应，变成了一个可以拿出来问的问题。
>
> 它属于谁？——不属于爱因斯坦，也不属于玻尔；名字是薛定谔在两人争论的缝里起的，本意还是挑毛病。它是争论的发生物。

◆

31

第 31 章

被关在门外的人把问题带了回来：玻姆与贝尔

这一章的问题

一条被宣布“此路不通”的路，是怎样被几个站在门外的人重新走通，又被变成一道可以测的题的？

不妨想象 1964 年，美国东部一所大学的一间客座办公室。这是我构想的场景。

一位三十五六岁的北爱尔兰人坐在桌前，面前摊着几张稿纸。他叫贝尔，平日在日内瓦的欧洲核子研究中心上班，干的是粒子物理和加速器设计。这一年他休学术假，在美国几所大学之间做客，终于有了几个月整块的时间，去想一个他琢磨了十几年、却一直只能在业余时间碰一碰的问题。

那个问题，就是 EPR。

他写出来的论文只有六页，投给了一份创刊不久的小刊物，刊名是英、法、俄三种文字并排的“物理”一词。据后来的研究者说，这份刊物没办几年就停了。文章刊出以后，好几年几乎没有人理会。

这个场面值得多看一会儿：正是这六页没人理会的纸，把爱因斯坦和玻尔吵了三十五年、谁也说服不了谁的那件事，变成了一道可以在实验台上回答的题。

要讲清楚这六页纸是怎么来的，得先回到1932年，看一扇门是怎样被关上的。

◆ 一、一扇被宣布关死的门

1932年，匈牙利裔的大数学家冯·诺依曼出了一本书，用最严格的数学，把量子力学整个理了一遍。书里有一段证明，许多人读完以后得出一个结论：量子力学底下，不可能再藏着一层更细的东西。也就是说，爱因斯坦盼的那种“隐变量”，那种能把概率还原成一颗一颗确定去向的底层，从数学上就被排除了。

冯·诺依曼的名望极高，他的书极严谨。几十年里，很多物理学家没有细读这段证明，只记住了它的结论：隐变量此路不通。

第6章提过，1935年，一位德国女学者赫尔曼指出，这个证明里有一处站不住。她是数学家诺特的学生，又跟着哲学家学过多年哲学，1934年还专门到海森堡身边待过一段时间，讨论量子力学的哲学问题。她的意思用大白话说，是这样的：冯·诺依曼在证明一开头放进去的一条假设，对量子力学自己的量是成立的，可对假想中底下那一层，没有理由要求它也成立。把这条假设强加上去，等于先把隐变量的路堵了，再“证明”它走不通。

她的意见发表在一处哲学的刊物上，在物理学界几乎没有回响。据研究者的梳理，原因大概有好几样：发表的地方物理学家不读，她是哲学出身，她是一位女性，而且那时的物理学家大多忙着用量子力学算题，没人关心底下还有没有一层。

这扇门就这样关了三十年。准确地说，是被宣布关死了三十年，其实锁并没有锁上。

王德生立的判读纪律说：没查到，不等于没发生。反过来也一样：被宣布“证明了不可能”，不等于真的不可能；门关没关上，要有人去推一推才知道。

◆ 二、玻姆：一个被关在两道门外的人

第一个去推这扇门的，是一位年轻的美国物理学家，玻姆。

1951 年，玻姆还在普林斯顿，出了一本量子力学教科书。这本书的立场，基本是玻尔一派的。书里讲 EPR 时，他做了一件后来影响极大的小事：他把 EPR 原来那对“位置和动量”，换成了一对更好想象、也更好做实验的东西，就是小东西身上像小磁针一样的一种性质，物理学里叫“自旋”。一对小东西，一个磁针朝上，另一个就朝下，像手套的一左一右。后来贝尔的推导、再后来几十年的实验，用的都是这个换过的版本。

据记载，写完这本书以后，玻姆和同在普林斯顿的爱因斯坦有过来往和讨论。之后，他自己改了主意。

1952 年初，他在《物理评论》上发表了两篇文章，写出了一个完整的理论。在这个理论里，每一个小东西任何时候都有一个确定的位置，它怎样走，由一个像领航员一样的波一步一步引着，一切都是严格定下来的。量子力学里那些概率，只是因为我们不知道小东西一开始到底在哪里；知道了，就能一步一步算准。更要紧的是，这个理论算出来的实验结果，和标准的量子力学一模一样，一个也不差。

这件事的分量在于：冯·诺依曼那道证明说这样的理论不可能有，玻姆就把一个写了出来。写出一个，比任何反驳都有力。

其实这个想法并不全新。1927 年第五届索尔维会议上，法国的德布罗意就提过一个类似的“领航波”的设想，被泡利当场提了一个难题，他没有答好，后来自己也放弃了。玻姆是把这条被放弃的路重新走通的人。

说到这里，要接上第1章留下的一个线头。第1章讲过，玻尔记得爱因斯坦爱说一个词，“给光子引路的鬼场”。这个念头爱因斯坦没有写成理论，却没有断。1926 年玻恩提出“波只管出现在哪里的可能有多大”这个读法，在论文里明说，

他是从爱因斯坦“鬼场”的说法得到的启发。德布罗意的领航波、玻姆的引导波，说的也是“一片波领着一颗粒子走”，在念头上可以看作这个鬼场的后代。只是到了玻姆手里，领路的波有了严格的方程，也带出了一样爱因斯坦自己不肯要的东西。

玻姆的理论也付了代价，而且他不藏着。在他的理论里，一个小东西怎样走，要看所有别的小东西此刻在哪里，不管它们离得有多远。远处那个挪一挪，这边这个的走法就跟着变，中间不需要任何东西跑过去传信。这正是爱因斯坦最不能接受的那种远距离牵动。

反应是冷的。第28、29章说过，哥本哈根一方对这个理论冷淡以至敌视。出人意料的是，爱因斯坦也不热心。1952 年 5 月 12 日，他写信给玻恩，提到玻姆相信能用决定论的方式来解释量子理论，接着说，这条路在他看来太便宜了。

这句话很值得琢磨。一个一辈子说“他不掷骰子”的人，眼前摆着一个不掷骰子的理论，却不要。据研究者的分析，原因之一，是爱因斯坦最看重的，也许从来不只是“严格因果”，而是“分离”：远处的东西各有各的实在，互不牵动。玻姆给了他因果，拿走了分离。在爱因斯坦心里，这笔买卖不划算。

玻姆还被关在了另一扇门外。据公开的记载，他受当时美国政治风波的牵连，普林斯顿没有再续聘他，1951 年他离开美国，去了巴西圣保罗大学任教。本书只记这一条与本题有关的事实：这个重新推开物理学那扇门的人，当时自己正站在门外。

◆ 三、贝尔：一个业余时间的问题

贝尔读到玻姆的文章，是在他还很年轻的时候。三十年后，他在一篇文章里回忆这一刻，写了一句后来常被引用的话：1952 年，我看见了那件“不可能的事”被做成了。

他接着问的，是一个更深的问题。玻姆的理论能算出全部量子预言，可它有远距离牵动。这是玻姆这一个理论的毛病，还是所有这类理论都逃不掉的？能不能有一个理论，既像手套那样“装袋时就定好了”，又不要远距离牵动，还能算出量子力学的全部结果？

这正是爱因斯坦的问题换了一个说法：各有各的实在，互不牵动，量子力学只是它的平均版本。

1964 年那六页纸，给出的答案是：不能。

贝尔证明，只要一个理论满足两条，一是每个小东西各自带着自己的一份“答案”，二是这边的测量不牵动那边，那么两边测量结果之间的对应，强不过一个限度。量子力学却预言，在某些测法下，纠缠的两边，对应会超过这个限度。1971 年，他又把这条结论推宽了一步：就算不要求答案事先定死，允许每一边各自随机，只要随机是在各自那一边发生的、不看另一边，照样越不过这个限度。第33章还要用到这一步。

1966 年，他还发表了一篇文章，把冯·诺依曼证明的漏洞重新指了出来，这是赫尔曼之后又一次。这篇文章其实写在那六页纸之前，因为编辑部的周折，拖了两年才刊出。据一次后来的访谈，他说起那道证明，话说得很重，大意是它不只是错，而且错得很蠢。

门就这样被重新推开了。只是推开以后，门后的路和爱因斯坦希望的不一样：路是通的，可通往的地方，一定有远距离牵动。

◆ 四、双胞胎姐妹答题

贝尔的那个“限度”到底是什么？不用公式，用一对双胞胎就能讲清楚。下面这个讲法出自物理学家默敏。他1981年先设计了一台想象中的装置，两个带红绿灯的探头；1985年在《今日物理》上写了一篇《没人看的时候，月亮在不在？》，把它算成了“九分之五对一半”这一对数字。题目借的，正是爱因斯坦晚年问派斯的那句话。本书把他的探头搬到了一个家常的场面里。

设想县城电视台办了一档周末节目，请来一对双胞胎姐妹，姐姐叫谭晴，妹妹叫谭雨。节目的规矩是：两人分别关进两间隔音的小屋，谁也看不见谁、听不见谁。每一轮，主持人在每间屋里各抽一张签，签上是三个问题中的一个：一，你爱吃辣吗？二，你怕狗吗？三，你早上起得来吗？两间屋各抽各的，互不相干。姐妹俩每轮只答一个字，“是”或者“不是”。

节目做了几百轮，工作人员把记录一对，发现两件事。

头一件：凡是两间屋碰巧抽到同一个问题，两人的回答一次也没有不同过。

这不奇怪。最自然的解释是：她们俩是双胞胎，口味、胆量、作息本来就一样；或者上节目之前商量好了一张答案单，三个问题各答什么，两人背得一样。这就是手套的读法，答案“装袋时就定好了”。

第二件事，要费一点心思。把所有轮次都算上，不管抽到的是不是同一个问题，两人回答相同的，占多少？

照“事先定好一张答案单”的读法，这个比例有一个下限，可以用数手指头的办法数出来。一张答案单，三个问题各填一个“是”或“不是”。要是三个都填一样，比如都是“是”，那不管抽到什么，两人都答“是”，回回相同。要是填得不一样，比如两个“是”、一个“不是”，那就数一数：两间屋各抽三种问题之一，一共九种搭配。两人都抽到那两个“是”里的，有四种搭配；两人都抽到那个“不

是”的，有一种。回答相同的，一共五种，九种里占五种，也就是一半多一点。别的填法，数出来也一样，不会更少。

所以，只要姐妹俩是靠一张事先定好的答案单在答题，而且两间屋真的隔音、签真的是各抽各的，那么做够了轮次，回答相同的比例，至少是九分之五，比一半多。

可要是记录上写着：同一个问题回回相同，而全部轮次里，回答相同的只占一半整。那会怎样?

那就说明，没有一张事先定好的答案单能做到这件事。要么两间屋其实不隔音，一边抽了什么签、答了什么，另一边立刻就知道了；要么签不是各抽各的，姐妹俩事先就知道会抽到什么；要么，就是“事先定好一张答案单”这个读法本身不对。

量子力学对一对纠缠的小东西，在相应的三种测法下，预言的正是这样一份记录：同一种测法，回回对得上；全部算上，对上的只有一半。

这就是贝尔那六页纸的骨架。“事先定好的答案单”，是爱因斯坦的实在；“两间屋真的隔音”，是爱因斯坦的分离；“九分之五”，是这两条合起来画下的那条线。量子力学说，自然界会越过这条线。

这个故事也有它说不到的地方。真人的姐妹，总能找到办法串通，节目组得费尽心思去防；小东西的世界里要防的，是同样的几件事，下一章会讲实验物理学家怎样一样一样地防。还有，这个讲法只是贝尔那一类结果的一个简化版本，后来实验真正检验的，是 1969 年四位物理学家改写过的一个更便于测量的形式，道理相同。

◆ 五、从一场哲学之争，到一个可以测的数

贝尔做成的事，说大也大，说小也小。

说小，他没有做任何实验，也没有提出任何新理论。他只是把一个问题想得特别清楚。

说大，他改了这场争论的性质。在他之前，“量子力学底下还有没有一层”是一个口味问题。爱因斯坦觉得该有，玻尔觉得不必问，双方都说得出一套道理，谁也拿不出一样东西摆在桌上说“你看”。在一场只靠道理打的争论里，这是最常见的收场：不是谁赢了，是大家都走开了。

贝尔以后，情形变了。爱因斯坦的那幅图，“各有各的实在、互不牵动”，被写成了一条可以测的界线。自然界要是站在爱因斯坦一边，测出来的对应就在线的这一侧；要是站在量子力学一边，就在线的另一侧。一场吵了三十年的哲学之争，第一次有了让自然界来投票的办法。

贝尔自己希望哪一边赢？据后来的访谈，他对爱因斯坦的立场怀着很深的同情，觉得在那场争论里，爱因斯坦看得比玻尔清楚；可他也说，爱因斯坦那个最合情理的想法，偏偏行不通，这很可惜。这两句只作转述。推门的人心里站在爱因斯坦一边，推开了，门后的路却不是他盼的那一条。

◆ 六、问题是被门外的人带回来的

把这一章的几个人排在一起看，会看到一个相同的样子。

赫尔曼，一个哲学出身的女学者，在物理学的门外说了一句对的话，没人听。玻姆，一个被迫离开自己国家的年轻人，在门外把一条被宣布走不通的路走通了，两边都不欢迎。贝尔，一个白天在研究中心算粒子物理的人，在业余时间里，把这件事变成了一道能测的题。

问题不是从哥本哈根的正门里走回来的，是从门外绕回来的。

这和卷三读到的玻尔那道缝，正好对得上。玻尔给世界的是“开放”，给诠释的却是一扇关着的门。那扇门没能把问题关死。问题在门外长大了，长到有一天，被人从门外一把推开。

照这一卷的问法再看一遍：缝里长出来的“纠缠”，到这里长出了第二层。第一层是 1935 年的一个名字；第二层是 1964 年的一条界线。名字让它成了一个问题，界线让它成了一道可以回答的题。这第二层，同样不是爱因斯坦的，也不是玻尔的。爱因斯坦没活到这一天；玻尔在这篇文章发表前两年就去世了。

带走的话

一扇被宣布关死的门，其实没锁。几个门外的人一路接力，把一场只靠道理打的争论，变成了一条可以让自然界来投票的界线。

小账

缝里长出了什么？——纠缠的第二层：一条可以测的界线。“各有各的实在、互不牵动”被写成了对应强弱的一个限度。

它属于谁？——属于门外的接力者：赫尔曼推了门，玻姆走通了路，贝尔画下了线。爱因斯坦和玻尔提供了问题，却都没有等到这条线。

◆

32

第 32 章

可判性的到来：从哲学之争到实验台

这一章的问题

一条画在纸上的界线，是怎样被一代又一代的人搬上实验台，又怎样把“串通”的缝一条一条堵上的？

1971 年，美国加州大学伯克利分校，物理系的伯吉楼，地下二层。

据伯克利后来的报道，一位二十多岁的博士后研究员和一位研究生，占了这栋楼最底下一层的一个房间，搭起了一台东拼西凑的装置。主要的器材，是系里的康明斯教授借给他们的旧设备。几年前，康明斯和他的学生考切尔就用钙原子放出的光子对，测过两边偏振的对应，只是那个实验不是冲着贝尔那条线去的，测法也不够用。

那位博士后看出，这套旧家伙改一改，正好用得上。装置的中心，是一小团被激发的钙原子。钙原子在回落的时候，会一次放出两颗光子，往相反的方向飞。两边各放一块可以转动角度的偏振片，像两扇百叶窗，光子能不能穿过去，要看百叶窗的角度；再往后，是计数的探头。两边的探头，相隔大约三米。

年轻研究员叫克劳泽，研究生叫弗里德曼。

据克劳泽后来在采访里的回忆，那时候几乎人人都劝他：这事不可能有什么结果，何必费劲？等实验做完、结果发表，同行给的“夸奖”是：实验不错，不过也许你该去测点正经的数，别再浪费时间了。

这个场面值得多看一会儿。三十多年前，爱因斯坦和玻尔在期刊上隔空交锋，全世界最好的物理学家都在旁边看着。三十多年后，同一个问题，终于被搬上了实验台，搬它的人却在地下室里，用借来的旧设备，被人劝“别浪费时间”。

一场哲学之争变成实验，头一步，竟是这样寒碜地开始的。

◆ 一、地下室里的第一台

克劳泽是在期刊上偶然读到贝尔那篇文章的，那时他还在纽约读研究生。据他的回忆，读完以后他就想：这件事是可以做的。

可贝尔原来的界线，是写给理想情形的，要求探头百发百中，现实里的仪器做不到。1969 年，克劳泽和另外三位物理学家，霍恩、希莫尼、霍尔特，一起把贝尔的界线改写成了一个实验室里能测的形式。后来人用四人姓氏的头一个字母，把它叫作 CHSH 不等式。

1972 年，克劳泽和弗里德曼在《物理评论快报》上发表了结果：界线被越过了，站在量子力学那一边。这也是弗里德曼的博士论文。

这是自然界第一次在这场争论里正式“投票”。可投票的方式还很粗糙，留下了好几条缝，让人可以说：也许是装置里有别的什么在“串通”，才看起来像越过了界线。

后来的三十多年，贝尔检验这件事，几乎就是一条一条去堵这些缝的历史。弗里德曼 2012 年去世，没有等到这段历史的终点。

◆ 二、三条缝：串通的可能

上一章的双胞胎节目，已经把要防的几件事提了一遍。放到实验台上，它们各有一个名字，物理学家管它们叫“漏洞”。本书只讲三条最要紧的。

第一条，叫定域性漏洞。对应节目里的“两间屋不隔音”。要是两边的测量离得不够远、不够快，一边测了什么，有足够的时间让某种信号，哪怕是以光速跑的信号，赶到另一边去，那么两边对得那么准，就可以用“那边提前知道了”来解释。要堵这条缝，就得让两边离得足够远，而且每一次测什么，必须在最后一刻才定下来，定下来到测完之间，连光都来不及从一边跑到另一边。

第二条，叫探测漏洞。对应节目里“只统计交回来的答卷”。实际的探头不是百发百中，许多光子飞出去就丢了，没被记上。要是只拿记上的那一部分去算，就得假定记上的这部分是全体的公平样本。万一有某种机制，偏偏让“对得上”的那些更容易被记上呢？要堵这条缝，就得让探头足够灵，漏掉的少到不足以作怪。

第三条，叫自由选择漏洞。对应节目里“签不是各抽各的”。贝尔的推导要求：两边测什么，和那对小东西身上可能带着的“答案单”毫无关联。要是抽签的机器本身和小东西事先有某种牵扯，答案单是照着将来会抽到的题目写的，那什么界线都不管用了。

这三条缝，前两条是技术活，花钱、花工夫、花年头，总能一点点堵上。第三条比较特别，下面会说到。

◆ 三、超市周年庆的抽奖

这三条缝听起来抽象，放到一件县城里常见的事上就明白了。

设想县城一家老超市，每年店庆都搞一场抽奖。凡是这个月在店里买满一百块的，给一张奖券，月底当众开奖，头奖是一台冰箱。

第一年，开奖出了岔子。有位覃师傅，天天在超市门口修电动车，消息灵，他说：我打听过了，这回的号码，是开奖前三天就摇好了，锁在经理办公室的抽屉里。抽屉里的东西，谁知道有没有人看过？三天，够把消息传出去好几回了。

老板一听，有道理。第二年改了规矩：奖券停发以后，当天、当场、当着大家的面摇号，摇出一个念一个，念完就公布，中间不留一点空当，谁也来不及去通风报信。

这是堵第一条缝，号码定下来的那一刻，要晚到消息来不及传。

第二年又出了岔子。有人发现，超市只统计了那些月底回来对奖的人手里的奖券，没回来的那些就不算了。覃师傅又说话了：万一经理的亲戚朋友都会回来对奖，别人的奖券一大半扔了、丢了，那头奖落在谁手里，就不能算公平。

老板又改：每一张奖券的号码，发出去时都登了记，开奖以后，按登记的全部号码来对，不管回没回来。

这是堵第二条缝，不能只数交回来的那一部分。

到了第三年，覃师傅又琢磨出一个疑问：摇号的那台机器，是经理的小舅子从外地拉来的。万一机器本身，和发奖券的那一头事先有什么牵扯呢？

这一回，老板有点为难了。他请了公证处的人来，又让每一位在场的顾客轮流去按一下摇号机的按钮，谁按、什么时候按，事先谁也不知道。覃师傅这才说：那就算公平了，除非你说全县城的人都是串通好的。

这是堵第三条缝，摇号要和发券那一头毫无牵扯。而覃师傅最后那句话，恰好说出了第三条缝的特别之处：它永远不能在逻辑上被堵到百分之百，你总可以说“连按按钮的人也是串通好的”，只不过，说到这一步，已经很少有人愿意跟着说下去了。

这个故事和实验台同构：号码晚定、全部计数、摇号独立，对应三条漏洞。但它也有说不到的地方。超市抽奖怕的是人作弊，实验台怕的不是有人作弊，而是自然界里有没有一种我们没想到的“串通”方式。实验物理学家要堵的缝，比覃师傅想的还要细。

◆ 四、阿斯佩：在光子飞行的途中换题

第一个认真去堵第一条缝的，是法国的阿斯佩。

据阿斯佩本人后来的回忆，1975 年他还是一个年轻人，读了贝尔的文章，想到了一个实验方案，专程去日内瓦见贝尔。贝尔听他说明来意，头一句问的是：年轻人，你有没有一个固定的职位？阿斯佩说，按法国的制度，他有。贝尔这才说，那好，我们谈科学吧。贝尔的意思，是提醒他：做这件事，大多数物理学家会觉得是浪费时间，甚至觉得你疯了；没有一个稳当的饭碗，做这样的题目是冒险的。

阿斯佩在巴黎南郊的光学研究所，和格朗吉耶、罗歇等同事一起，用激光去激发钙原子，得到了比以前亮得多的光子对。这一点看着是技术细节，分量却很重：据记载，伯克利那一台光源弱，一个结果要攒上百个钟头的数据，攒的时间越长，装置里温度、灯光一点点漂移，越难说清是哪里出的毛病；光子对一多，同样的把握，几分钟、几十分钟就够了，才腾得出手去做更刁的安排。1981 年、1982 年，他们发表了几轮结果。第二轮实验里，越过界线的幅度，大到统计上几乎没有侥幸的余地。

最巧妙的是 1982 年的一轮。他们在两边各装了一个很快的光学开关，光子已经从源头飞出来了，还在半路上，开关才把它引向这个角度或那个角度的偏振片。两个开关相隔十来米，光走完这段路要四十来个十亿分之一秒；开关大约每十亿分之十秒就换一次，比光子从中间跑到两边所用的时间还短。也就是说，光子出发的时候，“要问哪一道题”还没定。

这就相当于超市改成了当场摇号。它离彻底堵住第一条缝还差一点：那时的开关是按固定的节拍来回换的，不是真正随机地换。可它第一次让“两间屋互相通气”这个解释变得非常勉强。

1983 年，阿斯佩做博士答辩。据他的回忆，那间报告厅挤得满满的。

◆ 五、一条一条地堵：从 1998 到 2015

此后的路，是一条缝一条缝地堵，一个国家一个国家地接力。

1998 年，蔡林格带领的团队在奥地利因斯布鲁克，把两边拉开到约四百米，每一次测什么，都由一台利用量子现象给出随机数的机器临时决定。第一条缝，堵得更严了。

探测那条缝，另有团队用别的办法去堵，比如用被囚禁的离子代替光子，离子几乎回回都能被测到。可这样的实验，两边离得太近，第一条缝又开着了。

很长一段时间里，就是这样：堵上了这一条，那一条就开着。怀疑的人总可以说，也许自然界正好利用了你没堵的那一条。

2015 年，这个局面终于结束了。这一年，有三个团队各自宣布，在同一个实验里，把前两条主要的缝同时堵上了。

一个是荷兰代尔夫特的团队。他们用的不是光子，是钻石里的两个电子，相隔约一点三公里，一个在物理楼，一个在校园另一头的反应堆研究所。每一次测什么，同样最后一刻才定，定下来以后，信号来不及从一头跑到另一头；而电子几乎回回都能被读出来。代价是这样的实验做起来极慢：前后跑了约二百二十个钟头，只攒下二百四十五次有效记录，差不多一个钟头才得一次。统计上的把握不算特别大，但方向是清楚的。

另两个是奥地利维也纳的团队和美国国家标准与技术研究院的团队。他们仍用光子，但用上了灵敏度极高的新探头，漏掉的少到不足以作怪。这两个实验的统计把握，比代尔夫特大得多。

三个团队，三种做法，结果一致：界线被越过了，而且是在两条主要的缝都堵上的情况下。

第三条缝，自由选择，也有人去挤。2017 年，有团队用银河系里遥远恒星的星光来决定每一次测什么，那星光至少在六百年前就出发了，很难想象它和实验室里刚做出来的光子对有什么事先的牵扯。2018 年，一个国际合作项目请了全世界大约十万名志愿者，在网上玩一个小游戏，用他们随手按下的键来决定测法。同一年，还有团队用了几十亿年前从类星体发出的光。

这些实验，就像超市请全县城的人轮流去按摇号机的按钮。它们不能在逻辑上把第三条缝堵到百分之百，但把“串通”的时间往回推到了几百年、几十亿年以前，推到了十万个人的手指头上。到这一步，还要坚持说“这也是事先串通好的”，就得相信整个宇宙从很早以前起，就在替这些实验安排答案。物理学里确实有人认真讨论过这种可能，但绝大多数物理学家不走这条路。本书照实记下：这一条缝在逻辑上开着一条细线，在实际上已经很难再有人从里面走过。

◆ 六、可判性的到来

2022 年，诺贝尔物理学奖授给了克劳泽、阿斯佩和蔡林格。第8章讲过这件事，这里只补两句。获奖理由有两半：一半是用纠缠的光子做实验，确立了贝尔不等式被违反；一半是开创了量子信息科学。前一半是这一章，后一半是第34章。还有，从伯克利的地下室算起，正好五十年。

这五十年，做成了一件事，可以用一个词来说：可判性。

一个问题“可判”，是说有一种办法，能让自然界、而不是争论的人，来给它一个回答。1935 年，“远处的东西有没有自己的一份实在、互不牵动”这个问

题，不可判：爱因斯坦说有，玻尔说不必问，两人各有一套道理，谁也拿不出一样东西摆在桌上。1964 年，贝尔证明它可以变得可判。1972 年到 2015 年，实验台一步一步把“可以变得可判”做成了“已经判了”。

站上有一本书，第 124 号，书名就叫《可判性的到来——发现还是发生？》。这一章借它的这个词来用，只取字面的意思：一个本来只能吵的问题，有了可以判的那一天。本书不在这里展开那本书的内容。

还要说清楚两件事，免得把“可判”讲过了头。

头一件，被判的只是一格。实验判的，是“各有各的实在、互不牵动”合在一起的那一个立场。别的几格，决定论、完备性、测量问题，并没有因为这些实验而被判定。下一章会把这笔账一格一格对清楚。

第二件，判出来的结果，不是“玻尔赢了”。实验站在量子力学的预言一边，可量子力学的预言，玻尔一派没有异议，玻姆的理论也照样算得出。实验判掉的，是一个立场；它没有替任何一派的读法颁奖。

最后，回到这一卷的问题：纠缠到这里，又长出了什么？

它长出了第三层。第一层是 1935 年的一个名字，第二层是 1964 年的一条界线，第三层是 1972 年以后，实验台上一次又一次被做出来的一对对纠缠的光子、电子。要注意“做出来”这三个字。实验物理学家不是走到野外，捡回来一对纠缠的光子；他们是用钙原子、激光、晶体、开关、探头，一样一样搭出一个装置，让纠缠在装置里一次次地出现，再被一次次地测到。纠缠在实验台上的样子，是人、仪器和自然一起做出来的。

这一层，同样不属于爱因斯坦和玻尔。它属于伯克利地下室里的两个年轻人，属于巴黎南郊那间挤满了人的报告厅，属于代尔夫特校园两头的两个电子，属于十万个随手按键的志愿者。

带走的话

一条纸上的界线，被人从地下室搬上实验台，一条缝一条缝地堵，堵了四十多年。一个只能吵的问题，到这里成了可以判的题。

小账

缝里长出了什么？——纠缠的第三层：实验台上一次次被做出来、被测到的纠缠，以及“定域实在论可以被判”这件事本身。

它属于谁？——属于五十年里一代接一代的实验物理学家，和无数替他们按下按钮的人。爱因斯坦和玻尔都没有看到这一天。

◆

33

第 33 章

公允的计分：谁输了，谁也没赢

这一章的问题

实验来了以后，第8章那张计分表上，到底哪几格变了，哪几格一动没动？

不妨想象这样一件事。这是我构想的场景。

1955 年春天，爱因斯坦去世的那个月，有一位细心的年轻物理学家，照本书第8章那样，把两人争过的几道题列成一张表，一格一格写下当时的情形，折好，夹进一本旧书里。

六十多年以后，2022 年 10 月，诺贝尔奖公布的那天晚上，有人从旧书里翻出了这张纸，把它摊在桌上，旁边再摆一张照今天情形写的新表。

两张纸摆在一起，最先看出来的，不是哪一格变了，而是大多数格子没变。六十多年，几代人，几十台实验装置，一个诺贝尔奖，真正改了字的，只有一两格。

这个场面值得多看一会儿。报纸上说“爱因斯坦错了”“玻尔赢了”的那天晚上，桌上那两张纸说的却是另一回事：变的很少，而变的那一点，变得很彻底。

第8章已经把今天的计分算过一遍。这一章不重算，只做一件事：对账。看实验来了以后，哪几格动了，怎么动的，哪几格没动，为什么没动。要先说明一句：第8章是按“今天谁占上风”记的分，这一章换了口径，是从“实验前后哪几格变

了”的角度记的账，所以两张表的格子分法不完全一样，读的时候别拿来逐格硬对。

◆ 一、两张表摆在一起

先把两张表合成一张。1955 年那一栏，是爱因斯坦去世时的情形；1964 年那一栏，是贝尔那六页纸以后；2015 年那一栏，是三个无漏洞实验以后。

题目	1955 年	1964 年贝尔之后	2015 年以后	变了没有
定域实在：远处各有各的实在，互不牵动	悬着，只能吵	可判：有了一条界线	判负，主要漏洞已堵	变了，而且变到底
完备性：量子力学说全了没有	悬着（冯·诺依曼的证明被多数人当作“不可能有底层”）	收窄：底层可以有，但不能是定域的	同左，实验印证了这一收窄	变了形状，没变结论
决定论：世界底下严格因果吗	悬着（玻姆 1952 已有决定论理论）	悬着	悬着	没变
实在性（单说）：不看的时候有没有确定的样子	悬着	悬着，只有和“定域”捆在一起的版本可判	悬着	没变
测量问题：一量怎么就定了	两人都没解决	同左	同左	没变

五格里，一格变到底，一格变了形状，三格没动。

读这张表，要留意中间那一栏。1964 年，没有做任何实验，表上就已经有两格变了：一格从“只能吵”变成了“可以判”，一格从“以为证明过”变成了“收窄”。这两处变化，都是一个人坐在桌前想出来的。后面五十年的实验，是把“可以判”兑成了“判了”。想清楚一个问题，本身就是记账的一步。

下面一格一格说。

◆ 二、判负的一格：定域实在

先说变得最彻底的那一格。

判掉的，是一个合在一起的立场：每个小东西各自带着自己的一份“答案”，而且这边的测量牵动不了那边。两条单拿出来，都还有人守着；合在一起，就越不过贝尔那条线，而实验一次又一次地越过了它。拿 2015 年代尔夫特那一组来说，照实验里用的那种算法，定域实在最多只能给到 2，他们测出来的是 2.42 左右；维也纳和美国那两组用的是另一种算法，数字不好直接比，但记录多得多，把握也大得多。

这一格，是爱因斯坦方实实在在输掉的。本书照实记下，不替他找补。

可要看清他输在哪里、没输在哪里。

他输掉的，是他对这个问题的答案。他没有输掉的，是这个问题本身。EPR 抓住的那种远处的对应，是真的；“远处的东西到底有没有自己的一份”这个问题，是物理学里最真的问题之一。卷二第15章给他写的保底，在这里兑了现：他问对了。

还有一层更少被人注意。这一格之所以能判，是因为爱因斯坦把他的立场说得足够清楚。“各有各的实在，互不牵动”，这句话清楚到可以被贝尔写成一条界线，清楚到可以被自然界否定。一个模糊的立场，是输不掉的；能被判负，说明它先是一个真正的主张。卷四第26章说，EPR 那一回合两人都没把最要紧的话说清楚；三十年后，是贝尔替爱因斯坦把那句话说清楚了，清楚到可以输。

还有一点，常被说反。有人以为，实验判掉的是“不掷骰子”，好像只要让上帝掷骰子，爱因斯坦的分离就能保住。不是这样。第31章提过，1971 年贝尔把他的结果推得更宽：哪怕允许每一边各掷各的骰子，只要骰子是在各自那一边掷的，这边的骰子不看那边的点数，两边的对应照样越不过那条线。所以判掉的核心，不

在“定不定好”，而在“互不牵动”。把答案单换成两边各自掷骰子，救不了这一格。

要保住这一格，只剩下上一章说的那条细线：承认两边的测法，和那对小东西事先就有牵扯，一直牵扯到星光、类星体和十万个人的手指头上。账面上，这条路没有被逻辑堵死；可要走这条路，付出的代价比放弃“互不牵动”还要大，所以绝大多数物理学家宁可认下这一格的判负。本书照这个共识记账，同时把这条细线记在旁边，算作这一格的附注。

再补第8章说过的一句：越过界线的对应，不能拿来送信。爱因斯坦最看重的相对论，在这一格里毫发无损。他输掉的是分离，没有输掉光速。

◆ 三、变了形状的一格：完备性

第二格，完备性，是最容易被记错的一格。

很多报道把实验结果写成“玻尔赢了”，意思是量子力学说全了。这一格恰恰没有这样判。

1955 年，这一格表面上是“悬着”，底下却压着冯·诺依曼那道证明。许多人以为，“底下不可能再有一层”是被数学证明过的，玻尔一方占着理。贝尔以后，这块压着的石头搬开了：底下可以有一层，玻姆就写出来过；只是这一层，不能是爱因斯坦想要的那种各在各处、互不牵动的样子。

实验印证的，正是这个收窄。它说明，如果底下还有一层，那一层一定有远距离的牵动；它没有说明，底下没有一层。贝尔自己后来的话说得很平：现在看来，非定域性深深扎在量子力学本身里，无论怎样把它补全，都甩不掉。这句只作转述。

所以这一格变了形状，没有变结论。爱因斯坦方想要的那种补法被堵死了，别的补法还开着；玻尔方“已经说全”的说法，一直没有被证明。本书第一条判决说“量子力学是完备的”没有被证明，玻尔方没赢，到 2015 年以后，仍是这样。

对玻尔，也要说一句公道话。他的框架和所有这些实验结果相容，他说的“现象要把整套仪器算进去”，在这些实验里处处可见：测什么，定下了能说出什么。只是他从来没有提出过这样的检验，也没有说明两边为什么会这样对应。他没有输，也不能算赢下了这一格。

◆ 四、没动的三格：决定论、实在、测量

剩下三格，六十多年，一字未改。

决定论没动。实验判的是“定域”加“实在”，不是“因果”。玻姆的理论是严格因果的，每一个小东西都有确定的去向，它照样算得出全部实验结果，只是它公开承认远距离牵动。所以“世界底下是不是严格因果”，实验至今分不出来。爱因斯坦的“他不掷骰子”，没有被判输，也没有被判赢。

单说实在，也没动。被判负的，是“实在”和“定域”捆在一起的版本；把“定域”松开，“不看的时候也有确定样子”这句话，玻姆的理论里照样成立。

测量问题，更没动。一个只给可能性的描述，为什么一量就落成了一个确定的结果？这个问题，爱因斯坦的火药、薛定谔的猫问的都是它，贝尔检验却不碰它。贝尔检验问的是两边的对应强不强，不问每一边那一下是怎么定下来的。

在这一格上，今天有两条路常被提起，各给一句公道话，换一个角度，不重复第8章。

多世界这一路，源头是普林斯顿研究生埃弗雷特 1957 年发表的博士论文。要把他的经历记准：论文还没发表，他在 1956 年就去了五角大楼做武器系统评估；1959 年春天去哥本哈根和玻尔谈，停留约六周（另有约两个月一说），毫无结

果，那时他早已离开学术物理，此后也没有回来。门关着，是一回事；他本人另有去处，是另一回事，两样都要照实记。

多世界那一路的公道话是：它是把薛定谔的猫照字面读到底的那一路。薛定谔觉得“活猫死猫抹匀”是荒唐的，多世界一路说，不荒唐，只是猫和看猫的人一起纠缠了进去，分成了两支，每一支里的人只看见一只猫。它把纠缠从两颗光子，一直推到了整个世界。

退相干那一路的公道话是：它用纠缠解释了我们为什么看不见纠缠。一只猫、一张桌子，时时刻刻都在和空气、光、周围的一切纠缠，这种纠缠一扩散开，“掺在一起”的那种样子就在实际上看不出来了，大东西于是显得只有一个确定的样子。它没有独自回答“落成了哪一个”，但把“为什么看起来只有一个”讲清楚了许多。

两路都用上了纠缠。1935 年那个被用来挑毛病的词，到了这一格里，成了回答问题的材料。

哥本哈根一路在这一格上，也该记一句：它从一开始就说，测量那一刻要靠仪器、靠经典语言来报告，不必再往下问。这个态度让一代代人把量子力学用得极好；它的代价，是把这一格的问题放在了门外。放在门外，不等于答了，所以这一格记作“没动”。

◆ 五、邓姐月底对账

对账这件事，做过小生意的人最熟。

设想县城有一家五金店，老板娘邓姐。每到月底，她都要拿着自己的流水本，和银行寄来的对账单，一笔一笔地对。

这个月有五笔要紧的账。

第一笔，一位包工头说上个月就把货款转过来了。邓姐一直信他，账本上早早就记成了“已收”。今天一对，银行那边从头到尾没有这笔钱，包工头转错了账户。这一笔，邓姐的记法被对账单判了错，没什么可争的，她拿红笔把“已收”划掉。

第二笔，另一位老主顾说钱“正在路上”，跨行转账，要等几天。对账单上看不到，也不能说没转。邓姐在本子上写“在途”，不划掉，也不打勾。

第三笔，是她自己的一个老习惯出的事。她一直以为，每一笔进账，银行都会原样记下，可这个月发现，有两笔被银行合成了一笔记，她原来那种一笔对一笔的对法对不上了。钱没少，是她的对法要改。

第四笔、第五笔，一笔是零头上差了几毛，一笔是她自己记不清是不是收过现金，查了也查不清。这两笔，她只好留着，写上“待查”。

对完账，邓姐的本子上，一笔划了红，一笔改了对法，三笔原样留着。

这个月以后，邓姐还改了一样东西，比哪一笔账都要紧。她不再凭人家一句“转过了”就在本子上写“已收”，而是一律先写“待到”，等对账单来了再改。账还是那几笔账，她记账的手换了。包工头那一笔错，是别人的；换手这件事，是她自己的。一次对账，改了她往后每一个月的起步。

这个故事和计分表是同构的。划红的那一笔，是定域实在，被实验判了负。改了对法的那一笔，是完备性，结论没变，形状变了。原样留着的三笔，是决定论、单说的实在、测量问题，对账单管不到它们。

邓姐还有两条规矩，也用得上。一条是：在途的不许写成已收，也不许写成没收。这就是第8章立的计分规矩，悬着的就写悬着。另一条是：银行单子上没有，先问是真没转，还是还没到。这正是王德生立的判读纪律：没查到，不等于没发生。

这个故事也有它说不到的地方。钱转没转，总有一天会水落石出；物理学里悬着的几格，未必有水落石出的那一天，也许要等一种今天还想不到的检验，就像1935年的人想不到贝尔那条线一样。

◆ 六、谁输了，谁也没赢

把这一章的账合起来，可以说得很短：爱因斯坦输了一格，玻尔一格也没有干净地赢，三格悬着，一格变了形状。这和第8章的结论一样，也就是本书的第一条判决。对账没有改结论，只是把“为什么是这个结论”一格一格对实了。

用缝隙的眼光再看一遍这张账，还有一处巧合值得记下。

第32章讲过，阿斯佩的实验能比前人做得好，靠的是一样工具：激光。激光这样东西，是从“受激辐射”这个想法里一步一步长出来的，而受激辐射，正是爱因斯坦1916年到1917年那几篇辐射论文里写下的。第一台激光器1960年才造出来，那时他已经去世五年，没有见过这样东西。就是在那几篇文章的末尾，他承认把基本过程发生的时间和方向交给了“偶然”。也就是说，把他的定域实在判负的那台装置，用的正是他亲手放上桌、自己却不肯认作根本的那一半。

玻尔那边，也有一处对得上。阿斯佩在光子半路上切换测法，代尔夫特在最后一刻才定测什么，这些实验的每一个关键步骤，都是在安排“这一次用哪一套仪器”。玻尔写下的那一半，“现象要把整套仪器算进去”，在这些实验里处处可见。可这些实验要问的，恰恰是玻尔说“不必问”的那个问题。他写下的那一半成了实验的骨头，他关上的那扇门成了实验的题目。

第8章末尾说过，两个人各自赢得最稳的，都不是自己死守的那一部分。对完账，这句话多了两个实证。

可是两张表摆在一起，还能看出一样第8章没有写的东西。

表上的格子，大多没动；表外的一样东西，却变了很多。1955 年，这一类问题在物理学里算不算正经学问，是有疑问的。克劳泽被劝“别浪费时间”，阿斯佩被贝尔问“有没有固定职位”，贝尔自己只能在业余时间琢磨它。到了 2022 年，同一类问题拿了诺贝尔奖，还长出了一门叫“量子信息”的新学问，下一章会讲。

这就是说，变得最多的，不是那几个答案，而是物理学脚下的那片地：什么问题算正经问题，什么实验值得做，年轻人把一辈子押在哪里才不算冒险。用 SDE 的话说，争论没有改动两个人自己的地，却改动了整个物理学的地。至于这件事在两个人的缝里意味着什么，第35章再讲。

所以这一章的题目是“谁输了，谁也没赢”。输的，有一格，是爱因斯坦的答案；赢的，没有一个人。真正得了东西的，是那片地。

带走的话

一格判负，一格收窄，三格没动。表上的答案变得很少，表外那片地变得很多：什么问题算正经学问，从此换了。

小账

缝里长出了什么？——一张对实了的账：定域实在判负，完备性收窄，决定论、实在、测量三格照旧悬着；还有一片被改过的地，这类问题成了正经学问。

它属于谁？——判负的那一格记在爱因斯坦名下，却没有一格记在玻尔名下；改过的那片地，属于整个物理学。

◆

34

第 34 章

今天的桌面：纠缠成了工具

这一章的问题

一个当年被用来挑毛病的词，怎样变成了今天造工具的材料？

2017 年 9 月 29 日，北京和维也纳之间，开了一次视频会。

据中国科学院公布的消息，会的一头是中国科学院，另一头是奥地利科学院。这次视频会用来加密的钥匙，是借着一颗叫“墨子号”的卫星，在河北兴隆和奥地利格拉茨两个地面站之间配出来的，两站相隔约七千六百公里。公布的说法是：这是第一次洲际的、用量子方法保密的视频通话。

这个场面值得多看一会儿。八十二年前，生在维也纳的薛定谔，在牛津给“纠缠”起了名字，用来挑量子力学的毛病。八十二年后，维也纳的科学家坐在屏幕前，和北京的同行说话，他们的话之所以不怕别人偷听，靠的正是那一类当年被当作毛病的东西。

还有一层更近的缘分。第32章说过，蔡林格的团队在奥地利做了一代又一代的贝尔检验；据公开的报道，主持“墨子号”的中国科学家潘建伟，当年就是在维也纳大学蔡林格门下读的博士，1999 年毕业。一场争论留下的问题，从布鲁塞尔、哥本哈根、普林斯顿，一路接力，接到了伯克利、巴黎、维也纳，又接到了合肥和酒泉。

这一章只写公开可核的事实，不预测这些技术将来能做到哪一步，也不对任何一国的做法表态。

◆ 一、从“不能送信”到“能守密”

先把一个道理讲清楚，不然会看不懂：纠缠不能送信，怎么又能拿来保密？

第8章说过，纠缠两边的对应虽然超过了贝尔那条线，却不能拿来送信。你在这一边量，得到的是一串完全随机的结果，像掷硬币；那一边也是一串随机的结果。你没法让那一边出现你想要的东西，所以传不了任何话。要看出两边对得上，得把两边的记录拿到一起比，而拿到一起，还得靠普通的办法。

爱因斯坦的相对论就是靠这一条保住的。可正是这一条，后来成了宝贝。

还有一条规矩也要先摆出来。1982 年，几位物理学家各自证明：一个不知底细的量子状态，没法原样复印一份。你不知道一颗光子是怎么摆的，就造不出一颗和它一模一样的来。这叫“不可复制”。它和“不能送信”一样，都是量子世界里“做不到”的事，后来都成了保密的依靠。

想一想保密最要紧的是什么。保密通信里，最难办的不是把信锁起来，而是让收信和发信的两个人手里，有一把一模一样、别人谁也没有的钥匙。钥匙是一串随机的数，两边要完全一样；钥匙在路上被人抄了一份，锁就白上了。早在 1949 年，信息论的开创者香农就证明过：钥匙和要送的话一样长、完全随机、只用一次，这样上的锁，谁也撬不开。难处从来不在锁，而在怎样把这把钥匙安安稳稳地送到对方手里。

纠缠两边的结果，恰好就是这样的东西：每一边单看，是一串谁也预先不知道的随机数；两边合起来看，又对得严丝合缝。换句话说，大自然在两个相隔很远的地方，同时掷出了两串一样的硬币。它传不了话，却能在两地凭空生出一把相同的钥匙。

这里还有一层，要和上一章的账连起来看。钥匙靠得住，要求那串随机数不是“我们不知道、其实早就定好了”的随机。要是早就定好了，写在某处，就总有人有可能先一步去读到它。第33章判负的那一格，说的恰恰是：没有一张事先写好、各带各的答案单。那一格记在爱因斯坦名下的输，到了这里，成了保密的底气。

当年让爱因斯坦不安的“鬼魅”，在这里干的活，是替人配钥匙。

◆ 二、两种配钥匙的办法

量子方法配钥匙，最早的方案并不用纠缠。

1984 年，美国的贝内特和加拿大的布拉萨尔提出了一个方案，后人用两人姓氏和年份把它叫作 BB84。它用的是一颗一颗单独的光子：发的一方把每颗光子随机地摆成几种样子之一，收的一方随机地挑一种办法去量。道理的核心，就是上面那条“不可复制”：偷听的人没法不碰它而把它原样抄下来，一量就可能把它弄乱。偷听的人要抄，就会在光子上留下痕迹；两边事后拿出一部分结果公开对一对，发现乱得不对头，就知道有人偷听，这一批钥匙扔掉重来。

要照实说：BB84 这一路靠的是“一量就扰动”，是玻尔一派最熟悉的那一面，不靠纠缠。本书不把一切量子保密都算到纠缠名下。

1991 年，在英国牛津读书的埃克特提出了另一个方案，直接把纠缠和贝尔检验用上了。他的办法是：由一个源头发出一对对纠缠的光子，两边各收一颗，各自随机地挑测法去量。量完以后，拿出一部分结果，做一次贝尔检验。

妙处就在这里。要是两边的对应越过了贝尔那条线，就说明，这些光子身上没有一张事先写好的“答案单”。没有答案单，偷听的人就没有东西可抄：他不可能事先知道两边会量出什么，因为在量之前，那个结果根本就没有写在任何地方。要是有人在半路上动了手脚，把光子换成了自己事先写好答案的冒牌货，对应就会退回到线的这一侧，贝尔检验立刻报警。

这真是一个意想不到的转弯。爱因斯坦心里的那张“答案单”，在埃克特的方案里，变成了窃贼手里的那份抄本。贝尔检验本来是用来判爱因斯坦的定域实在的，到了这里，成了看门的警报器：线越过了，说明没有抄本，钥匙是干净的。

一个五十多年前用来吵架的问题，成了一把锁的原理。第二年，贝内特、布拉萨尔又和默敏一起指出，埃克特这一路和 BB84 一路，骨子里是相通的：一个靠“一量就扰动”，一个靠“没有答案单”，说的是同一件事的两面。

◆ 三、奶粉罐上的那层封口膜

这件事的道理，放到一件年轻父母天天碰到的事上，会看得更清楚。

设想长沙一对小夫妻，孩子刚满半岁，吃奶粉。妻子叫阿芳，每回买奶粉，都要做同一件事：拧开盖子，先看里面那层铝箔封口膜，看它是不是平平整整、严严实实，没有一个针眼、一道划痕，才放心给孩子冲。

阿芳的丈夫起初笑她：膜又挡不住坏人，真想做手脚的，什么膜划不开？

阿芳说：膜是挡不住人，可谁动过，它藏不住。只要开过一次，就再也回不到原样。我要的不是没人能开，是开过了我一定知道。知道了，这一罐我就不用，退回去换一罐。

这就是量子配钥匙的道理。它不是造一道谁也过不去的墙，而是造一层谁碰过都留痕的膜。偷听挡不住，可偷听一定被发现；发现了，这一批钥匙扔掉，重新配。钥匙本来就是一串随机数，扔一批再配一批，不心疼。

阿芳还有一个习惯：家里囤了一箱奶粉，她不是每罐都拆开看，而是隔几罐抽一罐看看，抽的都好，其余的也就放心了。这又对上了量子配钥匙的另一个做法：两边不必把全部结果拿出来对，只拿出一部分公开比一比，剩下没公开的那部分，就留作钥匙。

这个故事有它说得到的地方，也有说不到的地方，而说不到的那一处恰恰要紧。封口膜管的，是奶粉从工厂到阿芳手里这一段路；工厂里装罐时出没出问题，阿芳家的勺子干不干净，膜管不着。量子配钥匙也一样：它管的是钥匙在路上这一段；两头的机器靠不靠得住，中间转手的站点靠不靠得住，它管不着。下面讲的几项实际工程，都要从这一点去看，才看得公道。

◆ 四、墨子号：一颗卫星和几个地面站

“墨子号”是一颗量子科学实验卫星，六百多公斤重，2016 年 8 月 16 日凌晨从酒泉发射，在五百公里左右的高度绕着地球转。卫星以中国古代思想家墨子命名，据公开的介绍，是因为《墨经》里记载过光沿直线传播、小孔成像这一类最早的光学观察。

它做成的几件事，都有公开发表的论文可查。

2017 年 6 月，团队在美国《科学》杂志上发表结果：卫星从天上同时向青海德令哈和云南丽江的两个地面站，各发一颗纠缠光子，两站相隔一千二百多公里，地面上测到的两边对应，仍然越过了贝尔那条线。在这以前，地面上靠光纤或者空气传纠缠，最远也就在一百多公里上下，再远，光子就在路上丢得差不多了。卫星的办法，是让光子大部分路程走在几乎没有空气的太空里，只在最后穿过一层大气。

同一年，团队又完成了从卫星到地面的量子配钥匙，以及本章开头讲的那次洲际视频会。要照实交代一处细节：那次洲际配钥匙，卫星在中间是一个“可信的中转站”，它先分别和两地各配一把钥匙，再把两把钥匙合算出两地共用的那一把。也就是说，这一次，卫星本身必须是靠得住的。这正是奶粉罐故事里“膜管不着工厂”的那一面。

地面上，同一时期还建成了一条从北京到上海、全长约两千公里的量子保密通信干线。据公开的介绍，这条线中间设了三十二个可信的中继站，同样是一站一站地转。

后来，据公开发表的论文，团队又用卫星在一千一百多公里之外，做成了直接靠纠缠配钥匙的实验，走的正是埃克特那一路，中间不再需要卫星当可信的中转站。

这颗卫星原本设计工作两年，实际工作的时间远远超过了这个数。

本书只记这些公开的事实。它们说明的是一件事：纠缠从实验台走到了天上，走进了工程。至于这些工程将来会做到多大、用在哪里，不在本书要说的范围之内。

◆ 五、另一张桌子：量子计算

纠缠成了工具，还有另一张桌子，叫量子计算。

它的起点，常被追到 1994 年。那一年，美国的肖尔提出了一个算法：要是真有一台足够大的、按量子规矩运算的机器，把一个极大的数拆成两个因数这件事，会比普通计算机快得多。这件事之所以惊动了很多人，是因为今天网上大量的加密办法，恰恰建在“大数很难拆”这一条上。这也是量子配钥匙受到重视的原因之一。

量子计算机要靠什么？靠的正是大量小东西之间的纠缠。普通计算机的每一个存储单元，某一刻不是 0 就是 1；量子计算机的单元，可以处在 0 和 1 掺在一起的样子里，而许多个单元纠缠在一起以后，整台机器能同时“照顾”到的可能性，会随着单元数目飞快地增长。当年薛定谔拿来挑毛病的“掺在一起”和“只能合写一页”，在这里成了算力的来源。

这张桌子上已经发生过几件被广泛报道的事。2019 年，谷歌的团队宣布，他们一台有五十多个单元的量子处理器，在一个特定的计算任务上用了约两百秒，而当时最强的普通计算机要算一万年。这个说法在业内有过争议，IBM 的研究人员很快回应说，普通计算机改进算法，几天就能算完。

2020 年，中国科学技术大学的团队发布了一台叫“九章”的光量子计算原型机，用的是一路一路的光子，据发布的消息，一次最多测到七十六颗光子，也宣布在一个特定任务上做到了类似的事。这些都是特定任务上的演示，不是能拆大数的那种机器。

这张桌子上最大的难处，恰好和上一章讲的退相干是一回事。许多个单元纠缠在一起，是算力的来源；可它们只要和周围的空气、热、杂散的光一碰，就会和环境纠缠上，原来那份精心安排的纠缠就散掉了。所以这些机器大多要放在极冷的容器里，或者用极小心的光路，尽量不让外界碰它。上一章说，退相干用纠缠解释了我们为什么看不见纠缠；到了造机器的人手里，这句话变成了日常的苦活：要用纠缠，就得先挡住别的纠缠。

本书不预测量子计算机什么时候能拆开今天的密码，也不评价哪一条技术路线更好。只记下一件与本书有关的事：纠缠在这里，从一对，变成了许多个；从一个要被检验的问题，变成了一种要被小心保护、精心调度的资源。

顺带说一句，今天市面上借“量子”二字卖的许多东西，和这一章讲的毫无关系。读者碰到时，不妨先问一句：它说的纠缠，是在哪台装置里、被谁测到的?

◆ 六、工具属于谁

回到这一卷的问题：纠缠到这里，又长出了什么?

它长出了第四层。第一层是 1935 年的一个名字，第二层是 1964 年的一条界线，第三层是实验台上一次次被做出来的一对对纠缠，第四层是今天的工具：配钥匙的办法、在轨的卫星、跨城的线路、原型的计算机。

这四层，一层比一层离两个人远。1935 年，那个名字离他们只隔着一个薛定谔；到了今天，工具离他们，隔着几代人、几个国家、几十亿的投入。

它们也一层比一层“不像发现”。一个名字，还可以说是看出了一样早就在那里的东西；一条界线，是想出来的；一台实验装置，是搭出来的；一颗卫星、一条干线，是造出来的。今天说起“量子纠缠”，人们心里浮起的，往往是这些造出来的东西。它们没有一样是躺在自然界里等人去捡的；每一样都是人、仪器、自然和一代又一代的争论一起做出来的。

这正是下一章要讲的事。爱因斯坦把世界看作一块等人去挖的石头，玻尔说看的一方已经在现象里了。可纠缠走到今天，既不像一块石头，也不只是一道仪器口，它像一件越做越大的东西，每做一步，脚下的地就变一次，下一步的路也就跟着变。

还有一句要说在最后。当年两个人争的时候，谁也没有想到它会有用。爱因斯坦拿它证明理论不完备，玻尔拿它证明理论已经完备，薛定谔拿它证明理论读法荒唐。三个人拿它做了三件不同的事，没有一件是“造工具”。工具是在争论的缝里，在他们都离开以后，自己长出来的。

> **带走的话**
>
> 不能送信的那一条，保住了相对论，也造出了钥匙；判爱因斯坦的那条线，成了看门的警报器。工具不是谁挖到的，是一层一层做出来的。

> **小账**
>
> 缝里长出了什么？——纠缠的第四层：配钥匙的办法、贝尔检验做成的警报器、在轨的卫星、跨城的线路和原型的计算机。
>
> 它属于谁？——属于今天造它、用它、守它的人。三位当事人都没有想到它会有用，它是在他们离开以后，从争论的缝里长出来的。

◆

35

第 35 章

SDE 的读法：两种发现学姿态，都差一步

这一章的问题

为什么说纠缠是“发生”的，不是“发现”的？爱因斯坦和玻尔，各停在了哪一步？

不妨想象 2015 年的一个深夜，荷兰代尔夫特。这是我构想的场景。

校园一头，物理楼的实验室里，一位年轻的实验员守着屏幕。一点三公里外，校园另一头的反应堆研究所里，另一间实验室也守着人。两头各有一粒钻石，钻石里各关着一个电子。几个星期以来，每隔一阵，屏幕上就跳出一行新的记录：这一次，两头各测了什么，各得了什么。

记录攒得很慢，平均差不多一个钟头才添一条，前后要攒两百多个钟头。这一夜，他把新的几行加进去，重新算了一遍，那个数仍然在贝尔那条线的另一侧。

他盯着屏幕，也许会想一个问题：我看见的这个东西，是我找到的，还是我做出来的？

说它是找到的，好像也对：大自然就是这样，线本来就会被越过，他只是看见了。说它是做出来的，好像也对：没有这两粒钻石、这几台激光、这一点三公里的光纤、这几个星期不眠的夜，这一行一行的记录，世界上本来是没有的。

这个场面值得多看一会儿。这一卷前五章，一直在说纠缠是“长出来的”。这一章要把这句话说透：它为什么不是“找到的”？站在这个问题前面，爱因斯坦和玻尔，各停在了哪里?

先交代一句：这一章是本书用 SDE 对两人做的读法，属于初判，作者还会再推敲。它只读两个人看世界的姿态，不替物理学在几种读法之间做裁判。

◆ 一、先把两个词说清楚

发现，是说东西本来就在那里，等着人去找到它。像地里埋着一块石头，你挖出来了；像月亮本来就挂在天上，你抬头看见了。石头在你挖之前就是那个样子，月亮在你看之前也是那个样子。你的挖和看，只是把它从“不知道”挪到了“知道”。

发生，是说东西本来不在那里，是几样东西顶在一起、一步一步走，才长出来一个原来没有的样子。像两股水汇到一起，才有了一个漩涡；漩涡不在哪一股水里，也不是谁挖出来的。

SDE 讲发生，用三样东西。长出来的样子，叫显露，记作 S；走出来的路，叫差异，记作 D；脚下那片地，叫特征纠缠，记作 E。三样东西互相生成：样子由路和地一起生成，路由样子和地一起生成，地也由样子和路一起生成。写成式子是 S＝F(D,E)，D＝G(S,E)，E＝H(S,D)，这里只看这一眼。要紧的是最后那一条：地不是一开始就给定了、永远不动的，它也会被长出来的样子和走过的路改写。

拿这把尺子去量两个人的姿态，就能看出各停在哪里。

◆ 二、爱因斯坦：客体先在

爱因斯坦的姿态，是一种很彻底的发现学。

在他看来，世界在人看它之前，就已经定好了。月亮在不在，和你看不看无关。据派斯回忆，爱因斯坦晚年和他散步时忽然停下来问：你真相信月亮只在你看它的时候才在吗？这一问，就是他整个姿态的缩影。两颗光子各是什么样，在它们飞出去那一刻就装好了，像那副分装两个快递的手套。物理学要做的，是把这个定好了的世界找出来、写下来。观察者，只是来来去去的证人，证完了，就可以请出门去，理论里不必留他的位置。这就是“客体先在”：东西先在那里，人后来去看。

照 SDE 的尺子量：他把长出来的样子，当成了看之前就有的；把脚下那片地，当成了一块不动的底板；把走出来的路，也就是人怎样去测、怎样去问，当成了只管“揭开盖子”、不改变盒子里是什么的一个动作。三样东西里，只有样子是主角，而且是一个早就写好的主角。

这个姿态有它了不起的地方。正因为他坚信“那里一定有一样实在的东西”，他才会去追问 EPR，才会把“远处那个到底有没有自己的一份”问得那么硬、那么清楚。卷二写的保底，在这里再说一遍：他问对了问题。一个彻底的发现学者，有一种不肯罢休的劲，非要问到底“那里到底是什么”。

可这个姿态也在一处停住了。贝尔检验判掉的，正是“两边各带各的答案单”这一格。答案单，就是“测之前样子就写好了”的另一个说法。实验说，至少在这个意义上，没有一张事先写好、又互不牵动的单子。测出来的那个结果，是在两边一起被测的时候，才落成的。

爱因斯坦的第一步，就没有迈出去：他不肯承认，样子可以是在“问”的时候才长出来的。

◆ 三、玻尔：停在仪器口

玻尔往前走了一步，而且是很大的一步。

他说，现象要把整套仪器算进去。你用量位置的仪器，看到的就是位置那一面；你用量动量的仪器，看到的就是动量那一面。两套仪器不能同时摆上桌，两面也不能同时亮出来。看的一方，已经在现象里了。他后来还专门给“现象”这个词立了规矩：这个词只许用来指在交代清楚整套实验安排的条件下得到的观察，不许拿来说仪器背后那个东西本身。一个词的用法，都要连着仪器一起定。

照 SDE 的尺子量：他承认了样子和路是连着的。你怎么走、怎么问，决定了长出来什么样子。这就是 S 要靠 D 才能说。比起爱因斯坦把路当成揭盖子的动作，这是实实在在的一步。

可他只走到仪器口，就停了。

仪器那一头，那个没有被测的东西本身是什么样？他说，这个问题不能这样问。据他的助手彼得森在他去世后第二年的回忆，玻尔曾说过，大意是：没有一个量子的世界，只有一种抽象的量子物理的描述。这一句只作转述。它的意思，是把仪器那一头整个留成了“说不得”。

还有一处更容易被忽略的停顿。玻尔一再要求，一切实验必须用经典物理的概念、用日常的语言来报告。卷三读过，这是他理论站的一格，E2 信息里的“符号”。在他那里，这一套语言是一块不许动的底板：不管实验走到哪里，报告的话都得是老话。1949 年他写给那本爱因斯坦文集的长文里，把这一条说得很死，大意是：现象不管怎样超出了经典物理能解释的范围，对一切证据的交代，都必须用经典的说法来表达。这一句只作转述。

照 SDE 的尺子再量一遍，就看出他停在哪里了。样子要靠路，他承认了；可脚下那片地，经典的语言、给定的仪器，被他当成了不动的底板。地能生成样子和

路，他是承认的；样子和路反过来改写地，他没有走到。三条式子里，他写下了前两条的一半，第三条空着。

爱因斯坦停在第一步之前，玻尔停在第三步之前。两人停的地方不一样，姿态却有一处相同：都有一样东西被当成了事先给定、不会被改写的。爱因斯坦那里，是早就写好的世界；玻尔那里，是早就写好的语言和仪器。所以本书说，这是两种发现学的姿态。一种是发现一个定好的世界，一种是发现一套定好的说法能说出多少。

◆ 四、老谢找钥匙

这件事，放到一个几乎每家都有的早晨，就好懂了。

设想县城一户人家，男主人老谢，在单位管后勤，什么都记得住，就是记不住钥匙放在哪里。每天早上出门前，屋里总要上演一回：老谢翻抽屉、掀沙发垫、摸遍所有衣服口袋，嘴里念叨“明明放在这里的”。

老谢找钥匙的时候，是一个彻底的发现学者。钥匙一定在屋里某个地方，它在那里，和他找不找无关；他要做的，就是把它找出来。多数早晨，他是对的：最后在昨天那件外套的口袋里摸到了。钥匙这样东西，确实是等人去找的。

老谢的妻子是个中学语文老师，她有她的一套说法。她说：你找不到，是因为你只会用你那一套找法。你永远先翻抽屉，再掀沙发，你那套找法决定了你能在哪里找到它。换一个人来找，先看门口，先看鞋柜，找到的地方可能就不一样。钥匙在哪里被找到，要把找的人和找法一起算进去。

这话有道理，也往前走了一步。可她也就说到这里为止。至于钥匙在没人找的时候到底在哪里，她说，这个问题没有意思，反正要找了才知道。

两口子吵了好几年。一个说钥匙本来就在某处，一个说在哪里找到要看怎么找。谁也没说服谁。

后来有一年，家里的事起了变化。老谢的母亲从乡下搬来同住，老人家看不得儿子天天早上翻箱倒柜，在门边的墙上钉了一排木挂钩，说：钥匙进门就挂这里。起初老谢不习惯，照样乱放。后来上小学的儿子把自己的书包也挂上了一个钩，妻子把买菜的布袋挂上了一个钩，门口慢慢成了全家出门进门都要停一停的地方。又过了一阵，家里换了一种门锁，锁得上也开得了，只用一把钥匙，钩子上就只挂那一把。

有一回，妻子看着那排挂钩说了一句：原来不是钥匙难找，是这个家从来没给钥匙留过一个地方。

再往后，这家人早上不再找钥匙了。不是谁终于找到了什么，而是一样原来没有的东西长了出来：门边一排挂钩，和围着它的一套全家人的习惯。

照 SDE 的尺子看，这一排挂钩就是发生。它是从几年的吵架、每天早上的翻找（路），从这间屋子的格局、搬来同住的老人、上学的孩子（地）里一起长出来的（样子）。长出来以后，它又反过来改了这个家：门口成了一个停一停的地方，门锁换了，出门的顺序也变了。地被改写了，下一回的路就跟着变了。

钥匙是被发现的，挂钩是发生的。老谢的姿态适合找钥匙，妻子的姿态比他多想了一步；可是两个人谁也没有去钉那排挂钩。钉挂钩的，是吵架的地里搬进来的第三个人。

这个故事也有说不到的地方。挂钩是人有意钉的，纠缠不是谁有意安排的；家里的事可以商量，自然界的事不能商量。它只帮读者看清“发现”和“发生”两种样子的区别，不说明物理学的纠缠就是一排挂钩。

◆ 五、纠缠为什么是发生

有了这把尺子，再回头看这一卷讲的纠缠，可以从三个层面说它是发生的。

第一个层面，是思想史的层面。纠缠这个名字、这个问题，是在两个人的争论里长出来的：爱因斯坦的追问，玻尔的顶住，薛定谔的不满意，三股劲儿顶在一起，1935 年那个夏天才有了它。后来的界线、实验、工具，是一代又一代门外的人、地下室里的人、实验台前的人接力做出来的。这一条，前五章已经讲足了。

第二个层面，是实验台上的层面。贝尔检验判出来的，恰恰是：两边测出的结果，至少不是“事先写在各自的答案单上、等人去揭开”的那种东西。它们要在一对纠缠的小东西（一片共同的地）、两边各自临时选定的测法（一条路）碰在一起的时候，才落成一个确定的结果（一个样子）。这和 SDE 说的样子由路和地一起生成，形状是相像的。本书只说到“同构”为止：物理学里究竟怎样读这件事，玻姆一路、多世界一路、哥本哈根一路各有说法，SDE 不在它们中间做裁判；只是无论哪一路，都得认下那条线被越过了。

第三个层面，是那片地被改写了。第33章对账时说，表上的答案变得很少，表外那片地变得很多：这类问题从“别浪费时间”成了正经学问，长出了量子信息这门新学问，年轻人把一辈子押在这里不再算冒险。这就是 E＝H(S,D) 那一条：长出来的新东西和走过的新路，回过头来改写了物理学脚下的地。地改了，下一步的路才又变了，才有了第34章那些工具。

三个层面合在一起，就是本书说纠缠“不是谁的发现”的意思。它不像一块石头，等爱因斯坦来挖；也不像一道仪器口，等玻尔来守。它像门边那排挂钩，是在吵架的屋子里，一点一点长出来，又一点一点改了这间屋子的。

◆ 六、差的那一步

最后把两个人差的那一步说清楚。

卷四第29章说，两人都缺回写，也就是 123 原理的第三拍：把争论里变出来的东西，写回自己脚下的地里，改自己的土。这一章用三条式子，把同一件事换了一个角度说：两人差的那一步，都是第三条式子，地会被样子和路改写。

爱因斯坦的地，是一个定好的世界。他不肯让这片地被改写，所以他 1916 年留给“偶然”的那个空位，一辈子只当作理论的弱点，没有当作世界可能的样子。

玻尔的地，是一套定好的语言和一套给定的仪器。他不肯让这片地被改写，所以他对仪器那一头说“不能这样问”，对玻姆、对埃弗雷特关了门。

两个人都在自己的地上争，都守住了自己的地，于是争论没能改写他们。改写发生在别处：发生在薛定谔的信和论文里，发生在赫尔曼、玻姆、贝尔的门外，发生在伯克利的地下室和代尔夫特校园的两头，最后发生在整个物理学的地上。两人没有做的回写，由他们的争论本身在他们身后代做了。

这就是本书卷五的收束，也是一个初判：两个人代表了发现学的两种姿态，一种相信世界定好了、等人去找，一种相信说法定好了、看它能说出多少；两种姿态都比前人走得远，也都差最后一步，差的都是让自己的地被改写。

照判读纪律，这个初判也要留推翻条件。要是有可靠的史料显示，玻尔晚年明确说过经典语言这块底板本身也可以被改写，那么“玻尔停在第三步之前”要收窄；要是有可靠的史料显示，爱因斯坦晚年明确承认过测量之前的样子可以不是定好的，那么“爱因斯坦停在第一步之前”也要收窄。到目前查到的材料为止，两条都立得住，但这一章的读法仍是初判，作者还会再推敲。

卷六要把这面镜子转过来，照一照普通人自己：你在家里、在单位吵架的时候，是在找钥匙，还是在守仪器口？你们吵了这么多年，门边那排挂钩，有没有人去钉？

带走的话

一个认定世界早已写好，一个认定说法早已写好，都比前人走得远，都差最后一步：让自己的地被改写。纠缠就长在这一步上。

小账

缝里长出了什么？——一个“发生”的样子：纠缠在思想史上是争论顶出来的，在实验台上不是事先写好的答案，在今天改写了整个物理学的地。

它属于谁？——不属于爱因斯坦的“定好的世界”，也不属于玻尔的“定好的说法”；它属于那一步两人都没走、却被争论本身走出来的回写（初判，作者还会再推敲）。

◆

卷　六

普通人版：你家里的爱因斯坦与玻尔

卷　首　语

中秋前一个星期六，小满回县城，进门就叹气。

“外公，我们家这个中秋怕是过不安生。我妈和舅舅在群里吵起来了，为中秋在哪儿过。”

老秦正在擦那副用了二十年的象棋，头也没抬：“吵什么？”

“我妈说在县城过，您住惯了老宿舍，这是明摆着的；舅舅说接您去长沙过，他说他问过您，您说‘都行’。两个人都说是为您好，都拿您当证据。”

老秦把棋子一颗颗放回盒子，笑了一下：“那他们当面问过我没有？”

小满愣住：“这个……好像谁也没当面问过。”

“你看，”老秦把盒盖合上，“一个说我的意思就摆在那里，明摆着；一个说他问出来了，可问的是一句‘都行’。前面几卷你跟我读了三十五年的吵架，现在轮到你自己家了。”

前五卷读的是两位大师。这一卷把镜子转过来，照普通人。一场吵架怎样听出底下的缝；怎样认出“用对方的理论打对方”，又怎样用得体面；说清楚和说真话之间差在哪里；只学爱因斯坦的人和只学玻尔的人各卡在哪里；最后一章，读你自己：你嘴上站哪一边，身上活在哪一边。

小满问：“读完了，我家就不吵了？”

“照样吵。”老秦说，“只是吵得出点东西来。”

36

第 36 章

怎样听出一场吵架底下的缝

这一章的问题

一场吵架，桌面上争的那件事听一遍就懂，桌子底下那道缝，要怎样才听得出来？

不妨想象这样一个中秋节的晚上，这是我构想的场景。

湘中一个县城，一户姓邹的人家。老父亲邹伯明年满八十，今年中秋，儿女都回来了。大女儿邹红住在县城，离父母家走路十分钟；小儿子邹斌在长沙，一年回来三四趟。饭吃到一半，邹红从包里拿出一张折了两折的纸，摊在桌上。那是她写的“寿宴安排”：订县城那家老字号酒楼，十八桌，请哪些亲戚、哪些老同事，谁去接乡下的姑妈，一条一条列得整整齐齐。

邹斌看了一眼，把纸往回推了推：“姐，爸自己说了不想搞。上个月我打电话问过，他说‘都八十了，搞那些做什么’。”

邹红把纸又推回来：“你打电话问的？你问他，他当然说不搞。”

邹伯坐在两个人中间，低着头剥一个柚子，一瓣一瓣剥得很慢，一句话也没说。

这个场面值得多看一会儿。桌上摊着一张纸，纸上是一个定好的方案；纸的两头各有一只手在推；纸的中间坐着一个被两边都拿来作证、却谁也没当面问的人。

◆ 一、桌面上的话，听一遍就够

一场吵架，先听桌面上吵的是什么。

邹家这一场，桌面上的题目很清楚：八十岁的寿宴，办还是不办；办的话，是十八桌还是一桌。这件事是真的，不能看轻。订酒楼要交定金，请客要提前说，乡下姑妈要人去接，都是实打实的事。很多吵架，把桌面上这件事办好了，也就不吵了。

所以第一问，先把桌面上的题目说成一句话，说准。“他桌面上争的是什么？”放到邹家，就是：寿宴办不办、办多大。说准了，才不会一会儿吵酒楼、一会儿吵去年过年谁没回来，越吵越散。

怎样算说准？有一个土办法：把这句话说给吵架的两边听，两边都点头，说“对，我们吵的就是这个”，才算准。邹红要是听到“你们吵的是爸想不想热闹”，她会摇头，她觉得爸想不想不是问题；邹斌要是听到“你们吵的是规矩要不要守”，他也会摇头，他觉得自己没反对规矩。只有“寿宴办不办、办多大”这一句，两个人都认。桌面上的题，要找两边都认的那一句，不找自己心里认定的那一句。

爱因斯坦和玻尔也是这样。桌面上的题目，三十五年里一直说得很准：光是不是一颗一颗的，世界算不算得准，量子力学说完了没有，看一眼算不算数，远处的东西会不会被这里的事牵动。卷一的六个回合，每一回合都有一道说得清的题。桌面上的题说得准，这场争论才吵得那么深。

可是，桌面上的题说准了，不等于吵架就懂了。邹家这张纸，推过去，推回来，推了三回。每推一回，两个人的话都更硬一点。这时候就该换一只耳朵听。

◆ 二、听刀：每一句硬话是从哪里来的

第二问：他手里那把刀，是从谁那里来的？

“刀”，指的是吵架时最硬的那句话，那句一说出来，对方就得接招的话。听刀，不听它砍向哪里，先听它是从哪里拔出来的。

邹红手里的刀，是“礼数”。她说：整寿就要办，这是规矩，老辈人都这样，爸辛苦一辈子，不能冷冷清清过。这把刀，她拿得理直气壮。

可是往回翻二十年，邹红自己结婚的时候，是全家最不讲规矩的一个。她不要接亲的车队，不要摆酒，跟丈夫出去旅行了一趟就算办了。那一回，是邹伯拍板替她挡住了亲戚们的闲话。她今天手里的“礼数”，是她当年亲手放下过的东西。

邹斌手里的刀，是“看爸自己的意思”。他说：老人家想怎样就怎样，别搞形式，别让他累着。这把刀，他也拿得理直气壮。

可是三年前邹斌结婚，在长沙摆了二十桌，是全家最讲排场的一个。那时邹伯说“简单点就行”，是邹斌说“爸，这是面子，您别管”。他今天手里的“看爸的意思”，是他当年自己没听进去的东西。

听到这里，就听出一个形状来了：每个人都拿自己嘴上说的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。邹红嘴上说规矩，自己活过不要规矩；邹斌嘴上说随老人，自己活过不随老人。

这个形状，全书读了三十五年。爱因斯坦拿“他不掷骰子”去打量子力学，可第一个把偶然写进原子放光的，就是一九一七年的他自己。玻尔拿“两样都要”去答爱因斯坦，可前半生只认波、挡了光子十几年的，就是他自己。刀刃上的钢，都是从自己没写下的日子里炼出来的。

怎样听刀？有一个简单的记号：听那些带着“一向”“从来”“本来就该”的句子。“我们家一向讲礼数”，“爸从来不爱热闹”。这种句子，说的人最有把

握，也最容易有一段自己忘了的日子。听到“从来”两个字，心里不妨轻轻问一句：他自己，是不是也有过不是这样的时候?

要紧的是，这一句只在心里问。说出口，就成了翻旧账。卷四那对为过年回谁家吵架的夫妻，就是把对方的原话一句句翻出来，越吵越远。听刀是为了听懂，不是为了还手。

这一问，最好先问到自己头上。邹红要是在推那张纸之前，先想起自己当年旅行结婚、是爸替她挡住了闲话，她推纸的那只手会轻一点。她会明白，“礼数”不是她一向守着的东西，是她活到今天才重新捡起来的东西；捡起来的理由，也许不全在礼数上。听别人的刀，是为了懂他；听自己的刀，是为了松一松手。

◆ 三、听缝：纸底下争的是什么

刀听明白了，就能往下听一层：桌面底下，两个人真正争的是什么。

邹家这场吵架，底下争的不是十八桌还是一桌。争的是：爸的意思，到底是什么?

邹斌心里，爸的意思是一个定好的东西，就摆在那里，像一块石头，谁去问都一样。他打电话问了，爸说不搞，那么“不搞”就是爸的意思，事情就清楚了。

邹红心里，爸的意思不是摆在那里等人去拿的。她天天在父母身边，知道爸接儿子电话的时候，第一句总是“我好得很，你忙你的”。她还听爸念叨过好几回，老李家的八十岁摆了二十桌，老同事们都去了，热闹得很。爸对儿子说一个样，对女儿说另一个样。在她看来，你怎么问，就问出什么。

放到本书里看，这两个人，一个站在爱因斯坦的位置上，一个站在玻尔的位置上。邹斌信的是“不看也在”：爸的意思先在那里，问一下，就把它找了出来。这是“发现”的姿态。邹红信的是“要把问的方式算进去”：隔着电话、由一个难得

回家的儿子来问，这个“问法”本身，就是答案的一部分。这正是玻尔那句“现象要把仪器算进去”。

有意思的是，两个人都只走了一半。邹红知道问法会改变答案，可她自己也没当面问过；她拿来当证据的，是爸对别人家寿宴的几句念叨，那也是一种问法。邹斌以为自己问到了定好的答案，其实他问到的，是爸对远方儿子的一片体谅。

再往底下听一层，还有东西。邹红天天在身边，她要的这场寿宴，多少也是给这些年守在身边的自己一个交代：让亲戚们看见，这个家是怎样被照看着的。邹斌远在长沙，他怕的是另一件事：寿宴一办，他只能出钱，出不了人，显得他这个儿子隔着一层。一个守在近处，一个悬在远处。桌面上争酒楼，缝里争的，是远和近。

这一层，两个人都没说。说出来，就不是寿宴的事了。

听出来的这一层，是不是自己瞎猜的？有一个验收的办法：拿它去对一对这一晚两个人说过的每一句话。“远和近”要真是那道缝，它得同时说得通邹红为什么非要十八桌、邹斌为什么偏偏打电话去问、两个人为什么又扯到去年过年谁回来得少。三处都说得通，才算听准了；只说得通一处，多半是自己的心事，安到了别人身上。

◆ 四、听缝的三个信号

缝不会自己报名字。可是它在吵架里会留下一些记号，听多了，就认得出来。这里说三个，都是从邹家这一晚和那三十五年里一起看出来的。

第一个信号：同一样证据，被两边拿去用。邹伯的话，邹斌拿来证明“不办”，邹红拿来证明“要办”。一样东西能被两边当证据，说明两边争的不是这样东西本身，而是怎样读它。爱因斯坦和玻尔那里也是这样。

同一部相对论，一九二六年海森堡从里面读出的是“只谈看得见的量”，爱因斯坦自己读出的却是“是理论决定我们能观察什么”，还说海森堡那样推照样是胡说。一九三五年那对分开的东西，爱因斯坦拿它证明量子力学没说完，玻尔拿它说明量子力学并没有漏掉什么。证据是同一份，读法是两副眼镜。听到同一句话被两边抢着引，就该放下那句话，去听两副眼镜。

第二个信号：题目换了好几回，底下那件事没换。邹家这一晚，先吵十八桌，再吵去年过年谁回来得少，再吵乡下姑妈该谁去接。题目一换再换，可每一回吵到最后，落点都是同一处：谁在近处，谁在远处。爱因斯坦也是这样。一九二七年、一九三〇年，他出题想证明不确定关系能被打破；据后来的分析，光子盒以后，他不再这样主张，把题目换成了“量子力学完不完备”。题目换了，他底下守的那一样，一个不看也在、各有各样子的世界，一步也没挪。听到题目一换再换，别跟着新题目跑，回头听那个没动的落点。

第三个信号：最该开口的人没开口，最该说的那句话谁也没说。邹伯剥了一晚上柚子。姐弟俩把他当证据，谁也没当面问他。那三十五年里，也有一句一直没说到对方耳朵里的话。卷四第26章讲过，两个人最直白的话，多半写给了第三个人：爱因斯坦的“他不掷骰子”写给玻恩，抱怨最要紧的东西被博学闷住，写给薛定谔。两人当面交手时，各守各的城墙。一场吵架里，最安静的那个人、最没说出口的那句话，常常就是缝的位置。

三个信号，只是帮耳朵认路，不是判决书。认出来了，先别说破，接着往下听。

◆ 五、缝里长出了什么

第三问：这场吵架停下来以后，缝里长出了什么?

设想那天晚上，柚子剥完了，邹伯还是没说话。后来是邹斌先松了口。他说：“姐，要不这样，我们俩一起，现在就当面问爸。”

邹红想了想，把那张纸收了起来。

两个人没有问“办不办”。那个问题，隔着电话问过，当着亲戚念叨过，答案早就被问法定死了。邹斌换了一个问法：“爸，您八十岁那天，最想看见谁？”

邹伯把最后一瓣柚子放进盘子里，想了好一会儿，说了三件事。想看见乡下的妹妹，她腿脚不好，好些年没见了。想看见当年粮站的几个老伙计，还剩五个人，他说着起身，从抽屉里翻出一张发黄的粮站合影，指着上面一个一个数给姐弟俩听。想全家拍一张照片，上一回全家福，还是邹斌上小学的时候。

这三件事，不在邹红那张十八桌的纸上，也不在邹斌那句“不搞”里。后来那年的寿宴，既不是十八桌，也不是不办，而是在家里摆了三桌，乡下姑妈是邹斌开车去接的，五个老伙计是邹红一家一家上门请的，饭前请县城照相馆的师傅上门，拍了一张全家福。那张照片后来挂在邹伯的床头。

这张全家福，不是邹红的方案，也不是邹斌的意思。它只在两个人吵过、又一起换了个问法之后才会出现。它不属于任何一方，是两个人一起的发生。

这正是全书那条判词的最后一截在家里的样子。爱因斯坦和玻尔吵了三十五年，缝里长出来的是“纠缠”；邹家姐弟吵了一个晚上，缝里长出来的是一张照片。事情大小不能比，形状是一样的：吵得出新东西的吵架，都是吵到了缝里、又没吵散的吵架。

◆ 六、三问的用法和三条禁忌

把这一章收成一套能带走的办法，就是全书的随身三问，放到家里用：

一问，他桌面上争的是什么？把题目说成一句话，说准。

二问，他手里那把刀，是从谁那里来的？听“一向”“从来”，在心里问：他自己有没有活过另一半？也问问自己。

三问，这场吵架停下来以后，缝里长出了什么？如果什么也没长，多半是还停在桌面上，或者吵散了。

三问好用，也容易用坏。有三条禁忌。

第一条，不当面揭缝。“你嘴上说规矩，你自己结婚时怎么不讲规矩？”这句话说出来，缝就成了把柄。把柄只能让人更硬。缝是拿来听懂的，最多拿来问自己。

第二条，不是每一场吵架底下都有缝。水费算错了，就是算错了，改过来就好。有的吵架，桌面上的事就是全部。硬要往底下挖，是把别人当病人。三问的第二问，是用来分辨的：听不出刀的来处，就老老实实把桌面上的事办好。

第三条，第三问要两个人都在场才答得出来。缝里长出的东西，不是一个人想出来的。邹斌要是一个人拍板“不办”，或者邹红一个人订了十八桌，都长不出那张照片。所以吵到最硬的时候，能说一句“我们一起再问一次”，比赢下这一句更要紧。

再问一次，问法也有讲究。有一个能照着做的土办法：把“要不要”“行不行”这种只能答一个字的问题，换成“最想”“最怕”开头的问题。“寿宴办不办”，老人只能在两个答案里挑一个，挑哪个都要得罪一个孩子；“那天最想看见谁”，他不用挑边，只用说自己。问题不逼人站队，人才说得出自己的那一份。

这三条，爱因斯坦和玻尔都做到了一大半。他们没有拿对方的旧事揭短，没有把对方当病人，吵到最硬的时候也坐在同一张桌子边。只差最后那一拍，谁也没有把吵出来的东西写回自己身上，这是卷四第29章讲的事，留到结语再算账。

那天晚上，老秦讲完邹家这个设想出来的故事，小满想了一会儿，给舅舅发了一条消息：“舅，中秋在哪儿过，别在群里吵了。你们回来，当面问外公那天最想做什么。”

舅舅回了一个字：“好。”

老秦在旁边看见了，没说话，把棋盘又摆开了。

带走的话

桌面上的题说准，刀的来处在心里问，缝里的东西要两个人一起才长得出来。

小账

你家里的这场吵架，桌面上争什么？——寿宴办不办、办多大：一张十八桌的纸，一句隔着电话问来的“不搞”。

缝里争什么？——爸的意思是定好的，还是问出来的；一个守在近处，一个悬在远处。缝里长出来的，是一张全家福。

◆

37

第 37 章

用对方的理论打对方：单位会议上的“光子盒”

这一章的问题

拿对方自己的道理去驳对方，在日常里是什么样子，怎样认得出，又怎样用得体面？

不妨想象这样一个星期一的上午，这是我构想的场景。

县城一家有六个门店的连锁超市，每周一上午开例会。会议室不大，投影打在一面白墙上。总部新来的运营主管老彭，正在讲他的方案：六家店从下个月起统一排班，每个钟点上几个人，全由收银系统里的客流数据算出来，不再由店长凭感觉定。墙上是一张柱状图，一个钟点一根柱子，高低分明。

老彭讲得很有底气：“数字不会骗人。城南店上两个星期已经照这个试了，人工省了一成二。”

城南店的店长谭姐没有接话。她打开自己的笔记本电脑，问老彭：“彭主管，能不能借投影用两分钟？我也放一张表，也是咱们系统里导出来的。”

墙上换了一张表。表头是同一个系统的标志，名字叫“生鲜损耗日报”。谭姐指着其中一栏说：“城南店试排班这两个星期，早上理货的人少了一个。菜叶子、豆腐、鲜肉，损耗比上个月多了这么多。这笔钱，比省下来的人工还多一点。”

会议室里安静了好几秒。老彭盯着那张表，没有说“数字不准”。那是他自己的系统，他自己最信的东西。

这个场面值得多看一会儿。谭姐没有说“现场和数字不一样”，那是她平时的话，老彭不认。她说的是：你的数字，用全了，是这样的。

◆ 一、那只盒子是怎么拆的

先回到一九三〇年那只盒子，把它为什么厉害再说一遍。

爱因斯坦的盒子，卷一第5章讲过：盒子里一只钟控制一扇小门，放出一个光子；盒子挂在秤上，放光前后各称一次，称出光带走多少能量；钟记下光是什么时候走的。能量和时间，好像都测准了，不确定关系就被打破了。

据罗森菲尔德回忆，玻尔那天晚上很沮丧，第二天早上却很得意。他找到的回答，卷一和卷三都讲过：盒子要称重，就会在秤上上下动一点；钟一上一下，就在引力场里换了高度；照广义相对论，钟在不同高度走得快慢不同。这一动，钟就不准了，时间就不确定关系了。

这一回答厉害在哪里？不在它有多巧，而在它用的是谁的道理。广义相对论是爱因斯坦的，是他一生最得意的作品。玻尔没有说“你的盒子设计得不好”，也没有说“你的前提我不认”。他说的是：你的盒子，你自己的理论要是算全了，它就是这样。爱因斯坦设计这只盒子的时候，把钟和秤都放了进去，却没把自己的广义相对论放进秤里。

后来的物理学家对玻尔这一回答的细节有争议，有人说他前后说的“不准”不是一个意思，有人说不用广义相对论也驳得倒。这一点本书不当裁判。可有一件事大家大体公认：从那以后，据后来的分析，爱因斯坦不再主张不确定关系能被打破，而把问题换到了“量子力学完不完备”上。

用对方的理论打对方，最有力的地方就在这里：对方没法说你的前提不对，因为前提是他自己的。

◆ 二、会议室里的那只盒子

回到超市的会议室。

谭姐那一招，和玻尔那一招是一个形状。老彭的方案是一只盒子：客流数据是钟，人工成本是秤，两样一称，方案就立住了。谭姐没有去砸这只盒子，她只是把老彭自己的系统用全了：同一个系统里，还有一张损耗日报。老彭设计方案的时候，把客流放了进去，把人工放了进去，却没把自己系统里的另一张表放进去。

那天的会，老彭没有撤方案，说回去再算一算。

事情到这里还没完。过了两个星期，轮到谭姐提方案。她提的是：统一排班可以做个底，每家店的店长可以按现场的情况调，调多少由店长定。她的理由还是那句老话：“现场说了算，谁在店里站过谁知道。”

这一回，老彭没有反驳“现场说了算”。他说：“谭店长，你说现场说了算，我认。上个星期三下午三点，我在城南店现场站了一个钟头。”他拿出手机，放了几张照片，是下午三点的城南店：生鲜档前没有顾客，三个理货员在冷柜边上聊天。“这也是现场。”

轮到谭姐一愣。她说的现场，是早上六点半菜市场散场、一拨一拨老人进店的那个现场，是她天天站着的那个现场。下午三点的店，她很少站在那里看。

你看，这又是交叉的刀。谭姐拿老彭的“数据”，用全了，打了他的方案；老彭拿谭姐的“现场”，站全了，打了她的方案。每个人手里最锋利的那把刀，都是从对方的道理里借来的，而且都刺在了对方没用到头的那一截上。

◆ 三、刀上的钢，是从自己没写下的日子里来的

这里还可以再往下看一层，这一层是本书特有的读法。

谭姐手里的“数据”这把刀，是从哪里来的？她嘴上一向说“现场说了算”，看上去是个不信数字的人。可是在城南店干过的人都知道，她抽屉里有一个硬壳本子，记了七八年：每天早上几点开门，几点第一拨老人进店，哪天下雨，哪天学校放假，豆腐剩了几板，青菜扔了几斤。

她平时从不提这个本子，觉得那是“自己心里有数”的小习惯。那天会上，她之所以一眼就知道该去系统里调损耗日报，正是因为这个本子让她对“早上少一个人会扔掉多少菜”早就有数。她拿来打老彭的数据之刀，钢是从她自己记了七八年的本子里炼出来的。

老彭手里的“现场”这把刀，又是从哪里来的？他嘴上一向说“数字不会骗人”，看上去是个坐在屏幕前的人。可他二十多年前进这一行，是在省城一家大超市当理货员，凌晨四点上货，一站一整天。下午三点哪几个货架前没人、理货员会凑到哪里去聊天，他比谁都清楚，那是他年轻时自己也凑过的地方。他那天专挑下午三点去城南店站着，不是碰巧。

所以这两把交叉的刀，和那三十五年的刀是一个样子：每个人打对方的刀，都来自自己嘴上不讲、身上却活过的那一半。谭姐嘴上讲现场，身上活着一本账；老彭嘴上讲数据，身上活着一段站货架的日子。爱因斯坦嘴上讲不掷骰子，身上活着一九一七年那一跳“偶然”；玻尔嘴上讲两样都要，身上活着只认一样的那些年。

这一层看明白了，就懂得为什么这一招往往最有力：借来的道理，其实并不全是借的。你之所以能把对方的道理用得比他还全，常常是因为那一半，你自己也活过。

后来这家超市定下来的办法，不是老彭的，也不是谭姐的。系统算一个底，店长可以调，但每一次调，都要在一张表上写一行：哪个钟点、调了几个人、为什么。每个月月底，老彭和各家店长坐在一起，把这张表和损耗日报、客流数据摆在一起看。这张“调整表”，是两把刀交过以后才长出来的。

它为什么管用，可以验收一下。头三个月，表上记了一百多行。老彭发现，城南店早上七点前后调人调得最多，原因一栏写来写去是同一句：“老人进店，豆腐青菜要现摆。”这一条，客流数据里看不出来，因为老人买得少、结账快，每人只算一笔；损耗日报里也看不出来，它只记扔了多少，不记为什么扔。一张表把“调了几个人”和“为什么”写在同一行，两样东西才第一次碰上。第四个月，系统里的排班算法加了一条“早市生鲜系数”，是老彭照着这一百多行改的。

◆ 四、怎样认出来

日常里，“用对方的理论打对方”并不少见，只是常常认不出来，或者认错了。认它，有三个记号。

第一个记号：对方没有否定你的前提，反而把你的前提用得比你还全。谭姐没说数据不可信，老彭没说现场不重要。一个人要是开口就说“你那一套根本不对”，那是正面交锋，不是这一招。

第二个记号：你一时说不出话，不是因为生气，是因为找不到话反驳。老彭盯着损耗日报，没有说“数字不准”，因为那是他的数字。被这一招打中的人，第一反应常常是愣一下，而不是火冒三丈。火冒三丈，多半是被人揭了短；愣一下，才是被自己的道理顶住了。

第三个记号：它刺中的，是你方案里自己没用到头的那一截。老彭的系统里有损耗日报，他没看；谭姐的现场里有下午三点，她没站。爱因斯坦的理论里有钟在引力场里的快慢，他的盒子没算。这一截，不是你不知道，是你设计的时候没让它进来。

还要分清两样看上去很像、其实不是一回事的东西。

一样是翻原话。“你上个月自己在群里说过……”这是拿对方说过的话打对方，不是拿对方的道理打对方。卷四那对为过年回谁家吵架的夫妻，就是这样一句一句翻，证据越来越硬，屋里的气越来越冷。翻原话，打的是人前后不一；借道理，打的是方案没想全。前一样让人难堪，后一样让事情往前走。

另一样是假借。嘴上说“照你的道理”，其实把对方的道理歪了一点再用。比如有人说“彭主管不是讲数据吗？数据说城南店的客流比去年少了，那就少排人呗”，这是只挑了对自己有利的一个数，不是把数据用全。假借的记号是：对方听了，会说“我不是这个意思”。真借的记号是：对方听了，只能说“是，我没算到这一截”。

◆ 五、怎样用得体面

这一招很锋利，也就容易伤人。用得体面，有四条。

第一条，打方案，不打人。玻尔那天早上拆的是盒子，不是爱因斯坦这个人。谭姐放损耗日报的时候，说的是“这笔钱比省下来的人工还多”，没有说“彭主管你算错了”。把刀口对准事情，对方才有台阶往回走。

第二条，说明刀是从哪里来的。谭姐一开口就说“也是咱们系统里导出来的”，老彭一开口就说“你说现场说了算，我认”。把来处说出来，等于告诉对方：我没有换你的道理，我是认真用了你的道理。玻尔后来一九四九年写长文，把这一回合原原本本讲给后人，讲的正是他怎样用了爱因斯坦的理论。借了别人的钢，就大大方方说是借的。

第三条，给对方留下出下一题的位置。玻尔拆了盒子，没有把门关上，他一直等着爱因斯坦的下一题，一等就是二十多年。谭姐拆了方案，也没有说“那就别统一了”，她留了一句“底可以做”。用对方的道理赢了一回，最好的结果不是对方闭嘴，是对方回去再想一题。

第四条，用完这把刀，回头往自己身上比一比。这一条最难，也最要紧。谭姐用“数据用全了”打老彭，她自己的“现场”用全了没有？两个星期以后，老彭替她回答了：没有。借来的刀，往往也砍得进自己。玻尔用“要把整个仪器算进去”拆了爱因斯坦的盒子，可他自己的学说，有没有把“别的读法”也算进去？卷三第19章讲过，后来的玻姆和埃弗雷特，都被挡在了门外。用对方的道理打对方之前，先问一句：同样的道理，用到我自己身上，是什么样子？

这一问，可以做成一个上会前五分钟的小功课。拿一张纸，左边写“我这个方案用到了哪几样东西”，老彭会写客流、人工；右边写“同一个来处，还有哪几样我没看”，同一个系统里的损耗日报、退货记录、顾客投诉，一样一样列出来。右边那一栏写不出来，不是方案全了，是你还没去翻。谭姐那天能一眼找到损耗日报，就是因为她的右边那一栏，早在硬壳本子里写了七八年。

◆ 六、被人用自己的道理打回来的时候

最后说另一头：要是你是老彭，是那个被自己的道理顶住的人，怎么办？

一种做法是翻脸。“你这是断章取义。”这是把真借当成了假借，也把一次长见识的机会推开了。

一种做法是换题。爱因斯坦在光子盒以后就是这样：据后来的分析，他不再说不确定关系能被打破，换了一个更深的问题去问，问量子力学完不完备，五年后问出了 EPR。换题不丢人，这是认了这一回合，接着往前走。卷四第29章把这叫作“形状改变”：攻的地方换了，这一场吵架的样子就变了。

还有一种做法，是卷四说两个人都缺的那一种：回写。不只是换一个题目接着吵，而是把这一回被打中的地方，写回自己的做法里去。老彭后来做的，就是这一步。他没有只是换个说法再推统一排班，而是把损耗日报放进了自己的方案，每个月看一次。他改的不是这一次会上的答辞，是他自己那套办法的底。

被自己的道理打回来，是一件难得的事。别人拿你的钢打你，等于替你试了一次刀：你的道理，用到头是什么样子，你自己没试过，别人替你试了。那一愣的几秒钟，最好别急着找话还手，先记下来：我的盒子里，哪一截没算进去？

会开完，老彭走出会议室的时候，对谭姐说了一句：“你那张表，发我一份。”

这句话很平常，却比会上任何一句都难说。

小满听老秦讲到这里，笑了：“外公，这一招我天天用。我给开发提问题单，最管用的从来不是说‘我觉得这里不对’，是把他自己写的需求文档翻出来，照他写的条件一步一步走一遍，走到他没想到的那一步，程序就出错了。他没话说，只能改。”

“那他恼不恼你？”

“刚进公司那年恼过。”小满想了想，“后来我学乖了，提单子的时候先写一句‘照需求第几条’，再写‘走到这一步时’。不写‘你没考虑到’。现在他们有新需求，还先拿来让我走一遍。”

老秦点头：“那就是你让人家留了出下一题的位置。”

他又补了一句：“你那个‘走一遍’，就是把人家的盒子称一称。”

> **带走的话**
>
> 用对方的道理打对方，要把它用全，不要把它用歪；打的是方案，不是人。
> 被打回来时，先问自己的盒子里哪一截没算。

> **小账**
>
> 你家里的这场吵架，桌面上争什么？——统一排班省不省钱：一张客流柱状图，一张损耗日报，几张下午三点的照片。
>
> 缝里争什么？——谁的道理用到了头。数据用全了，要算上损耗；现场站全了，要算上下午三点。缝里长出来的，是一张写明“为什么调”的调整表。

◆

38

第 38 章

说清楚与说真话之间

这一章的问题

两位大师在最要紧的一回合都没把最要紧的话写清楚，这件事放到家里、单位里，怎样才能少发生一点？

不妨想象这样一个晚上，这是我构想的场景。

长沙城东一套三室一厅的老房子，住着三个合租的年轻人。八月初，电费单来了，比上个月多出一大截。夜里十一点，三个人的小群里跳出一张截图，是小吴做的“八月水电分摊表”。表有十七列：每个房间空调的开机时长，从智能插座里读出来的；热水器按洗澡次数折算；客厅的灯按“共用系数”平摊；冰箱按各人占的格数分。表底下还有一段备注，六条，每条都是“如果……则……”。

阿杰回了两个字：“收到。”然后转了账，一分不差。

琳琳回：“好的，辛苦啦。”也转了账。

小吴看着两笔到账提醒，心里却不踏实。这个月是这样，上个月也是这样。钱一分不差，可屋里的空气一个月比一个月冷。客厅里没人待了，各回各的房间，关门的声音都比以前轻。

那天夜里一点，阿杰一个人坐在黑着灯的客厅里，手里捏着空调遥控器，按开，又按关。

这个场面值得多看一会儿。一张再清楚不过的表，三笔一分不差的账，和一个半夜不敢开空调的人。

◆ 一、那句被闷住的话，又来了一次

卷四第26章讲过那一回合。一九三五年，爱因斯坦署名的 EPR 论文登出来，他心里是一幅很简单的画面：两个东西分开了，这一边做什么，改不了那一边。印出来的文章，却是一层一层的判定标准和推理，画面被裹在里面。他后来写信给薛定谔，抱怨最要紧的东西被博学闷住了。玻尔那一头，据罗森菲尔德回忆，放下一切去写回应，写出来却以难懂出名：长句套长句，一个限定接一个限定，读的人几十年后还在争他到底说了什么。

两个人都在说真话，都没说清楚。

那一章把这件事放在 SDE 的“信息”那一格里看（E2 信息三模态）：同一个意思，可以用画面和故事说，这叫符号；可以一环扣一环地推，这叫逻辑；可以列式子、算数，这叫数学。两个人最想说的，一个在画面里，一个在“整个实验安排是一件事”那种很难拆开讲的整体感里；可两人交手，几乎全走在逻辑那条路上。路走对了，话却不在路上。

这一章不再讲他们，讲这件事在普通人身上的样子。它比想象的常见。越是认真的人，越是怕吵的人，越容易把一句真话，闷在一张很清楚的表底下。

◆ 二、合租屋里的那张表

先把这三个人的底说出来。这些底，他们谁也没在群里说过。

阿杰是做平面设计的，没有坐班，白天就在自己房间里对着电脑干活。长沙的八月，白天不开空调坐不住人，所以那一大截电费，多半是他的。他自己心里清楚，也愿意多出。可他怕的是另一件事：两个室友早出晚归，他整天在家，他总觉得在别人眼里，自己像一个白天闲着、晚上还要占便宜的人。这份怕，让他半夜捏着遥控器，不敢按。

琳琳在一家幼儿园当老师，年底合同到期，打算回老家去。她不想在最后几个月为几十块钱跟人闹僵，所以不管表上怎么算，她都回“好的”。她的“好的”，不是同意，是不想说。

小吴在一家物流公司做调度，天天跟表格打交道。他做这张十七列的表，不是爱算计。他上一个合租的地方，三个人为了电费吵翻了，最后有人半夜搬走，押金都没要回来。他怕再来一次，于是想：只要算得足够清楚，就没什么好吵的。表上的每一列、每一条备注，都是他给自己砌的一道墙。

三个人都在说真话。阿杰的真话是：我多用了，我多出，但请别把我看成闲人。琳琳的真话是：我快走了，想好好走。小吴的真话是：我怕吵。

可是这三句话，没有一句进了那张表。表里只有数。数越来越清楚，三句话被压得越来越深。

表也在一点一点改变屋里的日子。七月，小吴加了“冰箱格数”那一列，琳琳就把放在冰箱里的一盒酸奶拿回了自己房间。八月，他加了“热水器按洗澡次数折算”，阿杰开始去楼下健身房洗澡。没有人抱怨，每个人都在让自己在表上少占一格。一张为了不吵架而做的表，让三个人连在一起过日子的那点地方，也一格一格地让了出去。

你看，这和一九三五年那一回合是一个形状。小吴那张表，就是 EPR 那一层“博学”：他最想说的是一个画面，“别再像上次那样吵翻”，印出来的却是十七列和六条“如果……则……”。阿杰的“收到”和琳琳的“好的”，就是玻尔那种限定语：每一句都先把可能的误会堵上，堵到最后，自己想说什么也看不出来了。

◆ 三、表越清楚，话越闷

为什么会这样？为什么越认真的人，越容易把真话闷住？

一个原因，是清楚本身成了盔甲。卷四第26章讲过，写论文的时候，一个人面对的是整个学界，他得守住自己写下的那一半，每一句都要经得起挑剔，于是加限定、加推理、加公式，一层一层护住。小吴的表也是这样。每多一列，就少一处能被人挑刺的地方。可盔甲穿得越厚，里面那个人越看不见。

另一个原因，是真话常常是一幅画，而画最难列进表里。“我怕你们把我看成闲人”，这句话列不成一行数字。“我快走了”，也折算不成系数。爱因斯坦心里那两个隔着千山万水的东西，也是一幅画；它进了论文，就只能换成一条一条的判定标准。有些话，天生就不长在逻辑和数学那条路上。

还有一个原因，最容易被忽略：说真话要有一个不设防的地方。爱因斯坦最直白的话，多半写在给朋友的信里，不在论文里。信的对面只坐着一个懂你的人，你不用守，只用说。三个合租的人，只有一个群、一张表、三扇关着的门，没有一个不设防的地方。

这三个原因放在一起，就能明白：真话被闷住，不是因为谁不老实。恰恰是因为三个人都太想做对，太怕做错。

爱因斯坦和玻尔也是这样。两个人都不是含糊的人，一个一生追求清清楚楚的实在，一个一生要求清清楚楚的语言。正因为两人都太在意“清楚”，最要紧的那一回合，才都穿上了最厚的盔甲。

◆ 四、在家里：先说画面，再对数

那么，怎样少发生一点？先说家里，也包括合租、宿舍这种“半个家”。

第一，先说那一幅画，再拿出那张表。吵钱的事，第一句别说数，先说一句“我怕什么”或者“我想要什么”。比如阿杰，第一句要是说“这个月空调多半是我开的，我多出；我就是怕你们觉得我白天在家是闲着”，后面的数，三个人几分钟就对完了。画面在前，数在后，数才有地方落。

第二，给真话找一个不设防的地方。不是群里，不是桌子两头面对面，而是一起做点别的事的时候：一起做饭，一起下楼扔垃圾，一起坐在车上。人肩并肩的时候，比脸对脸的时候，更容易说出那一句。爱因斯坦的真话在信里，家里人的真话，常常在厨房和楼梯上。

第三，一次只说一句。真话最怕被限定语裹住。“我也不是说你们不对，只是有时候，如果从另一个角度看，可能……”这一串说完，要紧的那句已经被埋了。玻尔的难懂，有不少就是这样来的。说真话的时候，句子短一点，先把那一句放出来，要补充的，等对方听见了再补。

第四，请一个“薛定谔”。一九三五年那句没说清的话，后来是由第三个人说清的：两人通信时，爱因斯坦举了一桶会自燃的火药，薛定谔写出了那只猫；薛定谔又在同年公开发表的论文里，给这种“分开了却只能合起来说”的样子正式起了个名字，叫“纠缠”。家里吵不清的时候，有时需要一个旁边的人，不替谁评理，只替这件事起一个名字、打一个比方。一句“你们其实是在争‘谁在家’，不是在争电费”，常常比十七列的表更管用。

设想那个八月底的一个晚上，整栋楼停了电。三个人的手机都快没电了，谁也看不了表。屋里太热，三个人不约而同地搬了凳子到阳台上。黑漆漆的，谁也看不清谁的脸。

阿杰从冰箱里摸出半个还带着凉气的西瓜，拿菜刀切成三块，一人一块。三个人啃着西瓜，吐籽的声音在黑暗里一下一下。

先开口的是琳琳。她说，她年底要回老家了，这几个月想好好过，不想跟谁闹别扭。

阿杰愣了一下，接着说了他那句：空调多半是他开的，他多出，他只是一直怕两个人觉得他白天在家是闲着。

小吴没想到这两句。他沉默了一会儿，说了他上一个合租屋的事，说他做那张表，是怕。

来电以后，那张表还在，只是从十七列减到了三列：电费总数，阿杰多出的一份，剩下的两人平分。表底下那六条备注删了，换成了一行字，是琳琳加的：“有事先在阳台上说。”

这一行字，不是小吴的表，不是阿杰的话，也不是琳琳的“好的”。它是三个人在一个停电的晚上一起长出来的。

怎样知道这一回是真的说开了，不是又换了一种客气？有一个很土的验收：看东西回没回到公共的地方。九月的头一个星期，琳琳那盒酸奶回到了冰箱里，阿杰不再去楼下健身房洗澡，客厅的灯晚上又亮到了十点。表减了十四列，屋里的日子却多出了好几格。真话落了地，最先变的，常常不是账，是这些谁也没提的小事。

◆ 五、在单位里：第一句写大白话

单位里的情形，和合租屋一样，只是那张表换成了报告、方案、会议纪要。越是要紧的事，材料越厚，最要紧的那句话越容易闷在第十几页。这里说几个做法，都能在明天就用。

第一，任何一份汇报，第一句写大白话，写“我最担心的是什么”或者“我最想要的是什么”。数据、流程、依据，放在后面，放在附件。一份报告要是读完第一页，读的人还说不出你到底担心什么，这份报告就是被博学闷住了。

第二，开会讨论一件难事，留一轮“只说一句”。每个人只准说一句话，说自己对这件事最放不下的那一点，不准加“如果”，不准加“当然”。一轮下来，常常能听到平时藏在长句子里的东西。

第三，给难说的事起个名字。一件事说不清的时候，大家都在各自的长句子里绕。有人给它起一个短名字，比如“下午三点问题”“早班那个人”，以后大家一提这个名字，就知道说的是哪一件，不必每次都从头绕一遍。薛定谔那个“纠缠”，就是这样一个名字，它让一句说不清的话，有了一个能被人接着说下去的把手。

第四，材料写完以后，找一个没参与的人读一遍，只问他一个问题：这份东西最想说的是什么？他答出来的，要是和你心里的不一样，那就是闷住了。

这四条里，最好先从第一条做起，因为它不用求别人。明天要交的那份东西，把第一句删了，重写一句“我最担心的是……”，其余一个字不动。交上去，看看回过来的问题，是不是比往常少绕了几圈。

小满读到这一节，把手机里一张截图翻给老秦看。那是她们公司问题单的模板，第一栏叫“一句话描述”，限三十个字，下面才是“复现步骤”“预期结果”“实际结果”“日志附件”。

“我们组长说，一张单子，开发只看第一栏。第一栏写不清，后面附一百张图也没人看。”小满说，“刚来的时候我不服，觉得三十个字怎么写得完。后来发现，写不进三十个字的，多半是我自己还没想清楚到底哪里坏了。”

老秦接过手机看了看，说：“我教书那些年，写期末评语也是这样。前面写一大段‘该生学习态度端正，积极参加集体活动’，家长一眼扫过去，什么也没记

住。后来我改了，第一句只写一件事：这孩子这学期我最放心的是什么，最担心的是什么。家长会上，好几个家长跟我说，就那一句，他们回去琢磨了一个寒假。”

“那后面那一大段呢？”

“照写。”老秦把手机还给她，“那是给教务处存档的，得清楚。第一句是给人看的，得真。”

◆ 六、保底：清楚不能丢

最后要把保底说足。这一章不是说清楚不重要。

玻尔的那条要求，一切实验结果都要用清清楚楚、没有歧义的话报告出来，是对的，今天每一间实验室都照着它写记录。合租屋里的电费，也要算清楚，谁多用了，就该多出，这不是冷，是公道。单位里的数据、流程、依据，更是一样都不能含糊。

要改的只是次序。先真后清：先把那一句真话放出来，让大家知道这件事为什么要紧；再把账算清楚，让这句真话落在实处。只有真话没有清楚，是发牢骚；只有清楚没有真话，就是那张十七列的表。

还有一条界线：真话不是狠话。“你们两个一个比一个抠”，这也是心里话，可它不是真话，它是刀。真话说的是自己怕什么、要什么，不说别人是什么样的人。阿杰那句之所以能让三个人都松下来，是因为他只说了自己。检验一句话是真话还是狠话，看主语就行：主语是“我”，多半是真话；主语是“你们”，多半是刀。

真话也有剂量。一个一向什么都闷着的人，不必一下子把十年的委屈都倒出来；一下子倒得太多，对方接不住，自己也收不回。先说一句，看对方接不接得住；接住了，下次再多说一句。合租屋那一晚，三个人每人只说了一句，就够了。那一句说完，第二天早上，客厅里又有人待了。

爱因斯坦和玻尔，一个的真话闷在博学里，一个的真话绕在限定语里，最后是第三个人的一只猫、一篇论文里的一个名字，替他们把话说清了。普通人不必等那么久。一个停电的晚上，一轮“只说一句”，一个肯先开口的人，就够了。

> **带走的话**
>
> 先说那一幅画，再拿出那张表。真话在前，清楚在后；真话只说自己，不说别人。

> **小账**
>
> 你家里的这场吵架，桌面上争什么？——电费怎么分：一张十七列的表，六条“如果……则……”，两句“收到”“好的”。
>
> 缝里争什么？——三句没说出口的话：别把我看成闲人，我快走了，我怕吵。缝里长出来的，是一行字：“有事先在阳台上说。”

◆

39

第 39 章

两派追随者的天花板

这一章的问题

只学爱因斯坦的人和只学玻尔的人，各会在哪里卡住，卡住以后该怎么办？

不妨想象这样一个下午，这是我构想的场景。

县城北门一栋老单元楼，四楼。七十一岁的老龚坐在厨房的小方桌前，面前摊着两个本子，手里握着一部新手机。手机是儿子过年时买的，屏幕很大，字调到了最大号。

左边那个本子，是外孙浩浩暑假写的，一页纸，七条，字迹工整：“手机有任何问题，照下面七步来：一，关机重启；二，检查网络；三，更新系统……”浩浩走之前反复叮嘱：“外公，只要照这七步，什么问题都能解决。”

右边那个本子，是社区志愿者小邓上课时老龚自己记的，歪歪扭扭，一页一个操作：“交电费：点绿色那个，再点第三个格子，输数字，按指纹。”小邓教得很耐心，只是老龚一问“为什么是第三个格子”，小邓就笑：“龚伯，这个不用懂，您记住点哪里就行。”

这天下午，手机上跳出一条短信：“您的快递因地址不详被退回，请点击以下链接重新填写。”后面跟着一串字母。

老龚把两个本子翻了三遍。左边那七步，没有一步说到短信；右边那几十页，没有一页教过这一条。他手指悬在那串字母上面，点也不是，不点也不是。

这个场面值得多看一会儿。两个本子，都是真心教的，都有用；可两个本子，都停在同一个地方，停在老龚手指悬着的那一寸上面。

◆ 一、传下去，缝就变宽

缝隙读法里有一条，叫“传播中变宽”。大师本人身上的缝最窄，因为他写下一半，还活着另一半；到学生那一代，缝宽一些；到口号、课本、培训课里，常常只剩写下的那一半，另一半丢光了。

爱因斯坦和玻尔，都是这样被传下去的。

爱因斯坦传到今天，剩下的常常是一句“上帝不掷骰子”。可他本人，是第一个把骰子郑重放上桌的人：一九一六到一九一七年，他把原子什么时候放光、往哪边放，交给了“偶然”；他在论文末尾自己标明，这是理论的弱点，但他对这条路有信心。他不认偶然是最后的答案，可他比谁都更早认真对待偶然。这一半，口号里没有。

哥本哈根那一派传到今天，在许多人嘴里剩下的常常是另一句话：“闭嘴，算吧。”这句话常被安到费曼头上，其实是物理学家默敏一九八九年说的，是一句带几分挖苦的俏皮话。它流传开以后，成了许多人心里哥本哈根的全部。可玻尔本人，一辈子都没有闭嘴。他花了三十五年，一题一题地答爱因斯坦，去世前夜的黑板上还留着那只盒子的草图。据说爱因斯坦形容他发表意见时，像一个一直在摸索的人。这一半，口号里也没有。

所以这一章要写的两群人，不是在学爱因斯坦和玻尔，是在学两句口号。老龚手里那两个本子，就是这两句口号在一部手机上的样子。

◆ 二、只学爱因斯坦的人

先写只学了爱因斯坦写下那一半的人。他们学到的，是“世界是定好的，底下有一个大答案，找到它，一切就清楚了”。这是真东西，也是好东西。他们卡住的地方，是碰到一个本来就带着偶然、只能一步一步试的局面。写成一幅群像。

一种人，凡事要找一个总根子。孩子成绩掉了，是手机害的；店里生意差了，是位置不好；单位出了事，是制度不行。一件事只许有一个根。可很多事，是十几个小原因碰巧挤在一起：那几天孩子没睡好，换了个老师，又和同桌闹了别扭。找总根子的人，把一个原因拔掉，别的原因还在，事情照旧；于是他再去找下一个“总根子”，一辈子都在拔。

一种人，要等一个准话才肯动。要不要把乡下的老母亲接进城？他要一个百分之百的答案：接来以后她一定过得好，才接。可这件事没有百分之百，只有“大概会怎样”，接来以后还得一步一步看、一步一步改。等准话的人，常常一直等，等到事情自己替他做了决定。

一种人，一个说法讲到底。“都是命”“都是教育问题”“说到底就是钱”。这种话说起来很痛快，一句话收拾一切，像一个统一场论。可它收拾得越干净，漏掉的越多。他们碰到一件那句话解释不了的事，要么装作没看见，要么把事情削一削，削到合得上那句话为止。

这三种人卡在同一处：他们学到了“不掷骰子”，碰到一个本来就要掷骰子的世界，就不知道怎么办。他们忘了，他们崇拜的那个人，恰恰是最早认真数骰子的人之一。

老龚左边那个本子，就是这种样子。浩浩相信手机的一切问题有一个总办法，七步走完，必定解决。这七步在大多数时候真的管用，是好东西。可那一条短信，不是手机坏了，是世界上有人在骗人。它不在“手机”这个定好的系统里，它是系统外头一次次冒出来、每回样子都不一样的东西。七步走完，短信还在。

◆ 三、只学玻尔的人

再写只学了玻尔写下那一半的人。他们学到的，是“只谈能测的，只管怎么用，别问它本来是什么”。这也是真东西。今天所有的量子技术，都建在“怎么测、怎么算”上面。他们卡住的地方，是碰到一个非问“它到底是什么”不可的局面。也写成一幅群像。

一种人，会用，不会问。流程背得滚瓜烂熟，一步不差；可你问他为什么是这一步，他说“规定就是这样”。平时，他比谁都稳；流程一断，或者来了一件流程里没写的事，他就原地打转。默敏那句俏皮话挖苦的那种“闭嘴，算吧”，就是这样：算得一刻不停，却不知道自己在算的是什么，算到哪里去。这叫空转。

一种人，把“看你怎么问”变成了“什么都不必问”。玻尔说，现象要把仪器算进去，有些问题离开实验安排就没有意思。这是一句很深的话。可传到有些人嘴里，成了挡箭牌：碰到难问题，一句“这个问题没意义”就挡回去。孩子问“人死了去哪儿”，一句“想这些没用”；新人问“这个流程当初为什么这么定”，一句“别想那么多”。问题没被回答，只是被关在了门外。

一种人，对不一样的读法关门。“我们这一派一向是这样讲的”“我们家一向是这样做的”。卷三第19章讲过，玻姆一九五二年、埃弗雷特一九五九年，先后敲过哥本哈根的门，门没开。可被关在门外的问题并没有消失。十几年后，贝尔把玻姆那条路上的问题带了回来，改写成了能在实验台上判输赢的形式，卷五讲过。关门的人以为守住了什么，其实只是让问题换了一扇门进来。

两派的天花板还有一样相同：来得晚，也来得突然。平常日子里，找总根子的人显得有主见，会用不会问的人显得有效率，谁也看不出他们缺什么。天花板要等环境一换才露出来：孩子到了青春期，总根子拔不完了；流程碰上一件从没见过的事，空转就停不下来了。露出来的那一刻，常常就是一个老人手指悬在一串字母上的那一刻。

这三种人卡在同一处：他们学到了“闭嘴，算吧”，碰到一个非开口问不可的时候，就只剩下一句“不影响用”。他们忘了，他们崇拜的那个人，一辈子都在问，问到临终前一天。

老龚右边那个本子，就是这种样子。小邓教的每一个操作都对，一步一步清清楚楚。可她教的是“点哪里”，不教“这是什么”。老龚不知道那个绿色的图标是什么，不知道“第三个格子”为什么是交电费，所以一条从来没见过的短信来了，他分不清它和那个绿色图标是不是一类东西。他问过为什么，被一句“这个不用懂”挡了回去。门关着，骗子却从另一扇门进来了。

◆ 四、老龚的第三个本子

那天下午，老龚最后没有点那串字母。他年轻时在县邮电局当了三十年线务员，爬电线杆、查电话线，班组里有一条老规矩：碰到认不准的线，先别动手，摇电话回局里问。他把那条短信拍了照，发给了浩浩，又发给了小邓。

两个人的回答不一样。浩浩说：“外公，这是诈骗短信，删掉就行，别点。”小邓说：“龚伯，快递的事您直接问送快递的小哥，或者在那个黄色图标里查，别点短信里的链接。”

老龚把两个回答都抄了下来。抄完，他又翻开了一个新本子。

这个新本子，是他自己的。他不再只记“点哪里”，每学一个操作，他在左边画一个图标的样子，右边写一句“这是什么”：绿色那个是“微信，跟人说话的”；黄色那个是“查快递的”；第三个格子是“交电费的，城里供电局的”。画图标，他用的是当年画线路图的那一手：线条横平竖直，旁边标小字。他还专门留了一页，写在最前面，只有三行：

不认识的东西，先别点；　拍下来，发给浩浩或者小邓；　钱的事，打电话问真人。

后来，老龚做了一件两个老师都没想到的事。他把浩浩和小邓约到了一起，在社区的活动室里，请他们俩对着他的第三个本子，一页一页看。浩浩看到“这是什么”那一栏，说：“外公，这一栏比我的七步好。”小邓看到最前面那三行，说：“龚伯，这一页我能拿去给别的老人用吗？”

再后来，每周二下午，社区活动室里多了一张桌子。老龚坐在那里，旁边围着几个当年线务班的老伙计。他教他们的，不是浩浩的七步，也不是小邓的点哪里，是他那个本子：先画一个样子，再说一句这是什么，碰到认不准的，先别动手，打电话问人。

这个本子管不管用，那年冬天验收过一回。一个老伙计接到电话，对方说是“医保局”，要他报银行卡号。他没报，挂了电话，照本子第一页那三行，先打给了自己的女儿。后来才知道，那几天县里好几户老人都接到了同样的电话。老龚那三行字，不比七步复杂，也不比点哪里难记，可它管住的，恰恰是两个老本子都管不着的那一类事。

老龚这个本子，就是一块补丁。它补了浩浩那一边缺的：世界上有系统外头一次次冒出来的东西，没有一个总办法，要认得它、停下来、问人。它补了小邓那一边缺的：光会点不行，得知道点的是什么，问“为什么”不丢人。它不是浩浩的复制品，也不是小邓的复制品。它是一个被两个本子都卡住过的人，自己长出来的。

◆ 五、做补丁，不做复制品

两派追随者的天花板，放在一起看，有一个共同点：学得越像口号，离大师本人越远。只学“不掷骰子”的人，离那个最早数骰子的爱因斯坦最远；只学“闭嘴，算吧”的人，离那个一辈子没闭嘴的玻尔最远。

所以学他们，要照缝隙读法那句老话：**做补丁，不做复制品**。大师的理论缺哪一格，你就在那一格上多下功夫。

学爱因斯坦的人，要补三样。一是读骰子：碰到一件事说不准，不急着找总根子，先记下来，一回一回地数，看它大概怎样。二是认涨落：给自己留一个只记不判的本子，专记那些对不上的小事。三是把自己放进去：看一件事，别只站在事外，也站进当事人那一刻看一遍，再和站在别处的人对一对。这三样，爱因斯坦年轻时都做过，只是没写进他后来的信条里。

学玻尔的人，也要补三样。一是开口问：碰到“这个问题没意义”的时候，先别急着认，问一句：是真的没意义，还是我们还没找到问法？二是留门：定下一种做法以后，给门外那种说法留一个回头看的时间，半年一回也好。三是造地：一群人要能说到一起，先得有一张让他们坐到一起的桌子。这三样，玻尔身上都有：他对爱因斯坦开了三十五年的门，他为一群年轻人造了一栋楼。只是他的学派后来没学去。

补丁也要按剂量打。一个一向要准话的人，不必明天就学会拥抱一切不确定；先从每天记一件“说不准的小事”开始，一个月以后再说。一个一向只管怎么用的人，也不必一下子去追问所有“为什么”；先挑一件天天做的事，问一回它为什么是这样。每次只比能扛的多一点点，身边最好有一个人托着，像老龚身边有浩浩和小邓。

要是你是教的那一方，像浩浩，像小邓，也有一个现成的补法：每教一个“怎么做”，配一句“这是什么”；每给一个总办法，配一句“它管不到哪里”。浩浩那七步后面，只要多写一行“短信、电话、链接，不归这七步管，先问人”；小邓每教一个图标，只要多说一句“这个是查快递的”，老龚那天下午的手指，就不会悬在那一寸上。

还有一层，是这本书特有的。两派的补丁，恰好在对方身上。只学爱因斯坦的人缺的“一次次说不准、要看怎么问”，正是玻尔写下的；只学玻尔的人缺的“它本来到底是什么”，正是爱因斯坦问了一辈子的。两个人吵了三十五年，其实一直在替对方的追随者备补丁。老龚那个本子，也是这样来的：浩浩那一边缺的，小邓

那边有一点；小邓那一边缺的，浩浩那边有一点；可两个本子各在各的手里，一直等到有人把它们摊在同一张桌上，第三个本子才长出来。

卷五讲过的那些后来人，玻姆、贝尔、做实验的一代又一代人，都是在两派之间打补丁的人。纠缠这个东西，就是从那些补丁里一块一块长大的。

小满听完老龚的故事，想了想说：“外公，您当了三十四年物理老师，您是学爱因斯坦的，还是学玻尔的？”

老秦笑了：“我教课本，课本里是爱因斯坦输了、玻尔赢了。我改作业，改的都是学生一次次说不准的错。你说我是哪一派？”

“两派都是？”

“两派都不是。”老秦说，“我是那个本子还没写完的人。”

> **带走的话**
>
> 只学“不掷骰子”，碰到偶然就慌；只学“闭嘴，算吧”，碰到非问不可就空转。做补丁，补的常常就在对方身上。

> **小账**
>
> 你家里的这场吵架，桌面上争什么？——老人学手机，听外孙的七步，还是听志愿者的点哪里。
>
> 缝里争什么？——世界是一个总办法管得住的，还是只管怎么用、别问是什么。两个本子都卡在一条诈骗短信上；缝里长出来的，是老龚自己的第三个本子。

◆

40

第 40 章

读你自己：你嘴上站哪一边，身上活在哪一边

这一章的问题

读了两位大师三十五年的缝，这面镜子转过来，照见的是你身上的哪一道缝？

不妨想象这样一个秋天的上午，这是我构想的场景。

县城老街口，一棵老梧桐底下，是蒋师傅的修鞋摊。一张旧木桌，一台手摇补鞋机，一只铁鞋拐，一把小马扎。蒋师傅六十出头，在这个街口摆了三十多年。

一个穿西装的年轻人蹲在摊前等鞋跟，闲着没事，问他：“蒋师傅，您这手艺，靠什么练出来的？”

蒋师傅头也没抬，手里的锥子一上一下：“靠一个字，稳。一针一线，规规矩矩，几十年一个样。手艺这东西，变不得。”

年轻人点点头。他没留意的是，就在蒋师傅说“变不得”的时候，桌角挂着一串配好的钥匙，桌底下塞着一卷各种颜色的拉链，脚边立着一只拆了轮子的拉杆箱，身后的墙上钉着一块硬纸板，上面密密麻麻写着十几个电话号码，旁边是三个别人寄存在他这里的快递。

这个场面值得多看一会儿。嘴上是“几十年一个样”，桌上摆着的，是一个一直在变的摊子。

◆ 一、镜子转过来

前面五卷，读的是两位大师。爱因斯坦嘴上是一个不掷骰子的世界，身上活着第一个放上桌的那颗骰子；玻尔嘴上是两样都要，身上活着一次只认一样。读到这里，很容易生出一种看戏的心情：大师也不过如此。

这一章要把这种心情收起来。缝隙读法最后一步，是把镜子转过来，照自己。

每个人心里都有一套“我是靠什么走到今天的”说法。它不一定写成书，可它一样会被说出来，被拿来教孩子、带徒弟、在饭桌上下结论。蒋师傅那句“靠一个稳字”，就是他的理论。这套说法和大师的理论一样，多半只抓住了一个视角；而说这话的人，和大师一样，活在不止一个视角里。

普通人也有缝。而且普通人的缝，和大师的缝，形状是一样的。

照这本书读出来的两道缝，普通人身上最常见的，大概有四种样子。一种是说靠规矩，其实靠一次次随机应变：嘴上是一个定好的世界，身上是一回回说不准的事。一种是说“都有道理”，其实一次只认一样：嘴上两样都要，家里的事却总是一个人拍板。一种是说靠自己看得准，其实靠跟人对表：嘴上站在事外，身上是一群可以随时打电话问一声的人。一种是说靠把道理讲清楚，其实靠某一回说出口的一句真话：嘴上是清楚，身上是那一幅画。

这四种，前两种是爱因斯坦和玻尔各自的主缝，后两种是两人都有的那一格。你身上是哪一种，也可能不止一种。

照这面镜子，还有一个更实在的理由：你身上的缝，会原样传下去。你传给孩子、徒弟、下属的，是你嘴上那一半。你活过的那一半，他们看不见，也就学不去。第39章讲的两派追随者，就是这样来的。

◆ 二、四问：本书的版本

缝隙读法原来有四问，用来读自己。放到这本书里，改成下面四问，每一问都接着前面讲过的东西。

一问：你嘴上站哪一边?

你那套“我靠什么走到今天”的说法，更像哪一边？一边是爱因斯坦那一边：世界有一个定好的样子，有一个大答案，照着做就对，一丝不乱，你看不看它都在。一边是玻尔那一边：事情没有一个定好的样子，要看怎么问，两样都要，谁也别把话说死。再细一点，问问它落在哪一格：你信的是一整片，还是一颗一颗；是秩序，还是一次次的说不准；是站在事外看，还是钻进事里看；是说清楚，还是那一幅画。

二问：你身上活在哪一边?

回头看最难的那几年，你真正是靠什么熬过来的？不是你后来怎么讲的，是你那时候每天在干什么。很多人会发现，自己嘴上站的那一边，并不是自己熬过来的那一边。

三问：你吵架时手里那把刀，是从哪一半来的?

想一场你最近吵过的架。你手里最硬的那句话，是从你嘴上那一半来的，还是从你身上那一半来的？对方那句最刺你的话，又刺在你哪一半上？全书讲了三十五年的交叉：每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。你家里的吵架，多半也是这个形状。

四问：吵过以后，你回写过没有?

这是这本书加上去的一问。一场吵架吵完，你有没有把从对方那里学到的东西，写回自己的做法里？你传给孩子、徒弟、下属的，是你嘴上那一半，还是连同

你吵过、被驳过、改过的那一回？爱因斯坦和玻尔前两拍都做得极好，只差这一拍。普通人最常缺的，也是这一拍。

◆ 三、修鞋摊前的镜子

拿这四问，照一照蒋师傅。

一问，他嘴上站哪一边？站爱因斯坦那一边。“一个稳字”“几十年一个样”“手艺变不得”。这是一个定型的世界，一个大答案，一套一丝不乱的规矩。他信的是秩序。

二问，他身上活在哪一边？他最难的那几年，是十来年前。那时街上的鞋越来越便宜，坏了就扔，没人修了。老街上原来有四个修鞋摊，两年里收了三个。蒋师傅熬了过来，靠的不是“稳”。他靠的是来什么接什么：有人来配钥匙，他去学了配钥匙；有人拉链坏了，他跟对面改衣服的刘姐磨了半个月，学会了换拉链；后来拉杆箱多了，他又学会了换轮子。

这些活，每一样都是一次次冒出来、事先谁也说不准的，像一颗一颗的光，像一回一回的涨落。他还靠一样东西：那块写满电话的硬纸板。街坊出门，把钥匙寄存在他这里；快递员送货没人，把包裹放在他这里；谁家老人找不到回家的路，也有人领到他的摊前来。三十年，他成了这条街的一个落脚点。这是他脚下那片地。

所以，他嘴上站爱因斯坦那一边，身上活在另一边：涨落，一颗一颗，还有一片街坊的地。缝就在这里。

三问，他吵架时手里那把刀，是从哪一半来的？去年，在长沙工作的儿子回来，劝他在手机上开个“上门取修”：街坊在手机上下单，他收了鞋修好再送回去。蒋师傅一口回绝：“手艺人不搞那些花样，手艺要稳。”这是他拿嘴上那一半，去打儿子的新办法。

儿子也有一把刀。他说：“爸，你哪年不在变？钥匙是你后来学的，拉链是你后来学的，轮子也是。你这个摊子，就是一直在变才活下来的。”这把刀，钢是从哪里来的？是从蒋师傅自己活过的那一半来的。儿子拿父亲身上的那一半，去打父亲嘴上的那一半。而儿子自己，嘴上讲“变”，其实他劝父亲开的这个新办法，靠的恰恰是父亲三十年攒下的那片地：没有那块硬纸板上的街坊，手机上谁来下单？

交叉的刀，在一个修鞋摊前也照样交叉。

四问，他回写过没有？没有。三十年里他学了那么多新活，可每一样学会以后，他都把它归进了“手艺”两个字里，从来不说“我是靠变过来的”。他教过一个徒弟，教的全是“稳”：鞋底怎么钉，针脚怎么走。徒弟手艺学得很好，后来自己出去摆摊，没两年就收了。徒弟不会配钥匙，不会换拉链，也没有那一块硬纸板。蒋师傅传下去的，只有写下的那一半。

设想后来的事是这样的。那天吵完，蒋师傅一个人在摊前坐了很久。第二天，他找了一块新的硬纸板，用毛笔写了一块新招牌，挂在梧桐树上。原来的招牌只有两个字：“修鞋”。新招牌是一行：“修鞋　配钥匙　换拉链　修箱轮　代收”。

他跟儿子说，手机上那个，先开一天试试，每个星期二。

第一个星期二，手机上来了七单。儿子后来翻了翻，七单里有五单，下单的人就在那块硬纸板上：寄存过钥匙的，代收过快递的，还有一个是当年被领到摊前的那位老人的女儿。新办法跑起来，靠的还是那片老地。这也算一次验收：儿子的“变”和父亲的“地”，缺了哪一样，这七单都来不了。

那年冬天，他还给当年那个徒弟打了个电话。徒弟如今在一家工厂上班。蒋师傅在电话里没讲手艺，讲的是配钥匙的那台机器怎么调，拉链的齿怎么对，还有那块硬纸板是怎么一个号码一个号码攒起来的。他说：“这些，当年没教你。不是不想教，是我自己都没当它是本事。”

这块新招牌，就是回写。他把自己活过的那一半，写回了自己的摊子上，写给了下一个来的人看。它不是儿子的办法，也不是他的“一个稳字”，是两个人吵过一架以后，从缝里长出来的。

◆ 四、张力的剂量：家里、单位、自己

照完镜子，下一步是补。补，不是一下子把自己翻过来；缝隙读法有一条原则：难要按剂量给，每次只比能扛的多一点点，身边始终有人托底。这本书再加一条：每补一剂，回写一行。

下面这张表，按这本书读出来的两道缝来设计。嘴上站爱因斯坦一边的人，缺的是骰子、涨落、把自己放进去；嘴上站玻尔一边的人，缺的是开口问、给门外留口子、当面问一次。先用四问判断自己嘴上站在哪一边，再取对应的那一栏。

	嘴上站爱因斯坦一边（信一个定好的答案）	嘴上站玻尔一边（信两样都要、看怎么问）
家里	在饭桌边放一只“骰子罐”：一家人把这一周碰巧遇上的好事坏事写成小纸条丢进去，周末倒出来念一念，只念不评	凡是替一个不在场的家人做的决定，每月挑一件，当面换个问法再问他一次，像邹家姐弟问“那天最想看见谁”
单位	方案上会之前，请一位和你意见相反的同事，拿你自己的数据、你自己的道理，把方案“称一称”，给他十分钟	在最常用的那份流程后面加一栏“这一步为什么”，让新来的人去问、去填；填不出来的那一行，就是该开门的地方
自己	每周挑一件让你看不惯的事，先想象自己就是当事人，照他的处境讲一遍，再找一个站在别处的人对一对	每月挑一个你曾说过“想这个没意义”的问题，把它写下来，试着换一种问法，写满半页纸

表里每一格，都是一剂，不是一整套疗程。一次只取一格。家里那一剂做满一个月，再换单位那一剂。站在哪一边拿不准的人，可以两栏各取一格，轮着来。

回头看蒋师傅，他那天吵完一个人在摊前坐了很久，做的其实就是表里的一剂。他嘴上站爱因斯坦一边，该取的是“自己”那一格：挑一件看不惯的事，站到当事人的处境里讲一遍。他最看不惯的，就是儿子那个“上门取修”。照儿子的处境讲一遍：在长沙上班，一年回来几趟，看着老街上的摊子一个一个收，怕的是哪

天父亲这一个也收了。这一遍讲下来，“花样”两个字就不那么好出口了。他也只做了这一剂：先开一个星期二，没有一下子去学开网店。

两栏底下，还有一剂是共用的，也是最要紧的，就是回写。每做完一剂，在自己的本子上写一行：这一回，我从对面那一边学到了什么，下一回起步，我要改哪里。一行就够。蒋师傅那块新招牌，就是这样一行。爱因斯坦和玻尔三十五年里缺的，也是这样一行。

剂量过了头，也有记号。一剂做下来，要是一家人开始躲着那只骰子罐，同事开始怕被请去“称一称”，那就是给多了。退回一步，把一个月一次改成两个月一次，或者换一格更轻的。剂量是试出来的，不是算出来的，这本身就是一次次说不准的事，正好拿来练。

还要说一句托底。剂量设计的前提，是身边有人接着。骰子罐要一家人一起丢纸条，“称一称”要有一个肯出力的同事，当面再问一次要有一个肯答的家人。一个人硬扛着补缝，扛不了多久。补缝本身，也是一件要两个人一起做的事。

◆ 五、两个提醒

最后，照镜子有两个提醒。

第一个提醒：先照自己，再照别人。这四问最容易被拿去照别人：“你看你，嘴上说一套，身上活一套。”这样用，四问就成了四把刀。前面第36章说过，缝是拿来听懂的，不是拿来揭的。照别人之前，先把自己照一遍；照完自己，多半就不急着去照别人了。

第二个提醒：照出缝来，不是照出毛病来。嘴上和身上不一样，不是虚伪，是理论天生的样子：能教的写成了道理，只能遇到的留在了日子里。蒋师傅说“一个稳字”，不是骗那个年轻人，是他真这么信；他的稳也是真的，三十年的针脚一针不歪。缝隙读法要的，不是让人丢掉嘴上那一半，而是把身上那一半也认下来。

还有一句公道话。照了四问，也可能照不出缝：有的人嘴上说的，正是他身上活的。那也很好。只是在下这个结论之前，照判读纪律，先问自己一句：是真的没有，还是还没查到？有一个查法：把最难那几年的一个星期，一天一天写下来，每天干了什么、找过谁、靠什么撑过去。写完再对一对你嘴上那套说法。对得上，那是真没有缝；对不上的那几天，就是还没查到的地方。

小满听完，转头问老秦：“外公，那您自己呢？”

老秦想了一会儿：“我嘴上一直说，教书靠备课，一课一课备扎实了，就教得好。”

“那您身上呢？”

“刚教书那几年，最难。”老秦慢慢说，“我备得再扎实，学生一问，我还是答不上来。后来能熬过来，靠的是两样。一样是学生问倒我，我回去查，查完第二天再讲，讲着讲着就懂了。一样是教研组的老张，跟我吵了二十年，他说东，我偏说西，吵完了，我们俩的课都比原来好。”

“那您回写过没有？”

老秦笑了，从抽屉里拿出一本发黄的备课本，翻到最后几页。那几页不是教案，是一行一行的小字：哪年哪月，哪个学生问了什么，自己当时怎么答错了，后来怎么改的。

“这几页，”他说，“我从来没给别人看过。”

> **带走的话**
>
> 你嘴上站的那一边，未必是你熬过来的那一边。照镜子先照自己，补缝一次一剂，每补一剂，回写一行。

> **小账**
>
> 你家里的这场吵架，桌面上争什么？——修鞋摊要不要在手机上接单：一句“手艺人不搞花样”，一句“爸你哪年不在变”。
>
> 缝里争什么？——嘴上的“一个稳字”和身上三十年的“来什么接什么”。缝里长出来的，是一块新招牌，和每个星期二。

◆

结 语

两块黑板

这一章的问题

读完六卷，那句判词压着的五条判决，哪条站得住，哪条要收窄，缝里又还剩什么没算？

不妨想象这样一个晚上，这是我构想的场景。

湘中那个县城，老教师宿舍一楼的活动室里，摆着几张拼起来的旧课桌。宿舍的读书会，一个月聚一次，这一回读的就是这本书，读到了最后一回。来了九个人，多半是退休的老师，还有两三个周末回来的年轻人，小满坐在外公旁边。

老秦站起来，走到墙上那块小黑板前，拿起一支粉笔。他在黑板左半边写了一行字：“一九五五年四月，普林斯顿。”底下随手画了几道横线，代表一行一行没擦掉的算式。又在右半边写：“一九六二年十一月，哥本哈根。”底下画了一只方盒子，盒壁上开一扇小门，盒子挂在一杆秤上。

画完，他把粉笔放下，对大家说：“这本书是从这两块黑板开始的，今天也从这里收。”

这个场面值得多看一会儿。一块小黑板，左边是一个人没写完的自己，右边是另一个人到最后还留在黑板上的对方。

◆ 一、两块黑板，再看一次

导论讲过这两块黑板。

一九五五年四月十八日，爱因斯坦在普林斯顿去世。他办公室那块黑板的照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张，上面是没擦掉的算式。一般认为，那是他追了三十年的统一场论的一部分：一片场，几条方程，没有观察者，没有偶然。

一九六二年十一月十八日，玻尔在哥本哈根去世。前一天，他还在接受库恩等人的访谈。据记载，去世前夜，黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦一九三〇年的光子盒；为什么画、画给谁，没有留下记载。

两块黑板中间，其实还夹着一本书。一九四九年，席尔普编《爱因斯坦：哲学家—科学家》，玻尔写了一篇长文，把两人二十多年的交锋一回合一回合重讲一遍；爱因斯坦在书末写《答评论》，回应了他，立场没有变。两个人在同一本书里，各写各的，一个讲争论的历史，一个讲自己的立场。争论被记得很完整，却没有改动任何一个人。那本书，像是两块黑板之间的一张草稿纸。

导论第一次看这两块黑板，看出的是：一个在写自己，一个在画对方。读完六卷，再看一次，能看出更多一点东西。

爱因斯坦的黑板上，写的是他写下的那一半。场，秩序，事外，方程。他活过的那一半，一颗一颗的光、水里乱蹦的颗粒、一九一七年交给偶然的那一跳、追着光跑的那个少年、向老同学格罗斯曼借来的数学，一样都不在黑板上。黑板没写完，是因为他要用写下的那一半，去收回他活过的那一半，收了三十年，没收回来。

玻尔的黑板上，留着对方出的题。为什么画、画给谁，没有记载；能看见的只是，那道题到最后还在他的黑板上。可黑板上看不出他自己那套“互补”的框架有

什么改动。三十五年里，他的答辞一次比一次讲究，框架一直是一九二七年立下的那一个。他画对方的题，画了一辈子，却没有把对方的问题写进自己的土里。

还有一样东西，两块黑板上都没有：纠缠。它不在爱因斯坦那边：他拿它来证明量子力学没说完，可他盼的答案后来被实验判了负。它也不在玻尔那边：他拿它来说明量子力学并没有漏掉什么，却没有给它起名字。它的名字，是一九三五年薛定谔在两人争论的缝里起的；把它写成能拿实验去判的形式，是一九六四年的贝尔；把它在实验台上一次次做出来，是后来一代又一代做实验的人；二〇二二年的诺贝尔物理学奖，就发给了其中的三位。

纠缠长在第三块黑板上。那块黑板，不属于他们两个人中的任何一个。

◆ 二、判词，第四次

这本书有一句判词，在前言、导读、卷四出现过。这是第四次，一字不改：

> **桌面上，他们争的是上帝掷不掷骰子；缝隙里，每个人都拿自己写下的那一半，去打对方活过的那一半，而那一半，自己也活过。争了三十五年，缝里长出来的第三样东西叫“纠缠”：它不是谁的发现，是两个人一起的发生。**

这句判词压着五条判决。书写完了，要照规矩把五条一条一条验收：哪条站得住，哪条要收窄，哪条最弱。照实写，不护短。

◆ 三、五条判决，逐条验收，再报推翻条件的账

第一条：表面之争没有一个总赢家。

站得住。桌面上的四道题，卷一第 8 章和卷五算过账：远处的两个东西各有各的样子、互不牵动，这种“定域实在”被实验一次比一次干净地判了负，这一题爱因斯坦方输了；“量子力学已经说全了”，没有被证明，玻尔方没赢；世界在最底下掷不掷骰子，至今悬着，玻姆那一类理论是决定论的，只是它们得付出“非定域”的代价；看一眼到底意味着什么，也就是测量问题，两人都没解决，今天的哥本哈根、玻姆、多世界等几种读法，各有道理，谁也没说服谁。这条判决要记一个时间：它说的是到今天为止。哪一天，实验或理论把决定论或测量问题判下来了，这一条就要重写。

第二条：爱因斯坦的缝在秩序与涨落之间。

站得住，是五条里最稳的一条。理论这一头，他一生守着一个严格因果、一丝不乱的世界，从一九二六年“他不掷骰子”那封信，到一九四九年《答评论》说量子力学只管一大群的统计、不是单个东西的完整样子，再到一九五一年给贝索的信里说五十年没想明白光量子是什么，他没有松过口。

人生这一头，他成名的那几件活，布朗运动、辐射里的忽高忽低、一九一七年的“偶然”、一九二四年接过玻色的数法，全都长在涨落和统计里。要补一句公道话：这道缝不是他看不见。一九一七年，他自己就在论文末尾把“偶然”标成了理论的弱点。他看得见，只是押了另一边。这一句不收窄判决，只让判决更公道。

第三条：玻尔的缝在互补与关门之间。

站得住，但要收窄两处。

一处是年份。“前半生只认波”，准确地说，是从一九一三年原子模型到一九二五年实验判负 BKS 的十几年；“二十年”只能指整场光量子之争从一九〇五年到一九二七年的跨度。一九二五年以后，他认了能量在每一次碰撞里都守恒。

另一处是“关门”是谁关的。一九五二年玻姆、一九五九年埃弗雷特，敲过门，门没开，这是有记载的；对他们说话最不客气的，多出自哥本哈根一方的其他人，罗森菲尔德尤甚。玻尔本人对玻姆说过什么，本书没有查实。所以这一条的准确说法是：他的学派对别的读法关了门，他本人没有为它们开门。还要记上一笔：一九二五年他从只要波走到两样都要，这是他一生确实回写过的一次，只是发生在和爱因斯坦真正交手之前。

第四条：缝隙之争是交叉的。

要收窄。卷四第 23 章自己查过一遍：六处交锋里，光子盒、一九二六年海森堡那句话、一九一六到一九一七年的偶然、一九二四年的换位，四处交叉得比较干净；一九二七年索尔维和 EPR 两处，爱因斯坦一边是交叉的，玻尔一边只算半交叉，他那几回用的，多半是他写下的不确定关系和“仪器也要算进去”，不是他活过而没写下的东西。所以这一条在爱因斯坦一边站得很稳，在玻尔一边站得住大半。准确的说法是：缝隙之争大体是交叉的，爱因斯坦的刀几乎都来自他活过的那一半，玻尔的刀多半如此。

第五条：没有结局是因为缺回写。

这是五条里最弱的一条。弱在三处。

一是它的证据，大半是“没有”：没有查到爱因斯坦晚年承认统计可以是根本的，没有查到玻尔晚年给别的读法留过门。照判读纪律，没查到不等于没发生。这条判决站在“到目前查到的材料为止”上面，比前四条都更怕新材料。

二是“回写”这个词，是本书的读法，不是史书上的事实。前四条，都能落到一封信、一篇论文、一次实验上；这一条说的是两个人没有做什么，它更像一种读法，而不是一个判决。读法可以有用，但不能说得比证据更满。

三是没有结局，还有别的原因。桌面上那几道题，在一九六四年贝尔之前，本来就没有实验能判；就算两人都回写了，量子力学的读法之争，多半也不会在他们手里了结。缺回写，说明的是为什么两个人都没有被这场争论改变，不是说只要回写了，争论就会有结局。

所以这一条要这样读：它说的是缝里的账，不是桌面上的账。桌面上的账，后来由实验替他们算了一部分；缝里的账，他们都没有自己算。后半句，“纠缠是争论本身的发生物，不属于任何一方”，倒是站得住的：名字是薛定谔起的，形式是贝尔写的，实验是后来的人做的，这件事每一步都有记载。

五条放在一起：第一、二条站得住，第三、四条要收窄，第五条最弱。

这样定级，理由在证据的样子上，不在哪条说得漂亮。第二条最稳，是因为缝的两头都有他亲笔：一头是给玻恩、给贝索的信和《答评论》，一头是一九〇五、一九一七、一九二四年的论文，白纸黑字，谁也改不动。第一条站得住，靠的是今天物理学界的共识，共识会变，所以它记着时间。第三、四条要收窄，是因为它们的一头落在“关门的是谁”“刀是不是活过的那一半”上，这两样都要靠读，读法一细，话就得收。第五条最弱，是因为它一头落在“没有”上。证据越是白纸黑字，判决越稳；越要靠读、靠“没查到”，判决越要说得轻。

验收完五条，还要报另一笔账。这本书开写之前，给判决立过推翻条件。书写完了，一条一条对一遍。

第一个条件：要是有可靠史料显示，玻尔在一九二〇年代初就接受了光量子的实在，第三条的“前半生只认波”要收窄。到本书查到的材料为止，没有触发：一九二二年诺贝尔讲演他仍然否定光量子，一九二四年 BKS 他宁可让守恒松开，也

不要光子。卷三用到的一则说他劝阻克拉默斯用光子的故事，来源只有一处，本书没有让它承重。

第二个条件：要是有可靠史料显示，爱因斯坦晚年明确承认统计的描述可以是根本的，第二条要收窄。到本书查到的材料为止，没有触发：一九四九年的《答评论》、一九五一年给贝索的信，都朝相反的方向。

第三个条件：要是有人找到同样多的“没有交叉”的关键回合，第四条改为“部分交叉”。这一条本书自己先触发了一半：两处半交叉，已经把第四条改成了“大体交叉，玻尔一边站得住大半”。还没有到“部分交叉”那一步。

判读纪律再说一次，是王德生立的：没查到，不等于没发生；说“从来没有”之前，先问是真没有，还是没查到。书里标了“据记载”“据某某回忆”“常被归到他名下”的地方，都交给了独立的核查环节，核出来有出入的，照改，不护短。

◆ 四、差的那一步

还有一层，前面卷四第 29 章、卷五第 35 章讲过，这里收一句。先交代清楚：这一层是本书用 SDE 对两人做的读法，属于初判，作者还会再推敲。

爱因斯坦的姿态，是彻底的“发现”：世界在看之前就定好了，物理学去把它找出来，看的人只是来来去去的证人。玻尔往前走了一步：现象要把仪器算进去，看的一方已经在现象里了。可他走到仪器口，就停在了“不能这样问”那里。两个人停的地方不同，却都有一样东西被当成了事先定好、不会被改写的：一个是定好的世界，一个是定好的说法。所以第 35 章说，这是发现学的两种姿态。

两个人都没有走到下一步：长出来的样子、走出来的路、脚下那片地，三样一起长，哪一样都不能单独拿出来当起点（显露 S、差异 D、特征纠缠 E，三者互生）。照这个读法，看的人、看的路、被看的东西，是一起发生的。

有意思的是，两个人自己没走的那一步，被他们的争论走了。纠缠不是等在那里被发现的石头，是两股水汇到一起才有的漩涡。这也是判词最后那半句的意思：它不是谁的发现，是两个人一起的发生。

◆ 五、随身三问，再说一次

那天晚上的读书会，本来是要收尾的，结果又吵了起来。

退休的数学老师老周，就是常跟老秦下棋的那一位，拍着书说：“这本书写得太客气。爱因斯坦就是输了，实验都判了，还讲什么缝。”

退休的语文老师刘老师不同意：“书里说得清楚，他输的只是一条，玻尔也没赢。你这是只看桌面。”

两个人你一句我一句。小满在旁边听着，忽然笑了，举手说：“周爷爷，刘奶奶，我替你们问三个问题行不行？”

一问，你们桌面上争的是什么？争的是这本书对爱因斯坦公不公道。

二问，你们手里那把刀，是从哪里来的？

这一问，小满说她不替两位答。书里第 36 章说过，刀的来处，只在心里问，问自己。

活动室里静了一会儿。先开口的是老周。他说：“我手里那把，是‘对就是对，错就是错’，教了一辈子数学，嘴上一向这么说。可我跟老秦下了二十年棋，每一盘输了，都要摆回去复盘，复盘的时候，我嘴里说得最多的一句，是‘这一步当时也不算错’。”大家都笑了。

刘老师也笑，说：“那我也交代。我嘴上说不能只看输赢，可我当年带毕业班，最盯的就是升学率，一分一分地抠。”

三问，这场吵架停下来以后，缝里长出了什么？

这一问，小满也没有替他们答。又静了一会儿，还是老周先开口，说：“要不下个月，我们不读新书了。每个人带一场自己家里的吵架来，照这三问过一遍。”

刘老师说：“我第一个带。”

这是那天晚上缝里长出来的东西：一个新的读书会题目。它不是老周的，也不是刘老师的。

这三问，是这本书送给读者的，最后再说一次：

一问，他桌面上争的是什么？

二问，他手里那把刀，是从谁那里来的？

三问，这场吵架停下来以后，缝里长出了什么？

◆ 六、先活在缝隙里

这本书用的读法，来自第 166 号《生活在缝隙和悖论中的大师》。那本书的判词说，大师教的是他写下的那一半，靠的是他活过而没写下的那一半；他不是走出了理论的缝隙，而是先活在缝隙里，理论是后来才从缝隙里长出来的。

读完爱因斯坦和玻尔，可以接着这句话，再说一句。

两个人先活在各自的缝里：一个活在自己不认的涨落里，一个活在自己不说的只认一样里。然后他们吵了三十五年。吵的时候，两道缝撞在一起，每个人都拿自己写下的那一半，打对方活过的那一半。吵到最后，谁也没有回头，可缝里还是长出了东西。

一场好的吵架也是这样。它不是先有了答案再去吵，而是先吵到缝里，答案是后来才从缝里长出来的。长出来的东西，不属于吵架的任何一方。

卷六的几场吵架，都是这个样子。邹家姐弟吵出了一张全家福，超市例会吵出了一张调整表，合租屋吵出了一行“有事先在阳台上说”，老龚卡在两个本子中

间，卡出了第三个本子，修鞋摊前吵出了一块新招牌。没有一样是吵架的人事先想好的，也没有一样属于吵赢的那一方。它们都要两样东西才长得出来：一是真吵到了缝里，不停在桌面上；二是吵完了，有人回头，把吵出来的东西写回自己的日子里。

爱因斯坦和玻尔做到了第一样，做得比谁都好，三十五年，每一刀都砍在真东西上。第二样，他们没有做，是后来的人替他们做的。普通人家里的吵架，没有贝尔，也没有一代一代的实验物理学家来接手。缝里长出的东西，只能靠吵架的人自己回头去接住。

所以，你家里也有两块黑板。一块写着你嘴上的那一半，一块画着你一直在答的、对方的那道题。别急着擦。先认下两块都是真的，再在中间留一块地方。

那天读书会散了，老秦最后一个走。他站在黑板前看了一会儿，没有擦。他拿起粉笔，在左边那几道横线和右边那只盒子中间，画了两条弯弯的线，从两边伸出来，在中间绕到一起。

小满问：“外公，这是什么？”

老秦把粉笔放回槽里：“第三块黑板。”

> **带走的话**
>
> 桌面上看谁对谁错，缝里看刀从哪里来。先活在缝里，别急着走出去；新东西，是从缝里长出来的，不属于任何一方。

参 考 书 目

本书目只收正文与各卷核查中实际用到、并且确实存在的来源。外文文献照原文著录，正文里用过中文译名的，在方括号里附上。书信类来源按收信时间归在所属书信集下，不逐封另列。维基百科、维基语录、社交媒体、论坛、个人博客与一般新闻网站不列入书目；正文有几处曾依赖这类来源核查，都登记在附录五“失效户”里，注明“仅有网络二手来源”。

一　原始文献与书信

爱因斯坦

1. Einstein, A., “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”, *Annalen der Physik* 17 (1905), 132–148.〔光量子，光电效应〕
2. Einstein, A., “Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen”, *Annalen der Physik* 17 (1905), 549–560.〔布朗运动〕
3. Einstein, A., “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik* 17 (1905), 891–921.〔狭义相对论〕
4. Einstein, A., “Über die Entwickelung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung”, *Physikalische Zeitschrift* 10 (1909), 817–825.〔萨尔茨堡报告〕
5. Einstein, A. & Grossmann, M., *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*, Leipzig: Teubner, 1913.〔“纲要”〕
6. Einstein, A., 1915 年 11 月向普鲁士科学院所作四次报告，载 *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 1915（含引力场方程与水星近日点运动的计算）。
7. Einstein, A., “Strahlungs-Emission und -Absorption nach der Quantentheorie”, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 18 (1916), 318–323.

8. Einstein, A., “Zur Quantentheorie der Strahlung”, *Physikalische Zeitschrift* 18 (1917), 121–128.〔自发辐射、受激辐射与“偶然”〕
9. Einstein, A., “Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie”, *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 1917.〔宇宙学常数〕
10. Einstein, A., *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)*, Braunschweig: Vieweg, 1917.〔给普通人写的相对论小书〕
11. Einstein, A., “Quantentheorie des einatomigen idealen Gases”, *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 1924 与 1925 两篇。〔玻色—爱因斯坦统计与凝聚〕
12. Einstein, A., “Zur einheitlichen Feldtheorie”, *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 1929.〔远程平行统一场论〕
13. Einstein, A., “Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie”, *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 1931.〔放下静态宇宙〕
14. Einstein, A., *On the Method of Theoretical Physics* (Herbert Spencer Lecture, 1933-06-10), Oxford: Clarendon Press, 1933.〔牛津讲演〕
15. Einstein, A., Podolsky, B. & Rosen, N., “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?”, *Physical Review* 47 (1935), 777–780.〔《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗？》，EPR〕
16. Einstein, A., “Physik und Realität”, *Journal of the Franklin Institute* 221 (1936), 313–347.〔《物理学与实在》〕
17. Einstein, A., “Autobiographical Notes”; “Reply to Criticisms”, in Schilpp (ed.) 1949（见第 45 条），pp. 1–95; pp. 663–688.〔《自述》《答评论》；称玻尔的说法最接近公正对待 EPR 问题一段在 pp. 681–682〕
18. Einstein, A., “Erinnerungen–Souvenirs”, *Schweizerische Hochschulzeitung* 28 (Sonderheft), 1955.〔去世那年发表的回忆学生时代短文，讲到格罗斯曼〕
19. Einstein, A., “How I created the theory of relativity”（1922 年 12 月京都讲演，石原纯笔录），Y. A. Ono 英译，*Physics Today* 35(8) (1982), 45–47.
20. *The Collected Papers of Albert Einstein*, Princeton: Princeton University Press. 用到第 5 卷（瑞士时期书信，1902—1914）、第 7 卷（约 1920 年为《自然》所写未刊长稿《相对论的基本思想和方法》）、第 10 卷（1920 年 5—12 月书信，编者导言记 1920 年初见玻尔与哥本哈根之行）、第 12 卷（1921 年书信，致齐默信条目）。

21. Born, M. (ed.), *The Born–Einstein Letters*, London: Macmillan, 1971（德文本 *Albert Einstein–Hedwig und Max Born: Briefwechsel 1916–1955*, München: Nymphenburger, 1969）。用到 1920 年因果性一信、1924 年“鞋匠”一信、1926 年 12 月 4 日“他不掷骰子”一信、1947 年 3 月“鬼魅般的超距作用”一信、1952 年 5 月 12 日论玻姆一信。
22. Speziali, P. (ed.), *Albert Einstein–Michele Besso: Correspondance 1903–1955*, Paris: Hermann, 1972. 用到 1951 年 12 月 12 日、1954 年两信与 1955 年致贝索家属信。
23. Hadamard, J., *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton: Princeton University Press, 1945.〔附录收爱因斯坦复阿达马信〕

玻尔

1. Bohr, N., “On the Constitution of Atoms and Molecules”, Parts I–III, *Philosophical Magazine* 26 (1913).〔原子模型“三部曲”〕
2. Bohr, N., Kramers, H. A. & Slater, J. C., “The Quantum Theory of Radiation”, *Philosophical Magazine* 47 (1924), 785–802.〔BKS〕
3. Bohr, N., “The Structure of the Atom”, Nobel Lecture, 1922-12-11（nobelprize.org 刊本）。〔诺贝尔演讲，否定光量子一段〕
4. Bohr, N., “The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory”, *Nature* 121 (1928), 580–590.〔科莫讲演改定稿〕
5. Bohr, N., “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?”, *Physical Review* 48 (1935), 696–702.〔对 EPR 的同题回应〕
6. Bohr, N. & Wheeler, J. A., “The Mechanism of Nuclear Fission”, *Physical Review* 56 (1939), 426–450.
7. Bohr, N., “Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics”, in Schilpp (ed.) 1949, pp. 199–241.〔《就原子物理学中的认识论问题与爱因斯坦的讨论》；光子盒示意图在 p. 227〕
8. Bohr, N., “Open Letter to the United Nations”, 1950-06-09.〔“开放世界”〕
9. Kalckar, J. (ed.), *Niels Bohr Collected Works*, Vol. 6: *Foundations of Quantum Physics I (1926–1932)*, Amsterdam: North-Holland, 1985.〔收埃伦费斯特 1927 年 11 月 3 日致莱顿学生信，pp. 415–418〕

其他当事人

1. Planck 等联名推荐爱因斯坦入普鲁士科学院信（1913），据 CPAE 第 5 卷与 Pais 1982 转引。
2. Millikan, R. A., “A Direct Photoelectric Determination of Planck's 'h'”, *Physical Review* 7 (1916), 355–388.
3. Compton, A. H., “A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements”, *Physical Review* 21 (1923), 483–502.
4. Bose, S. N., “Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese”, *Zeitschrift für Physik* 26 (1924), 178–181.〔爱因斯坦译稿〕
5. Bothe, W. & Geiger, H., “Über das Wesen des Comptoneffekts; ein experimenteller Beitrag zur Theorie der Strahlung”, *Zeitschrift für Physik* 32 (1925), 639–663.
6. Compton, A. H. & Simon, A. W., “Directed Quanta of Scattered X-Rays”, *Physical Review* 26 (1925), 289–299.
7. Born, M., “Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge”, *Zeitschrift für Physik* 37 (1926), 863–867.〔概率解释；自述受爱因斯坦“鬼场”说法启发〕
8. Heisenberg, W., “Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik”, *Zeitschrift für Physik* 43 (1927), 172–198.〔不确定关系，1927-03-23 收稿〕
9. von Neumann, J., *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer, 1932.
10. Pauli, W., “Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik”, in *Handbuch der Physik*, 2. Aufl., Bd. 24/1, Berlin: Springer, 1933.〔时间算符一段〕
11. Hermann, G., “Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik”, *Abhandlungen der Fries'schen Schule*, N.F. 6 (1935), 75–152.
12. Schrödinger, E., “Discussion of Probability Relations between Separated Systems”, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 31 (1935), 555–563; “Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik”, *Die Naturwissenschaften* 23 (1935), 807–812, 823–828, 844–849.〔《分离系统之间概率关系的讨论》《量子力学的现状》，“纠缠”一词与猫〕
13. Schilpp, P. A. (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, Vol. 7, Evanston, Ill., 1949.〔《爱因斯坦：哲学家—科学家》〕
14. Bohm, D., *Quantum Theory*, New York: Prentice-Hall, 1951.

15. Bohm, D., “A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of 'Hidden' Variables. I & II”, *Physical Review* 85 (1952), 166–179, 180–193.
16. Everett, H., “'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics”, *Reviews of Modern Physics* 29 (1957), 454–462.
17. Bell, J. S., “On the Einstein Podolsky Rosen Paradox”, *Physics* 1 (1964), 195–200.
18. Bell, J. S., “On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics”, *Reviews of Modern Physics* 38 (1966), 447–452.
19. Bell, J. S., “Introduction to the Hidden-Variable Question”, in B. d'Espagnat (ed.), *Foundations of Quantum Mechanics* (Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course IL), New York: Academic Press, 1971.
20. Bell, J. S., “Bertlmann's Socks and the Nature of Reality”, *Journal de Physique Colloques* 42, C2 (1981), 41–62.〔《贝特尔曼的袜子和实在的本性》〕
21. Bell, J. S., “On the Impossible Pilot Wave”, *Foundations of Physics* 12 (1982), 989–999.〔“不可能的事”被做成了〕
22. Bell, J. S., *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge: Cambridge University Press, 1987.〔以上各篇合集；“非定域性深深扎在量子力学本身里”一句待核，见附录五〕

实验与量子信息

1. Kocher, C. A. & Commins, E. D., “Polarization Correlation of Photons Emitted in an Atomic Cascade”, *Physical Review Letters* 18 (1967), 575–577.
2. Clauser, J. F., Horne, M. A., Shimony, A. & Holt, R. A., “Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories”, *Physical Review Letters* 23 (1969), 880–884.〔CHSH〕
3. Freedman, S. J. & Clauser, J. F., “Experimental Test of Local Hidden-Variable Theories”, *Physical Review Letters* 28 (1972), 938–941.
4. Aspect, A., Grangier, P. & Roger, G., “Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem”, *Physical Review Letters* 47 (1981), 460–463; “Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities”, *Physical Review Letters* 49 (1982), 91–94.
5. Aspect, A., Dalibard, J. & Roger, G., “Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers”, *Physical Review Letters* 49 (1982), 1804–1807.

6. Weihs, G. et al., “Violation of Bell's Inequality under Strict Einstein Locality Conditions”, *Physical Review Letters* 81 (1998), 5039–5043.
7. Hensen, B. et al., “Loophole-free Bell Inequality Violation Using Electron Spins Separated by 1.3 Kilometres”, *Nature* 526 (2015), 682–686.〔代尔夫特〕
8. Giustina, M. et al., “Significant-Loophole-Free Test of Bell's Theorem with Entangled Photons”, *Physical Review Letters* 115 (2015), 250401; Shalm, L. K. et al., “Strong Loophole-Free Test of Local Realism”, *Physical Review Letters* 115 (2015), 250402.〔维也纳；美国国家标准与技术研究院〕
9. Handsteiner, J. et al., “Cosmic Bell Test: Measurement Settings from Milky Way Stars”, *Physical Review Letters* 118 (2017), 060401; The BIG Bell Test Collaboration, “Challenging Local Realism with Human Choices”, *Nature* 557 (2018), 212–216; Rauch, D. et al., “Cosmic Bell Test Using Random Measurement Settings from High-Redshift Quasars”, *Physical Review Letters* 121 (2018), 080403.〔星光、十万志愿者、类星体〕
10. Shannon, C. E., “Communication Theory of Secrecy Systems”, *Bell System Technical Journal* 28 (1949), 656–715.
11. Wootters, W. K. & Zurek, W. H., “A Single Quantum Cannot Be Cloned”, *Nature* 299 (1982), 802–803; Dieks, D., “Communication by EPR Devices”, *Physics Letters A* 92 (1982), 271–272.〔不可复制〕
12. Bennett, C. H. & Brassard, G., “Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing*, Bangalore, 1984.〔BB84〕
13. Ekert, A. K., “Quantum Cryptography Based on Bell's Theorem”, *Physical Review Letters* 67 (1991), 661–663.
14. Bennett, C. H., Brassard, G. & Mermin, N. D., “Quantum Cryptography without Bell's Theorem”, *Physical Review Letters* 68 (1992), 557–559.〔BBM92〕
15. Shor, P. W., “Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring”, *Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 1994.
16. Yin, J. et al., “Satellite-Based Entanglement Distribution over 1200 Kilometers”, *Science* 356 (2017), 1140–1144.
17. Liao, S.-K. et al., “Satellite-Relayed Intercontinental Quantum Network”, *Physical Review Letters* 120 (2018), 030501.
18. Yin, J. et al., “Entanglement-Based Secure Quantum Cryptography over 1,120 Kilometres”, *Nature* 582 (2020), 501–505.

19. Arute, F. et al., “Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor”, *Nature* 574 (2019), 505–510.
20. Zhong, H.-S. et al., “Quantum Computational Advantage Using Photons”, *Science* 370 (2020), 1460–1463.〔“九章”〕

二　传记与回忆

1. Heisenberg, W., *Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, München: Piper, 1969〔《部分与整体》〕；英译本 *Physics and Beyond: Encounters and Conversations*, New York: Harper & Row, 1971〔《物理学及其他》〕。第 3 章谈话、埃伦费斯特 1927 年那句话、费莱德公园散步，均据此书。
2. Rozental, S. (ed.), *Niels Bohr: His Life and Work as Seen by His Friends and Colleagues*, Amsterdam: North-Holland, 1967. 用到其中 L. Rosenfeld, “Niels Bohr in the Thirties”（EPR“晴天霹雳”与口授经过；1933 年布鲁塞尔一段，pp. 127–128）与 Hans Bohr, “My Father”（草稿送母亲过目，p. 333）。
3. Petersen, A., “The Philosophy of Niels Bohr”, *Bulletin of the Atomic Scientists* 19(7) (1963), 8–14.〔“没有量子世界”〕
4. Pais, A., *“Subtle is the Lord…”: The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford: Oxford University Press, 1982.〔《上帝是微妙的》〕
5. Pais, A., “Einstein and the Quantum Theory”, *Reviews of Modern Physics* 51 (1979), 863–914.〔月亮之问〕
6. Pais, A., *Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity*, Oxford: Clarendon Press, 1991.〔克莱因回忆经此书与 Formato 转引〕
7. Isaacson, W., *Einstein: His Life and Universe*, New York: Simon & Schuster, 2007.〔《爱因斯坦传》，第 21 章，玻尔回应 EPR 一段〕
8. Dresden, M., *H. A. Kramers: Between Tradition and Revolution*, New York: Springer, 1987.〔克拉默斯 1921 年一事的唯一来源〕
9. Bolles, E. B., *Einstein Defiant: Genius versus Genius in the Quantum Revolution*, Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2004.〔第 7 章，玻尔带食物去柏林的“相传”〕
10. American Institute of Physics, Niels Bohr Library & Archives, Archive for the History of Quantum Physics：Niels Bohr 访谈第五次（T. S. Kuhn、L. Rosenfeld、A. Petersen、E. Rüdinger，1962-11-17）；Schultz 访谈（1963）。

三　研究论著

1. 王德生，《生活在缝隙和悖论中的大师——普通人都能明白的成功秘籍》，德麦国际（Demai International Press），专著第 166 号。
2. 《可判性的到来——发现还是发生？》，德麦国际，专著第 124 号。〔第 32 章只借书名中“可判性”一词〕
3. Jammer, M., *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York: Wiley, 1974.
4. Baggott, J. & Heilbron, J. L., *Quantum Drama: From the Bohr–Einstein Debate to the Riddle of Entanglement*, Oxford: Oxford University Press, 2024.
5. Galison, P., *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*, New York: W. W. Norton, 2003.〔《爱因斯坦的钟，庞加莱的地图》〕
6. Renn, J. (ed.), *The Genesis of General Relativity*, 4 vols., Dordrecht: Springer, 2007.〔“苏黎世笔记”的整理与研究〕
7. Janssen, M. & Renn, J., “Arch and Scaffold: How Einstein Found His Field Equations”, *Physics Today* 68(11) (2015), 30–36.〔《拱与脚手架》〕
8. Pitts, J. B., “Einstein's Physical Strategy, Energy Conservation, Symmetries, and Stability: 'but Grossmann & I believed that the conservation laws were not satisfied'”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 2016（arXiv: 1604.03038）。
9. van Dongen, J., *Einstein's Unification*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
10. Sauer, T., “Field Equations in Teleparallel Space–Time: Einstein's Fernparallelismus Approach toward Unified Field Theory”, *Historia Mathematica* 33 (2006)（arXiv:physics/0405142）。〔泡利的批评与 1929 年打赌信〕
11. Holton, G., “Einstein's Third Paradise”, *Daedalus* 132(4) (2003), 26 起（AIP 网站另有全文）。〔1952 年致劳厄信的概括；“最快乐的思想”手稿〕
12. Holton, G., “Werner Heisenberg and Albert Einstein”, *Physics Today* 53(1) (2000).
13. Klein, M. J., “Paul Ehrenfest, Niels Bohr, and Albert Einstein: Colleagues and Friends”, *Physics in Perspective* 12 (2010), 307–337.

14. Landsman, N. P., “When Champions Meet: Rethinking the Bohr–Einstein Debate”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 37 (2006), 212–242.
15. Howard, D., “Revisiting the Einstein–Bohr Dialogue”, *Iyyun: The Jerusalem Philosophical Quarterly* 56 (2007).
16. de la Torre, A. C., Daleo, A. & García-Mata, I., “The Photon-Box Bohr–Einstein Debate Demythologized”, *European Journal of Physics* 21(3) (2000), 253 起（arXiv:quant-ph/9910040）。
17. Dieks, D. & Lam, S., “Complementarity in the Bohr–Einstein Photon Box”, *American Journal of Physics* 76 (2008), 838 起（arXiv:0705.2762）。
18. Formato, *Writing the Atom: Niels and Margrethe Bohr and the Construction of Quantum Theory*, PhD dissertation, Harvard University, 2016.〔哈佛大学博士论文；口授、几十遍改稿、玛格丽特与秘书〕
19. Wali, K. C., “The Man behind Bose Statistics”, *Physics Today* 59(10) (2006), 46 起。〔玻色 1924 年 7 月 2 日明信片〕
20. Mermin, N. D., “Bringing Home the Atomic World: Quantum Mysteries for Anybody”, *American Journal of Physics* 49 (1981), 940–943.
21. Mermin, N. D., “Is the Moon There When Nobody Looks? Reality and the Quantum Theory”, *Physics Today* 38(4) (1985), 38–47.〔《没人看的时候，月亮在不在？》，“九分之五对一半”〕
22. Mermin, N. D., “What's Wrong with This Pillow?”, *Physics Today* 42(4) (1989), 9.〔“闭嘴，算吧”，带几分挖苦的俏皮话〕
23. Phillips, W. D. & Dalibard, J., “Experimental Tests of Bell's Inequalities: A First-Hand Account by Alain Aspect”, *The European Physical Journal D* 77 (2023), 8（arXiv:2212.04737）。〔见贝尔、“固定职位”、1983 年答辩、开关参数〕

四　工具书与网络资料

1. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*：A. Fine, “The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory”；J. Hilgevoord & J. Uffink, “The Uncertainty Principle”；W. Myrvold, M. Genovese & A. Shimony, “Bell's Theorem”；S. Goldstein, “Bohmian Mechanics”。
2. American Institute of Physics, History Center 在线展“Werner Heisenberg”（含年表与“Triumph”一页：1926-05-01 任讲师、1927 年春与玻尔之争）。

3. nobelprize.org：1921、1922 年物理学奖授奖理由；Max Born, “The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics”, Nobel Lecture, 1954-12-11；2022 年物理学奖公告；赫维西溶解劳厄、弗兰克奖章一事。
4. The Einstein Papers Project（CPAE 在线本，Princeton University Press / Caltech）。
5. arXiv 预印本：L. J. Boya, “Rejection of the Light Quantum: The Dark Side of Niels Bohr”, arXiv:physics/0212090（转引 Dresden 1987）；R. A. Campos, “Still Shrouded in Mystery: The Photon in 1925”, arXiv:physics/0401044（引玻尔 1922 年诺贝尔演讲原文）；N. Straumann, “Einstein's 'Zürich Notebook' and his Journey to General Relativity”, arXiv:1106.0900；C. A. Fuchs, “Copenhagen Interpretation Delenda Est?”, arXiv:1809.05147（引 1962-11-17 访谈）。
6. *Physics Today* 57(9) (2004) 所刊 Galison《爱因斯坦的钟，庞加莱的地图》书评。
7. *APS News*, 2014 年 5 月号（1929 年统一场论的新闻热）；*Europhysics News* 31(3) (2000)（密立根 1916 年实验）。
8. 机构网站：尼尔斯·玻尔研究所官网（建所资金、荣誉府邸、1965 年更名、奥格·玻尔）；奥斯陆大学校史馆“Einstein til Studentersamfundet i 1920”；代尔夫特理工大学 2015 年新闻稿；UC Berkeley News, 2022-10-04（克劳泽与弗里德曼的地下室实验）；中国科学院英文网 2018-01-19（兴隆—格拉茨约 7600 公里、洲际视频会、京沪干线 32 个中继站）；尼尔斯·玻尔研究所与欧洲核子研究中心关于 1932 年《浮士德》戏仿的资料。

附 录

附录一　双人年表

只收正文已核的事实。“据某某回忆”“据记载”的条目照正文写法保留限定语；正文列为核不了的条目（如带食物去柏林、克拉默斯一事、临终索要稿纸）不入表，见附录五。

年份	爱因斯坦	玻尔
1879	出生。	—
1885	—	生于哥本哈根。父亲是生理学教授，母亲出身富裕的银行世家。
约 1895	十六岁上下想过：追上一束光，会看见什么（据《自述》）。	—
1905	在伯尔尼专利局任职。写出光量子（光电效应）、布朗运动、狭义相对论等论文；致哈比希特信介绍四篇，只给光量子一篇加“非常革命”的评语；相对论论文末尾只感谢贝索。	—
1907	在专利局椅子上想到：自由下落的人感觉不到自己的重量，后称“最快乐的思想”；由此推出高处的钟比低处走得快。	—
1908	闵可夫斯基把狭义相对论改写成四维时空几何，据后人记述，他起初不领情。	弟弟哈拉尔随丹麦队获奥运会足球银牌。
1909	萨尔茨堡报告：未来的光理论将是波动论与微粒论的某种融合；从辐射涨落里算出波与粒子两项。	—
1911	—	获博士学位（博士论文写过十四份草稿）；赴剑桥投 J. J. 汤姆孙，不顺。

年份	爱因斯坦	玻尔
1912	夏，回苏黎世母校任教授，找老同学格罗斯曼借数学。	转到曼彻斯特卢瑟福处。
1913	与格罗斯曼合写“纲要”论文。	发表原子模型“三部曲”，时年二十七岁；用普朗克的“能量子”，不用“光量子”。
1915	11 月连续四个星期四向普鲁士科学院报告，写出引力场方程，算对水星近日点。	—
1916	（同年：密立根发表光电实验，证实光电公式，仍称光量子是“大胆的、甚至可以说是鲁莽的假设”。）1916—17 年写辐射论文。	回哥本哈根任教授，开始为建所奔走。
1917	辐射论文引入自发辐射、受激辐射，把基本过程的时间和方向交给“偶然”，自认是弱点、对这条路有信心；给宇宙方程加宇宙学常数；出版给普通人写的相对论小书。	—
1918 前后	—	把对应原理讲明白，此后一直拿它当拐杖。
1920	4 月在柏林初见玻尔；致埃伦费斯特信说自己也“爱上”了玻尔，又致信玻尔；致玻恩信说因果性让他烦恼。6 月 24 日到哥本哈根，次日在丹麦天文学会讲“引力与几何”。	4 月访柏林，初见爱因斯坦；回信说与他见面交谈是自己最重要的经历之一。
1921	—	3 月 3 日理论物理研究所落成（私人捐款铺路，嘉士伯基金会资助）。
1922	11 月公布补授 1921 年诺贝尔物理学奖，理由是“发现了光电效应的定律”；时在赴日途中，12 月在京都讲演中回忆 1907 年那个念头。	11 月公布获 1922 年诺贝尔物理学奖；12 月 11 日诺贝尔演讲，先承认光量子有启发作用，再说它与干涉现象合不到一起、说明不了辐射的本性。
1923	再访哥本哈根，与玻尔在电车上谈得坐过站（据玻尔回忆）。（同年：康普顿发表 X 射线散射实验。）	同左（电车一事）。
1924	反对 BKS，致玻恩信说宁可去当鞋匠甚至赌场雇员；替玻色译稿投稿，推出玻色—爱因斯坦统计与凝聚；公开支持德布罗意的物质波。	与克拉默斯、斯莱特发表 BKS，宁可让能量、动量只在统计上守恒。

年份	爱因斯坦	玻尔
1925	前后起，把后半生的主要力气投进统一场论。	春，博特—盖革、康普顿—西蒙实验证明逐个事件守恒，BKS 被判负；认账，但仍不热心“光子”。
1926	4 月 28 日在柏林与海森堡长谈：“是理论决定我们能观察什么”（据海森堡回忆）。同年薛定谔提出波动力学、玻恩提出概率解释。12 月 4 日致玻恩信：“他不掷骰子”。	5 月 1 日海森堡到研究所任讲师；秋，薛定谔来访，争论转紧。
1927	10 月第五届索尔维会议，早饭出题（据在场者回忆）；埃伦费斯特当面说他反对新量子论的样子像当年别人反对相对论（据海森堡回忆）；11 月 3 日埃伦费斯特致学生信说这场交锋“像一盘棋”。	2 月去挪威滑雪，海森堡写出不确定关系（3 月 23 日收稿），两人争到深夜；9 月科莫讲演首次公开“互补”；10 月索尔维晚饭交卷。
1928	—	科莫讲稿改定，刊于《自然》。
1929	1 月交远程平行统一场论短文，《纽约时报》头版报道；泡利批评它丢了近日点与光线弯曲，12 月写信打赌“最多一年”就会放弃。	研究所起每年办一次不定议程的会。
1930	10 月下旬第六届索尔维会议（正题磁学），会下提出光子盒。	当晚沮丧，次晨以广义相对论回应，是他的凯旋（据罗森菲尔德回忆；“一夜没睡”只是相传）。
1931	发表短文放下静态宇宙（举哈勃观测与静态解不稳两条理由）；据后来分析，此后不再主张不确定关系可被打破。	7 月 9 日埃伦费斯特来信：爱因斯坦早已不怀疑不确定关系，盒子另有用意。
1932	（同年：冯·诺依曼出书，给出“不可能有隐变量”的证明。）	一家住进嘉士伯荣誉府邸；研究所年会上演《浮士德》戏仿，“主”扮的是玻尔。
1933	离开德国，到普林斯顿高等研究院；牛津讲演，大意说创造的原则在数学之中；在布鲁塞尔听罗森菲尔德报告后讲出两粒子的画面（据罗森菲尔德回忆）。埃伦费斯特去世。	与哈拉尔一起参与救助被纳粹驱逐的学者。

年份	爱因斯坦	玻尔
1935	5 月 15 日 EPR 刊出；6 月 19 日致薛定谔信：出于语言上的缘故由波多尔斯基执笔，要紧的东西被博学闷住；同年通信中举火药桶的例子。（同年：赫尔曼指出冯・诺依曼证明的漏洞；薛定谔在剑桥哲学学会会刊与《自然科学》两篇公开发表的论文里正式提出“纠缠”一词，写出猫的思想实验；名字不是在私信里起的。）	EPR 传到研究所“像一道晴天霹雳”，玻尔放下一切，口授回应（据罗森菲尔德回忆）；答文 7 月 13 日收稿，距 EPR 刊出不到两个月；10 月同题回应刊于《物理评论》。
1936	发表《物理学与实在》。	—
1939	—	年初赴美，与惠勒写出原子核裂变理论。
1940	—	德国占领丹麦；赫维西在研究所用王水溶掉劳厄、弗兰克托付的诺贝尔奖章。
1943	—	9 月 29 日夜渡海峡逃往瑞典，先求瑞典公开表态接纳丹麦犹太人（作用大小两说并存），10 月 2 日瑞典电台广播；乘蚊式轰炸机弹舱飞英国；后化名“尼古拉斯・贝克”到洛斯阿拉莫斯。
1944	—	见丘吉尔，谈战后原子能的国际管控，不欢而散。
1945	复阿达马信随书印出：思考时起作用的是可以自由组合的形象。	—
1947	3 月致玻恩信：“鬼魅般的超距作用”。	获大象勋章；自设纹章，图案太极，铭文“对立即互补”。
1949	席尔普编《爱因斯坦：哲学家—科学家》，卷首《自述》、卷末《答评论》：说玻尔的看法最接近公正对待 EPR 问题，并把局面摆成二选一，立场不变。	同书长文《就原子物理学中的认识论问题与爱因斯坦的讨论》，重讲 1927、1930、1935 各回合，配光子盒示意图；自认当年回应 EPR 的表达很不得力。
1950	发表新一版统一场论方案，报纸又热闹一回。	6 月致联合国公开信，主张“开放世界”。
1951	12 月 12 日致贝索：五十年有意识的思考，没让他更接近“光量子是什么”的答案。	同年，玻姆出版大体取玻尔一派读法的量子力学教科书，随后离美赴巴西任教。

年份	爱因斯坦	玻尔
1952	1 月致劳厄信（据霍尔顿概括：1905 年三篇大论文同根于对涨落的关心）；5 月 12 日致玻恩信，说玻姆的路在他看来太便宜。	玻姆发表决定论的隐变量理论；哥本哈根一方冷淡以至敌视，罗森菲尔德尤甚。
1954	致贝索信：物理学很可能不能建立在场上，他的“空中楼阁”可能什么也剩不下。12 月玻恩诺贝尔演讲两处归功于他。	—
1955	3 月贝索去世，致其家属信；发表回忆学生时代的短文，讲到格罗斯曼。4 月 18 日在普林斯顿去世，享年七十六岁；办公室黑板的照片流传至今，美国物理联合会的档案馆存有一张。	—
1956	—	惠勒带着埃弗雷特的论文稿专程到哥本哈根听意见。
1957	—	参与创办设在哥本哈根的北欧理论物理研究所；获首届“原子能和平利用奖”。同年埃弗雷特论文发表。
1959	—	春，埃弗雷特到哥本哈根停留约六周（另有约两个月一说），同玻尔谈过，毫无结果；他此前已离开大学，此后再没回到物理研究。
1962	（去世已七年。）	11 月 17 日接受库恩、罗森菲尔德、彼得森、吕丁格第五次访谈，主要谈哲学；11 月 18 日在家中去世，享年七十七岁；去世前夜，黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦 1930 年的光子盒；为什么画、画给谁，没有留下记载。

余绪

年份	事件
1964	贝尔的六页论文：把“各有各的实在、互不牵动”写成一条可以在实验台上检验的界线。
1982	阿斯佩在光子飞行途中切换两边的测法，第一次让“两边互相通气”的解释变得非常勉强。
2015	代尔夫特、维也纳、美国国家标准与技术研究院三个团队，各在同一实验里同时堵住定域性与探测两条主要漏洞。
2022	诺贝尔物理学奖授予阿斯佩、克劳泽、蔡林格：用纠缠光子做实验，确立贝尔不等式被违反，开创量子信息科学。

附录二　九宫缝隙总表

依第 15、22 章两张定位卡，第 28 章九宫镜像。落点一字不改；“初判”二字照正文保留。

人物	哪一道缝	理论落点（写下的那一半）	人生另活（活过的那一半）	缝隙位置	判语与悖论类型
爱因斯坦	第一道（接第 166 号）	S2 模态维 · 场	粒子（1905 光量子）；波（1909 萨尔茨堡预言波粒融合）；一阵一阵的争论	S2 格内（第 166 号前判）	判语（初判）：他教的是一个不掷骰子的世界，他靠的是第一个把骰子放上桌。短句：他反对的，正是他开的头。悖论第三种（让自己成名的东西后来被自己否定了）兼第五种（理论反噬本人）
爱因斯坦	第二道（卷二主判）	显露光谱 · 秩序态：严格因果、定型的世界	混沌态与统计：布朗运动、涨落、1916—17 年的“偶然”；介生态：1924—25 年玻色—爱因斯坦统计与凝聚	九宫外（显露光谱）	同上
爱因斯坦	第三道	三号位 · 一号位：实在不依赖观察者，写“事外”的世界	三号位：追光、下落的人、升降机；二号位：观察者之间对表	九宫外（三号位）	同上
爱因斯坦	另一道	E2 信息 · 数学：晚年只信方程的简洁	符号：画面、思想实验；数学靠借（格罗斯曼、贝索、玻色）	E2 格内	同上
爱因斯坦	理论反噬	统一场论三十年（1925—1955），把“只认场、只认秩序”押成全部	不另立新缝	—	悖论第五种
玻尔	第一道（前半生）	三号位 · 二号位：互补，现象包含仪器，对立的描述都要（1927 科莫）	一次只认一样：只认波，抗拒光量子十几年（1913—1925）；1922 诺贝尔演讲仍否定光量子；1924 BKS 宁可让守恒只在统计上成立	九宫外（三号位的二号位）	判语（初判）：他教的是两样都要，他靠的是一次只认一样。短句：他讲互补，守的是门。悖论第四种（给世界“开放”，给诠释关门）兼第三种（抗拒光子十几年后，用光子的两面性立了互补）

人物	哪一道缝	理论落点（写下的那一半）	人生另活（活过的那一半）	缝隙位置	判语与悖论类型
玻尔	第三道（后半生，与第一道同一道缝的后半截）	同上：对立即互补	只认哥本哈根一种读法，学派对玻姆（1952）、埃弗雷特（1959）关门	九宫外（三号位）	同上
玻尔	第二道	E2 信息 · 符号：实验必须用经典概念、日常语言报告，清楚无歧义	E2 信息 · 逻辑：边走边想、边说边改，在对话里一句一句推敲出来的道理（口授、几十遍改稿），写成符号时反倒含糊，文字以晦涩著称；“真理与清晰互补”常被归到他名下	E2 格内	同上
玻尔	另一道	E1 三界 · 理念界：只讲怎样描述、什么能说	现实界：母亲一方的家底、卢瑟福、嘉士伯基金会、1921 年研究所、1933 年起救助流亡学者、1943 年出逃、1950 年公开信	E1 格内	同上
争论本身	缺回写	—	一个一辈子不改框架，一个只改答辞不改框架	123 原理第三拍	缝里长出来的是“纠缠”（初判）

说明两处。其一，玻尔第二道缝的读法，全书统一为：理论站“符号”——清楚无歧义的经典语言；人生另活“逻辑”——在对话里一句一句推敲出来的道理，写成符号时反倒含糊。第 18、22、26、28 章照此。其二，两张卡都没有在 D 行（差异）落点，也都没有触及 S3 价值维；第 28 章把“D 行两人都空着”接到第 29 章“缺回写”，标明是本书的读法，不是定位卡本身的结论，也不是定论。

第 166 号前判（本书接着判，不改判）：爱因斯坦（科学）｜理论站场｜人生另活粒子、波｜S2 格内｜他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论｜副题“一颗一颗的光，照亮了相信一整片场的人”｜大师悖论第三种。

附录三　四个思想实验大白话图解

一　单缝（1927，第五届索尔维）

画面：一块挡板上开一道很窄的缝，一个电子飞过去，后面是一块屏。照新力学，电子穿过缝以后像水波一样散开，在屏上摊成一大片可能的落点。可每一个电子最后只落在屏上的一个点，比如 A 点。

问题：爱因斯坦问，电子落在 A 点的那一瞬间，远处的 B 点就再也不会有这个电子了。那片摊开的“波”本来遍布整块屏，怎么会在同一刻都“知道”电子落在了 A？要么电子穿缝时本来就有一条定好的路，新力学没写出来，所以它不完整；要么远处一瞬间就被这里的事牵动了，这在他看来说不通。好比一场雨的“可能”遍布整片田，偏偏只落了一滴，一落下，别处就都不再有这一滴。

回答：玻尔一方说，那片“波”不是真铺在空间里、要往各处传消息的实物，只是用来算“落在哪里有多大可能”的工具。电子落在 A，别处不再可能，不是有消息跑到了 B，而是这本可能性的账翻过了一页。爱因斯坦没有接受：在他看来，这恰恰说明新力学只是一本账，没写出那样东西本身。这一题，两人各说各的。

今天怎么看：这道题是八年后 EPR 的雏形，“一瞬间，远处都知道了”后来被磨成了一把更锋利的刀。电子到底怎样“落”成一个点，就是今天仍悬着的测量问题；哥本哈根、玻姆、多世界各有读法，实验至今分不出高下。

二　光子盒（1930，第六届索尔维）

画面：一只严实的盒子里装满光，壁上开一个小孔，孔上一扇快门，由盒子里的一只钟控制；钟走到定好的时刻，快门开一眨眼，放一个光子出去。盒子挂在秤上，放光之前称一次，之后再称一次。

问题：能量和质量是一回事的两面，盒子放走一个光子就轻一点点，前后一比，就知道光子带走多少能量，秤可以要多准有多准；钟又记下了它出门的时刻，也要多准有多准。能量和时间两样同时拿满，那条“准头只能在两样之间分配”的规矩，好像被一只盒子打破了。而且这一回只量盒子，不碰飞远的光子。玻尔当晚找不出破绽。

回答：第二天早上，玻尔找到了被漏掉的东西：引力。要看准秤上的指针，就得让盒子在秤上找位置；盒子轻了会往上弹，它的高度和动量也受不确定关系管着。钟跟着盒子一起挂在秤上，照爱因斯坦自己的广义相对论，钟走得快慢和它放在多高有关。高度说不准，钟的快慢就说不准，出门的时刻也就说不准。一串算下来，两样不准乘起来，正好不小于规矩的下限。

今天怎么看：结论站得住，这样一只盒子确实打不破能量与时间的不确定关系。可玻尔那天的论证后来有争议：有人说他前后用的“不准”含义不一，有人说不用广义相对论也驳得倒。据后来的分析，爱因斯坦此后不再主张不确定关系能被打破，把问题换成了“全不全”。

三　EPR（1935）

画面：两个小东西先碰一下，然后分开，一个往东，一个往西，远到这边做什么都碰不到那边。因为碰过，两边留下固定的对应：量东边那个的位置，就能算出西边那个的位置；改量动量，也能算出西边的动量。

问题：爱因斯坦的心里话是一条“分离原则”：离得很远的两样东西，各有各的实在样子，这边做什么改不了那边。那么西边那个一下都没碰，位置和动量就应当都有定值；量子力学却只肯写下其中一样，所以它不完备。好比网店把一副手套拆开分寄湘潭和广州，湘潭一拆是右手，就知道广州那包是左手，那只手套装袋时就定好了，谁看不看都一样。

回答：玻尔承认，东边的测量没有以机械的方式扰动西边；可东边怎样摆仪器，定下了能对西边作出哪一类预言。量位置和量动量要两套互相排斥的仪器，只能摆一套；把两个“本来可以”硬加成“同时都在”，等于把两张不能同时上桌的菜单拼成一桌菜。他因此说 EPR 那条实在判据里的“扰动”一词含着歧义。

今天怎么看：EPR 抓住的对应是真的，后来成了物理学最真的问题之一；它推出的“远处各有各的实在、互不牵动”，三十年后被贝尔写成可检验的界线，又被实验判了负。玻尔那边，“量子力学已经说全”也从没被证明。两人最想说的那句话都没写清：一句被执笔人的学问闷住，一句被自己的长句子绕住。

四　贝尔检验（1964 年以后）

画面：借默敏的讲法。一对双胞胎姐妹分关两间隔音小屋，每轮两间屋各抽一张签，签上是三个问题之一，姐妹俩只答“是”或“不是”。在实验台上，双胞胎换成一对纠缠的光子，三个问题换成偏振片的三种角度。

问题：记录上，凡是两边抽到同一个问题，回答回回相同。最自然的解释是她们事先背好了一张答案单，也就是爱因斯坦的“装袋时就定好了”。可要是真靠答案单，而且两屋真隔音、签真是各抽各的，那么把所有轮次都算上，回答相同的至少占九分之五。这条线，是“各有各的实在”和“互不牵动”两条合起来画下的。

回答：量子力学预言，纠缠的一对在这三种测法下，同一种测法回回对得上，全部算上只对上一半，越过了那条线。1972 年伯克利的地下室里第一次做出来，结果站在量子力学一边；1982 年阿斯佩在光子半路上换测法；2015 年三个团队把两条主要漏洞同时堵上；后来又有人用几百年前出发的星光、十万人随手按的键来抽签。线一次又一次被越过。

今天怎么看：被判负的只是“定域实在”这一格；决定论、单说的实在、测量问题都没因此判定。越过界线的对应不能送信，相对论毫发无损。这条当年用来判

爱因斯坦的线，今天成了量子配钥匙的警报器：线越过了，说明光子身上没有一张可被偷抄的答案单。

附录四　引文核对表

收正文里加了引号的两人及海森堡、埃伦费斯特、罗森菲尔德、默敏、薛定谔、贝尔等人的话，也收几处加了引号、读来像原话、其实是本书概括的说法，一并标明，免得读者当原话引用。“可靠度”分四档：原文（有当事人亲笔或原刊文本）、回忆（当事人或旁人事后的回忆）、二手（只见转引或流传）、本书概括（正文用引号标出的概括语，不是任何人的原话）。

#	说话人	正文引语（主要所在章）	原话/转述	出处	可靠度
1	爱因斯坦	“老头子”“他不掷骰子”（导论、第 3、9、24 章，结语）	原信短句的中译	1926-12-04 致玻恩信（Born–Einstein Letters）	原文
2	流传	“上帝不掷骰子”（导论、第 3、4、39 章）	流传的缩语，非信中原句	书面出处即第 1 条	二手（流传）
3	流传	玻尔“别替上帝规定该怎么做”（第 7 章）	流传版本	玻尔 1949 年自述是：提醒谨慎，不要用日常语言给天意安属性（Bohr 1949）	二手（流传）；玻尔自述为原文
4	爱因斯坦	“是理论决定我们能观察什么”（导论、第 3、9、12、23、36 章）	海森堡所记原话的中译	Heisenberg 1969/1971	回忆
5	海森堡	“只用看得见的量”“只谈看得见的量”“只认看得见的”（第 3、23、36 章）	转述	同上	回忆
6	海森堡	“测量时把电子撞乱了”（第 3 章）	本书对海森堡 1927 年显微镜说法的概括	意思见 AIP 海森堡展	本书概括
7	爱因斯坦	“鬼魅般的超距作用”（导论、第 7、25、26 章等）	原信用语的中译	1947 年 3 月致玻恩信	原文
8	爱因斯坦	“爱上”（第 1、27 章）	原信短词	1920 年致埃伦费斯特信（CPAE 第 10 卷编者导言）	原文
9	爱因斯坦	“宁可当鞋匠”（第 2 章表、第 24 章）	常被引的书信大意的缩语	1924 年致玻恩信	原文书信，正文为转述

#	说话人	正文引语（主要所在章）	原话/转述	出处	可靠度
10	爱因斯坦	“语言上的缘故”“博学”“被博学闷住”（第 6、13、26 章）	原信用语的中译（Gelehrsamkeit）	1935-06-19 致薛定谔信，据 SEP EPR 条所引	原文（二手核）
11	爱因斯坦（经埃伦费斯特）	“根本不是”（第 6 章）	转述中的短引	1931-07-09 埃伦费斯特致玻尔信	二手（原件未见）
12	爱因斯坦	“正统”（第 7 章）	原文用词	《答评论》，Schilpp 1949, pp. 681–682	原文
13	爱因斯坦	“光量子是什么”“光量子到底是什么”（第 2、7、10、29 章）	原信句意的中译	1951-12-12 致贝索信	原文
14	爱因斯坦	“偶然”（导论、第 1、2、11、15 章等）	原文用词（Zufall）	Einstein 1917, Phys. Z. 18	原文
15	爱因斯坦	“最快乐的思想”（第 12 章）	原稿用语	约 1920 年未刊长稿（CPAE 第 7 卷），据 Holton	原文（二手核）
16	爱因斯坦	“月亮在不在”（第 7 章小账；月亮之问各章均无引号转述）	转述	Pais 1979、1982	回忆
17	爱因斯坦（经玻尔）	“给光子引路的鬼场”（第 1、31 章）	玻尔转述爱因斯坦爱用的说法（Gespensterfelder）	Bohr 1949	回忆
18	爱因斯坦	“引力与几何”（第 1 章）	讲题	CPAE 第 10 卷考订；Klein 2010	原文
19	诺贝尔委员会	“发现了光电效应的定律”（第 2 章）	授奖理由原文	nobelprize.org	原文
20	密立根	“大胆的、甚至可以说是鲁莽的假设”（第 10 章）	原话中译	Millikan 1916，据 Europhysics News 2000	原文（二手核）
21	研究者	“纯靠数学”（第 13 章）	范东恩对爱因斯坦晚年说法的概括	van Dongen 2010	二手（研究者概括）
22	玻恩	“光有多强”→“跳的可能性有多大”（第 15 章）	讲演大意的转述	Born 1954 诺贝尔讲演	原文，正文为转述

#	说话人	正文引语（主要所在章）	原话/转述	出处	可靠度
23	玻恩	“波代表概率”“波只管出现在哪里的可能有多大”（第 3、31 章）	本书对玻恩读法的概括	意思见 Born 1926	本书概括
24	玻尔	“对立即互补”（导论、第 7、16、19、28 章）	纹章铭文 contraria sunt complementa 的中译	1947 年大象勋章纹章	原文
25	玻尔	“开放世界”（第 7、19 章）	原文用语（open world）	1950-06 致联合国公开信	原文
26	玻尔（经舒尔茨）	“我得带回家睡一觉，明天早上再寄”（第 18 章）	转述的中译	舒尔茨 1963 年 AHQP 访谈，经 Formato 2016	回忆
27	玻尔（经彼得森）	“没有量子世界”（第 21 章小节题）	转述	Petersen 1963	回忆
28	常被归玻尔	“真理与清晰互补”（第 18 章小节题）	常被归到他名下	出处未定	二手（归属存疑）
29	玻尔	“两样都要”（导论、卷三卷首语、第 16、22 章等；卷首语写作“玻尔最有名的一句主张”）	本书对互补的概括	—	本书概括
30	玻尔	“现象要把仪器算进去”“仪器也要算进去”“要把整个仪器算进去”（第 12、16、23、36、37 章等；第 36 章写作“玻尔那句”）	本书概括	意思见 Bohr 1928、1935、1949	本书概括
31	玻尔	“你拿什么仪器去问，它就答你什么样子”（第 16 章，写作“玻尔说的”）	本书概括	—	本书概括
32	玻尔	“你为了量这一样，不得不碰它一下，这一碰就把另一样碰乱了”（第 5 章）	本书概括	—	本书概括
33	玻尔	“不能这样问”（第 25、29、35 章，写作“他一辈子说‘不能这样问’的那句话”）	本书概括	意思近 Bohr 1935、Petersen 1963	本书概括
34	玻尔	“说全了”“已经说全”（第 6、8、33 章）	本书对其立场的概括	—	本书概括

#	说话人	正文引语（主要所在章）	原话/转述	出处	可靠度
35	玻尔	“整个实验安排是一个现象”“把整套安排算进现象里，就没有脱离安排的‘本来’”（第 6、26 章）	本书概括	意思据 SEP 所引 Bohr 1935 原文	本书概括
36	两人	“只能算概率”“每一件事都该有个准”（导论）；“单个事件只能讲概率”“这不可能是最后的话”“单个的也要清楚”“大数就够了”“这个理论只有大数”“单个的就到此为止”（第 24 章）	本书对两人站位的概括，正文写作“某某说”	—	本书概括
37	埃伦费斯特	“像一盘棋”（第 23 章）	原信用语的中译	1927-11-03 致莱顿学生信（Bohr CW 6, pp. 415–418），经 Landsman 2006	原文（二手核）
38	埃伦费斯特	“你站的样子，像当年你的对手”（第 23 章）	本书对其当面那句话的概括	那句话本身据 Heisenberg 1971，正文只转述大意	本书概括
39	罗森菲尔德	“晴天霹雳”（第 6、26 章）	原话中译（a bolt from the blue）	Rosenfeld，载 Rozental 1967；核查时经维基语录转引	回忆（原书未直接核）
40	薛定谔	“教条的量子力学”（第 30 章）	原信用语的中译	1935-06-07 致爱因斯坦信，核查时据网络杂志文章	二手（仅网络）
41	薛定谔	“抹匀”（第 30、33 章）	原文用词的中译	Schrödinger 1935, Naturwissenschaften	原文（正文写“据记载”）
42	薛定谔	纠缠不是“一个”特点，而是“那个”特点（第 30 章）	大意	Schrödinger 1935, Proc. Camb. Phil. Soc.	原文
43	爱因斯坦	火药“还没炸”“已经炸了”、不会“半炸半不炸”（第 26、30 章）	本书对火药一例的概括	1935 年 8 月致薛定谔信；通信日期核查时据网络杂志文章	本书概括
44	默敏	“闭嘴，算吧”（第 8、14、22、39 章）	原话中译（shut up and calculate）	Mermin 1989	原文
45	默敏	“九分之五对一半”（第 31 章）	原文数字	Mermin 1985	原文

#	说话人	正文引语（主要所在章）	原话/转述	出处	可靠度
46	贝尔	“不可能的事”（第 31 章）	原话中译（the impossible done）	Bell 1982	原文
47	贝尔（问阿斯佩）	“有没有固定职位”（第 33 章；第 32 章无引号）	转述	Aspect 亲述，EPJ D 2023	回忆
48	同行（劝克劳泽）	“别浪费时间”，同行给的“夸奖”（第 32、33 章）	转述	克劳泽访谈；UC Berkeley News 2022 与网络媒体	回忆（部分仅网络媒体）

另有几处要紧的话，正文只作转述、没加引号，出处与可靠度附记在这里：爱因斯坦致玻尔“一生中很少有人仅凭在场就给他带来这样的快乐”（1920，原文书信，转述）；玻尔回信“见面交谈是最重要的经历之一”（转述）；爱因斯坦 1917 年论文自认“弱点”、对这条路“完全有信心”（原文，转述）；爱因斯坦 1920 年致玻恩“因果性让他烦恼”（原文书信，转述）；玻尔 1925 年致达尔文“办一个尽可能体面的葬礼”（仅网络二手，见附录五）；泡利 1929 年“最多一年您就会放弃”（据 Sauer，二手核）；爱因斯坦 1933 年牛津“创造的原则在数学之中”（讲演原文，核查时经维基语录转引）；爱因斯坦 1952 年论玻姆“太便宜”（原文书信，转述）；爱因斯坦 1954 年致贝索“空中楼阁”（原文书信，经 Pais 与论坛转引）；爱因斯坦《自述》称玻尔原子理论为“思想领域里最高一种的音乐感”（原文，转述）；爱因斯坦形容玻尔“像一个永远在摸索的人”（二手，见附录五）；玻尔晚年谈哲学家“是一群很古怪的人”（访谈记录，经 Fuchs 转引）；贝尔“不只是错，而且蠢”（仅网络二手，见附录五）；贝尔“非定域性深深扎在量子力学本身里”（待核，见附录五）。

附录五　失效户

一　五条判决的现状（照结语的验收）

判决	现状	理由（结语原意）
一、表面之争没有一个总赢家	站得住，记时间：“到今天为止”	定域实在判负（爱因斯坦方输）；“量子力学是完备的”没被证明（玻尔方没赢）；决定论悬着；测量问题两人都没解决。靠的是今天物理学界的共识，共识会变
二、爱因斯坦的缝在秩序与涨落之间	站得住，五条里最稳	缝的两头都有亲笔：一头是 1926、1947 年致玻恩信、1949 年《答评论》、1951 年致贝索信；一头是 1905、1917、1924 年的论文。1917 年他自认“偶然”是弱点，只让判决更公道，不收窄
三、玻尔的缝在互补与关门之间	站得住，收窄两处	年份：只认波是 1913—1925 的十几年，“二十年”只指 1905—1927 整场光量子之争；关门：学派关的门，他本人没有为它们开门，玻尔本人对玻姆说过什么没查实。另记 1925 年他确实回写过一次，在与爱因斯坦真正交手之前
四、缝隙之争是交叉的	收窄为“大体交叉，玻尔一边站得住大半”	六处交锋里四处交叉干净；1927 年索尔维与 EPR 两处，玻尔一边只算半交叉
五、没有结局是因为缺回写	最弱	证据大半是“没有”；“回写”是本书的读法，不是史书上的事实；没有结局还有别的原因（贝尔之前本无实验可判）。后半句“纠缠是争论本身的发生物，不属于任何一方”站得住，每一步都有记载

推翻条件的账：第一条（玻尔 1920 年代初已接受光量子的实在）未触发；第二条（爱因斯坦晚年明确承认统计描述可以是根本的）未触发，1954 年致贝索信疑的是“场”，不是“秩序”；第三条（同样多“未交叉”的关键回合）本书自己先触发了一半，第四条已收窄，尚未到“部分交叉”。判读纪律照王德生所立：没查到，不等于没发生。

二　全书仍核不了的条目

以下各条汇总全书各卷仍核不了的地方，已去掉重复。“正文处理”一栏写的是正文现在的写法。

#	条目（所在章）	卡在哪里	正文处理
1	1920 年玻尔带丹麦食物去柏林（第 1、27 章）	只见通俗读物 Bolles 2004，未见一手出处	写“相传”
2	玻尔回应 EPR 的间隔（第 6、26 章，第 6 章章题）	罗森菲尔德原文无周数，“六个多星期”只见传记作者 Isaacson 估算；一手日期：5 月 15 日 EPR 刊出，7 月 13 日玻尔答文收稿，10 月刊出	全书统一写“不到两个月”；第 6 章章题作“1935 EPR：晴天霹雳和不到两个月”
3	埃伦费斯特 1931 年 7 月 9 日致玻尔信（第 6、27 章）	只见 Baggott & Heilbron、Jammer、Howard、Dieks & Lam 的转述，未见原件	第 6 章写“1931 年夏天”，第 27 章写日期，均转述
4	罗森菲尔德 1930 年索尔维的在场与当晚、次晨的回忆（第 5、21、23 章）	只依据他本人回忆，未对正式与会名单；回忆原文核查时经网络文章转引，原出处未直接核	全书统一写“据罗森菲尔德回忆”，只讲当晚沮丧、次晨凯旋；“一夜没睡”只写“相传”“据说”；光子盒示意图照玻尔 1949 年原图写弹簧、指针、刻度、调零小砝码
5	罗森菲尔德 EPR“晴天霹雳”与口授经过（第 6、26 章）	Rozental 1967 原书未直接核，经维基语录转引：仅有网络二手来源	写“据罗森菲尔德回忆”
6	派斯月亮之问的年份与场景（第 9、25 章）	派斯只说“一次散步时”，无年份	场景标“不妨想象”；两章所写“五十年代前后”“1950 年前后”都是构想
7	1913 年普朗克等人推荐信的措辞（第 10 章）	未调到原文，按通行转引	转述，无引号
8	1921 年致齐默信承认“相对论”一名不妥（第 12 章）	CPAE 第 12 卷有条目，未见正文	写“据记载”
9	“欧洲最好的共鸣板”（第 13 章）	原始出处未查到	写“据说”

#	条目（所在章）	卡在哪里	正文处理
10	1915 年算出水星近日点后“心跳都乱了”（第 13 章）	只见 Pais 转引致福克尔信	写“据记载”
11	临终在医院索要稿纸（第 15 章）	传记通行说法，未见一手记录	写“据记载”
12	GPS 不修正相对论日偏约十公里（第 12 章）	通行科普数	只写“偏出老远”，不给数
13	克拉默斯 1921 年用光子算出康普顿效应、遭玻尔反对、病倒住院（第 17 章；结语）	只有 Dresden 1987 一源（经 Boya 转引）	写“据德累斯顿记载”，声明不承重
14	爱因斯坦形容玻尔“像一个永远在摸索的人”（第 18、27、39 章）	最早只见 1957-10-20《纽约时报》周日杂志人物稿所引，核查时经网络名言站转引，找不到爱因斯坦原文：仅有网络二手来源	写“据说”，只转述，无引号
15	玻尔本人对玻姆理论的评语（第 19、28、29 章，结语）	未找到可靠出处	只写“哥本哈根一方”“罗森菲尔德尤其不客气”；结语明写“本书没有查实”；若日后查到原话，结语第三条判决的说法要随之修正
16	埃弗雷特 1959 年在哥本哈根停留时长（第 7、19、29、33 章）	一说约六周，维基百科作约两个月，Byrne《埃弗雷特传》原页未查：后一说仅有网络二手来源	全书统一写“约六周（另有约两个月一说）”
17	埃弗雷特 1956 年进五角大楼武器系统评估组（第 7、19、29、33 章）	据维基百科核：仅有网络二手来源	照写
18	蚊式轰炸机上头盔戴不上、没听见接氧指示而昏迷（第 20 章）	只见通行转述	写“据记载”
19	1962-11-17 访谈原文（第 21 章）	AIP 网页拒绝访问，未通读，只经 Fuchs 文核到访谈人与谈哲学家一段	只说主要谈哲学；“话题转到爱因斯坦、当场画盒子”一说不采

#	条目（所在章）	卡在哪里	正文处理
20	玻尔黑板上两幅草图、“去世前夜”留下（导论、第 7、21、27 章，结语）	只据照片说明网页：仅有网络二手来源	全书统一写“去世前夜，黑板上留下两幅草图，其中一幅是爱因斯坦 1930 年的光子盒；为什么画、画给谁，没有留下记载”，限定语“据记载”“据流传的照片和说明”保留
21	玻尔“声音低、句子长、说到一半改口”（第 18 章）	听众回忆的一般说法，无具体回忆者	写“据许多听过他讲话的人回忆”
22	1925 年玻尔致福勒“体面的葬礼”（第 17 章）	只见维基百科 BKS 条：仅有网络二手来源；写信月份未核到，正文不写月份	转述，无引号
23	大象勋章纹章惯例（受勋者纹章挂腓特烈堡宫，玻尔家原无纹章）（第 7 章）	只见纹章网站与维基百科：仅有网络二手来源	照写
24	第六届索尔维会议正题是磁学（第 5 章）	核查时据维基百科：仅有网络二手来源	照写
25	1943 年求见瑞典国王一事的作用（第 20 章）	核查时据维基百科所列两说：仅有网络二手来源	两说并存
26	参与创办北欧理论物理研究所、首届原子能和平利用奖、为欧洲核子研究中心出力（第 19 章）	核查时据维基百科：仅有网络二手来源	照写
27	贝尔说冯·诺依曼证明“不只是错，而且蠢”；1966 年文章晚发的原因；2017 年星光“至少六百年前出发”（第 31、32 章）	核查时据维基百科转引：仅有网络二手来源	转述，写“据一次后来的访谈”
28	1935 年爱因斯坦—薛定谔通信的日期（6 月 7 日、8 月 8 日、8 月 19 日、9 月 4 日）与“教条的量子力学”一语（第 30 章）	核查时据网络杂志文章：仅有网络二手来源	写“据研究者对通信的梳理”

#	条目（所在章）	卡在哪里	正文处理
29	克劳泽被劝“何必费劲”“别再浪费时间”（第 32、33 章）	一部分据大学新闻稿，一部分只见网络媒体	写“据克劳泽后来在采访里的回忆”
30	伯克利实验“一个结果要攒上百个钟头”（第 32 章）	Freedman & Clauser 1972 原文未取到	写“据记载”
31	康明斯—考切尔 1967 年实验“不是冲着贝尔那条线去的”“测法不够用”（第 32 章）	大学新闻稿只说借设备，其余是一般史述	照一般史述写
32	贝尔“非定域性深深扎在量子力学本身里”（第 33 章）	待对 Bell 1987 原句	写“这句只作转述”
33	BBM92 “两路骨子里相通”（第 34 章）	未逐句对原文	转述大意
34	1933 年牛津讲演原话（第 13 章）	核查时经维基语录转引：仅有网络二手来源	写“大意说”
35	1954 年致贝索“空中楼阁”信的日期（第 14 章）	经 Pais 与论坛转引，通常作 8 月 10 日	正文只写年份
36	海森堡《部分与整体》德文原句（第 3 章）	德文经网络文章转引；英译本可核	按英译与中译大意写
37	玻尔 1949 年长文的逐句核对（第 4、5、7、23 章）	核查用的是网络转载本，页码据 Schilpp 原书	照写

三　本书最弱处

1. **第五条判决的证据，大半是“没查到”**。没有查到爱因斯坦晚年承认统计可以是根本的，没有查到玻尔晚年给别的读法留过门；“回写”又是本书的读法，不是史书上的事实。它比前四条都更怕新材料（见结语第三节）。

2. **第 35 章的 SDE 读法是初判，作者还会再推敲**。“两种发现学姿态，都差一步”“两人都差 E＝H(S,D) 这一条”只是本书的读法；卷四第 29 章、结语第四节同一层意思也标着初判。两人的判语同样是初判，作者还会再推敲。日后若另有落点，第 35 章第二、三、六节与结语第四节要改。
3. **第 3 章几乎只靠海森堡一个人四十多年后的回忆**。1926 年那场谈话没有别的旁证，“是理论决定我们能观察什么”这句话也出自这份回忆；正文已声明“只能当作海森堡记得的样子来读”。同类的软处还有：1927、1930 两个回合的细节主要靠玻尔 1949 年长文，1930 年那一晚主要靠罗森菲尔德的回忆（第 3、4、5 章）。

附录六　与站上各卷的对账

第 166 号《生活在缝隙和悖论中的大师》

对账项	第 166 号	本书
爱因斯坦判语	他信的是一整片场，靠的是一颗一颗的光和一阵一阵的争论	原句照引，不改判（导论、第 1、10、15 章）；另压新判语“他教的是一个不掷骰子的世界，他靠的是第一个把骰子放上桌”（初判），第 15 章说明两句一说形态、一说定没定型，同一个人的两面
落点	S2 模态维，格内：理论站场，人生另活粒子、波	S2 格内照旧；增九宫外两组（显露光谱、三号位）与 E2 格内，卷二主判落在显露光谱
副题	一颗一颗的光，照亮了相信一整片场的人	照引（第 10 章）
悖论类型	第三种：让自己成名的东西后来被自己否定了	第三种照旧，兼第五种（理论反噬本人：统一场论三十年）
开篇、故事、普通人版	已写	不重写，只引判语（第 10 章明言）
案例重复	第 166 号已用主例	全书主例一律避开第 166 号用过的案例，已逐卷核对
玻尔	第 166 号未读	本书新读，定位卡见第 22 章
方法上的新东西	一次读一位大师	第 28 章第一次把两张定位卡叠在一张图上，看缝与缝之间怎样交叉、换位、各拿一半、互相嵌着

第 124 号《可判性的到来——发现还是发生？》

本书只在第 32 章提到这本书：写明站上有这一本，书名叫《可判性的到来——发现还是发生？》，借它书名里“可判性”一词，只取字面意思，也就是一个本来只能吵的问题有了可以判的那一天；正文声明“本书不在这里展开那本书的内容”。此外没有引它的任何论点，也没有和它的结论对账。