量子物理史话

第一章 黄金时代

　　一

　　我们的故事要从1887年的德国开始。位于莱茵河边的卡尔斯鲁厄是一座风景秀丽的城市，
　　在它的城中心，矗立着著名的18世纪的宫殿。郁郁葱葱的森林和温暖的气候也使得这座小
　　城成为了欧洲的一个旅游名胜。然而这些怡人的景色似乎没有分散海因里希&#8226;鲁道
　　夫&#8226;赫兹（Heinrich Rudolf Hertz）的注意力：现在他正在卡尔斯鲁厄大学的一间
　　实验室里专心致志地摆弄他的仪器。那时候，赫兹刚刚30岁，也许不会想到他将在科学史
　　上成为和他的老师赫耳姆霍兹（Hermann von Helmholtz）一样鼎鼎有名的人物，不会想
　　到他将和卡尔&#8226;本茨（Carl Benz）一样成为这个小城的骄傲。现在他的心思，只是
　　完完全全地倾注在他的那套装置上。

　　赫兹的装置在今天看来是很简单的：它的主要部分是一个电火花发生器，有两个相隔很近
　　的小铜球作为电容。赫兹全神贯注地注视着这两个相对而视的铜球，然后合上了电路开关
　　。顿时，电的魔力开始在这个简单的系统里展现出来：无形的电流穿过装置里的感应线圈
　　，并开始对铜球电容进行充电。赫兹冷冷地注视着他的装置，在心里面想象着电容两段电
　　压不断上升的情形。在电学的领域攻读了那么久，赫兹对自己的知识是有充分信心的，他
　　知道，随着电压的上升，很快两个小球之间的空气就会被击穿，然后整个系统就会形成一
　　个高频的振荡回路（LC回路），但是，他现在想要观察的不是这个。

　　果然，过了一会儿，随着细微的“啪”的一声，一束美丽的蓝色电花爆开在两个铜球之间
　　，整个系统形成了一个完整的回路，细小的电流束在空气中不停地扭动，绽放出幽幽的荧
　　光。

　　赫兹反而更加紧张了，他盯着那串电火花，还有电火花旁边的空气，心里面想象了一幅又
　　一幅的图景。他不是要看这个装置如何产生火花短路，他这个实验的目的，是为了求证那
　　虚无飘渺的“电磁波”的存在。那是一种什么样的东西啊，它看不见，摸不着，到那时为
　　止谁也没有见过，验证过它的存在。可是，赫兹是坚信它的存在的，因为它是麦克斯韦（
　　Maxwell）理论的一个预言。而麦克斯韦理论……哦，它在数学上简直完美得像一个奇迹
　　！仿佛是上帝的手写下的一首诗歌。这样的理论，很难想象它是错误的。赫兹吸了一口气
　　，又笑了：不管理论怎样无懈可击，它毕竟还是要通过实验来验证的呀。他站在那里看了
　　一会儿，在心里面又推想了几遍，终于确定自己的实验无误：如果麦克斯韦是对的话，那
　　么在两个铜球之间就应该产生一个振荡的电场，同时引发一个向外传播的电磁波。赫兹转
　　过头去，在实验室的另一边，放着一个开口的铜环，在开口处也各镶了一个小铜球。那是
　　电磁波的接收器，如果麦克斯韦的电磁波真的存在的话，那么它就会穿越这个房间到达另
　　外一端，在接收器那里感生一个振荡的电动势，从而在接收器的开口处也激发出电火花来
　　。

　　实验室里面静悄悄地，赫兹一动不动地站在那里，仿佛他的眼睛已经看见那无形的电磁波
　　在空间穿越。铜环接受器突然显得有点异样，赫兹简直忍不住要大叫一声，他把自己的鼻
　　子凑到铜环的前面，明明白白地看见似乎有微弱的火花在两个铜球之间的空气里闪烁。赫
　　兹飞快地跑到窗口，把所有的窗帘都拉上，现在更清楚了：淡蓝色的电花在铜环的缺口不
　　断地绽开，而整个铜环却是一个隔离的系统，既没有连接电池也没有任何的能量来源。赫
　　兹注视了足足有一分钟之久，在他眼里，那些蓝色的火花显得如此地美丽。终于他揉了揉
　　眼睛，直起腰来：现在不用再怀疑了，电磁波真真实实地存在于空间之中，正是它激发了
　　接收器上的电火花。他胜利了，成功地解决了这个8年前由柏林普鲁士科学院提出悬赏的
　　问题；同时，麦克斯韦的理论也胜利了，物理学的一个新高峰——电磁理论终于被建立起
　　来。伟大的法拉第（Michael Faraday）为它打下了地基，伟大的麦克斯韦建造了它的主
　　体，而今天，他——伟大的赫兹——为这座大厦封了顶。

　　赫兹小心地把接受器移到不同的位置，电磁波的表现和理论预测的丝毫不爽。根据实验数
　　据，赫兹得出了电磁波的波长，把它乘以电路的振荡频率，就可以计算出电磁波的前进速
　　度。这个数值精确地等于30万公里/秒，也就是光速。麦克斯韦惊人的预言得到了证实：
　　原来电磁波一点都不神秘，我们平时见到的光就是电磁波的一种，只不过它的频率限定在
　　某一个范围内，而能够为我们所见到罢了。

　　无论从哪一个意义上来说，这都是一个了不起的发现。古老的光学终于可以被完全包容于
　　新兴的电磁学里面，而“光是电磁波的一种”的论断，也终于为争论已久的光本性的问题
　　下了一个似乎是不可推翻的定论（我们马上就要去看看这场旷日持久的精彩大战）。电磁
　　波的反射、衍射和干涉实验很快就做出来了，这些实验进一步地证实了电磁波和光波的一
　　致性，无疑是电磁理论的一个巨大成就。

　　赫兹的名字终于可以被闪光地镌刻在科学史的名人堂里，可是，作为一个纯粹的严肃的科
　　学家，赫兹当时却没有想到他的发现里面所蕴藏的巨大的商业意义。在卡尔斯鲁厄大学的
　　那间实验室里，他想的只是如何可以更加靠近大自然的终极奥秘，根本没有料到他的实验
　　会带来一场怎么样的时代革命。赫兹英年早逝，还不到37岁就离开了这个他为之醉心的世
　　界。然而，就在那一年，一位在伦巴底度假的20岁意大利青年读到了他的关于电磁波的论
　　文；两年后，这个青年已经在公开场合进行了无线电的通讯表演，不久他的公司成立，并
　　成功地拿到了专利证。到了1901年，赫兹死后的第7年，无线电报已经可以穿越大西洋，
　　实现两地的实时通讯了。这个来自意大利的年轻人就是古格列尔莫&#8226;马可尼（Gugli
　　elmo Marconi），与此同时俄国的波波夫（Aleksandr Popov）也在无线通讯领域做了同
　　样的贡献。他们掀起了一场革命的风暴，把整个人类带进了一个崭新的“信息时代”。不
　　知赫兹如果身后有知，又会做何感想？

　　但仍然觉得赫兹只会对此置之一笑。他是那种纯粹的科学家，把对真理的追求当作人生最
　　大的价值。恐怕就算他想到了电磁波的商业前景，也会不屑去把它付诸实践的吧？也许，
　　在美丽的森林和湖泊间散步，思考自然的终极奥秘，在秋天落叶的校园里，和学生探讨学
　　术问题，这才是他真正的人生吧。今天，他的名字已经成为频率这个物理量的单位，被每
　　个人不断地提起，可是，或许他还会嫌我们打扰他的安宁呢？

上次我们说到，1887年，赫兹的实验证实了电磁波的存在，也证实了光其实是电磁波的一
　　种，两者具有共同的波的特性。这就为光的本性之争画上了一个似乎已经是不可更改的句
　　号。

　　说到这里，我们的故事要先回一回头，穿越时空去回顾一下有关于光的这场大战。这也许
　　是物理史上持续时间最长，程度最激烈的一场论战。它几乎贯穿于整个现代物理的发展过
　　程中，在历史上烧灼下了永不磨灭的烙印。

　　光，是每个人见得最多的东西（“见得最多”在这里用得真是一点也不错）。自古以来，
　　它就被理所当然地认为是这个宇宙最原始的事物之一。在远古的神话中，往往是“一道亮
　　光”劈开了混沌和黑暗，于是世界开始了运转。光在人们的心目中，永远代表着生命，活
　　力和希望。在《圣经》里，神要创造世界，首先要创造的就是光，可见它在这个宇宙中所
　　占的独一无二的地位。

　　可是，光究竟是一种什么东西？或者，它究竟是不是一种“东西”呢？

　　远古时候的人们似乎是不把光作为一种实在的事物的，光亮与黑暗，在他们看来只是一种
　　环境的不同罢了。只有到了古希腊，科学家们才开始好好地注意起光的问题来。有一样事
　　情是肯定的：我们之所以能够看见东西，那是因为光在其中作用的结果。人们于是猜想，
　　光是一种从我们的眼睛里发射出去的东西，当它到达某样事物的时候，这样事物就被我们
　　所“看见”了。比如恩培多克勒（Empedocles）就认为世界是由水、火、气、土四大元素
　　组成的，而人的眼睛是女神阿芙罗狄忒（Aphrodite）用火点燃的，当火元素（也就是光
　　。古时候往往光、火不分）从人的眼睛里喷出到达物体时，我们就得以看见事物。

　　但显而易见，这种解释是不够的。它可以说明为什么我们睁着眼可以看见，而闭上眼睛就
　　不行；但它解释不了为什么在暗的地方，我们即使睁着眼睛也看不见东西。为了解决这个
　　困难，人们引进了复杂得多的假设。比如认为有三种不同的光，分别来源于眼睛，被看到
　　的物体和光源，而视觉是三者综合作用的结果。

　　这种假设无疑是太复杂了。到了罗马时代，伟大的学者卢克莱修（Lucretius）在其不朽
　　著作《物性论》中提出，光是从光源直接到达人的眼睛的，但是他的观点却始终不为人们
　　所接受。对光成像的正确认识直到公元1000年左右才被一个波斯的科学家阿尔&#8226;哈
　　桑（al-Haytham）所提出：原来我们之所以能够看到物体，只是由于光从物体上反射到我
　　们眼睛里的结果。他提出了许多证据来证明这一点，其中最有力的就是小孔成像的实验，
　　当我们亲眼看到光通过小孔后成了一个倒立的像，我们就无可怀疑这一说法的正确性了。

　　关于光的一些性质，人们也很早就开始研究了。基于光总是走直线的假定，欧几里德（Eu
　　clid）在《反射光学》（Catoptrica）一书里面就研究了光的反射问题。托勒密（Ptolem
　　y）、哈桑和开普勒（Johannes Kepler）都对光的折射作了研究，而荷兰物理学家斯涅耳
　　（W.Snell）则在他们的工作基础上于1621年总结出了光的折射定律。最后，光的种种性
　　质终于被有“业余数学之王”之称的费尔马（Pierre de Fermat）所归结为一个简单的法
　　则，那就是“光总是走最短的路线”。光学终于作为一门物理学科被正式确立起来。

　　但是，当人们已经对光的种种行为了如指掌的时候，却依然有一个最基本的问题没有得到
　　解决，那就是：“光在本质上到底是一种什么东西？”这个问题看起来似乎并没有那么难
　　回答，但人们大概不会想到，对于这个问题的探究居然会那样地旷日持久，而这一探索的
　　过程，对物理学的影响竟然会是那么地深远和重大，其意义超过当时任何一个人的想象。

　　古希腊时代的人们总是倾向于把光看成是一种非常细小的粒子流，换句话说光是由一粒粒
　　非常小的“光原子”所组成的。这种观点一方面十分符合当时流行的元素说，另外一方面
　　，当时的人们除了粒子之外对别的物质形式也了解得不是太多。这种理论，我们把它称之
　　为光的“微粒说”。微粒说从直观上看来是很有道理的，首先它就可以很好地解释为什么
　　光总是沿着直线前进，为什么会严格而经典地反射，甚至折射现象也可以由粒子流在不同
　　介质里的速度变化而得到解释。但是粒子说也有一些显而易见的困难：比如人们当时很难
　　说清为什么两道光束相互碰撞的时候不会互相弹开，人们也无法得知，这些细小的光粒子
　　在点上灯火之前是隐藏在何处的，它们的数量是不是可以无限多，等等。

　　当黑暗的中世纪过去之后，人们对自然世界有了进一步的认识。波动现象被深入地了解和
　　研究，声音是一种波动的认识也逐渐为人们所接受。人们开始怀疑：既然声音是一种波，
　　为什么光不能够也是波呢？十七世纪初，笛卡儿（Des Cartes）在他《方法论》的三个附
　　录之一《折光学》中率先提出了这样的可能：光是一种压力，在媒质里传播。不久后，意
　　大利的一位数学教授格里马第（Francesco Maria Grimaldi）做了一个实验，他让一束光
　　穿过两个小孔后照到暗室里的屏幕上，发现在投影的边缘有一种明暗条纹的图像。格里马
　　第马上联想起了水波的衍射（这个大家在中学物理的插图上应该都见过），于是提出：光
　　可能是一种类似水波的波动，这就是最早的光波动说。

　　波动说认为，光不是一种物质粒子，而是由于介质的振动而产生的一种波。我们想象一下
　　水波，它不是一种实际的传递，而是沿途的水面上下振动的结果。光的波动说容易解释投
　　影里的明暗条纹，也容易解释光束可以互相穿过互不干扰。关于直线传播和反射的问题，
　　人们很快就认识到光的波长是很短的，在大多数情况下，光的行为就犹同经典粒子一样。
　　而衍射实验则更加证明了这一点。但是波动说有一个基本的难题，那就是任何波动都需要
　　有介质才能够传递，比如声音，在真空里就无法传播。而光则不然，它似乎不需要任何媒
　　介就可以任意地前进。举一个简单的例子，星光可以穿过几乎虚无一物的太空来到地球，
　　这对波动说显然是非常不利的。但是波动说巧妙地摆脱了这个难题：它假设了一种看不见
　　摸不着的介质来实现光的传播，这种介质有一个十分响亮而让人印象深刻的名字，叫做“
　　以太”（Aether）。

　　就在这样一种奇妙的气氛中，光的波动说登上了历史舞台。我们很快就会看到，这个新生
　　力量似乎是微粒说的前世冤家，它命中注定要与后者开展一场长达数个世纪之久的战争。
　　他们两个的命运始终互相纠缠在一起，如果没有了对方，谁也不能说自己还是完整的。到
　　了后来，他们简直就是为了对手而存在着。这出精彩的戏剧从一开始的伏笔，经过两个起
　　落，到达令人眼花缭乱的高潮。而最后绝妙的结局则更让我们相信，他们的对话几乎是一
　　种可遇而不可求的缘分。17世纪中期，正是科学的黎明到来之前那最后的黑暗，谁也无法
　　预见这两朵小火花即将要引发一场熊熊大火。

　　\*\*\*\*\*\*\*\*
　　饭后闲话：说说“以太”（Aether）。

　　正如我们在上面所看到的，以太最初是作为光波媒介的假设而提出的。但“以太”一词的
　　由来则早在古希腊：亚里士多德在《论天》一书里阐述了他对天体的认识。他认为日月星
　　辰围绕着地球运转，但其组成却不同与地上的四大元素水火气土。天上的事物应该是完美
　　无缺的，它们只能由一种更为纯洁的元素所构成，这就是亚里士多德所谓的“第五元素”
　　——以太（希腊文的αηθηρ）。而自从这个概念被借用到科学里来之后，以太在历史
　　上的地位可以说是相当微妙的，一方面，它曾经扮演过如此重要的角色，以致成为整个物
　　理学的基础；另一方面，当它荣耀不再时，也曾受尽嘲笑。虽然它不甘心地再三挣扎，改
　　换头面，赋予自己新的意义，却仍然逃不了最终被抛弃的命运，甚至有段时间几乎成了伪
　　科学的专用词。但无论怎样，以太的概念在科学史上还是占有它的地位的，它曾经代表的
　　光媒以及绝对参考系，虽然已经退出了舞台，但直到今天，仍然能够唤起我们对那段黄金
　　岁月的怀念。它就像是一张泛黄的照片，记载了一个贵族光荣的过去。今天，以太（Ethe
　　r）作为另外一种概念用来命名一种网络协议（Ethernet），看到这个词的时候，是不是
　　也每每生出几许慨叹？

　　向以太致敬。

三

　　上次说到，关于光究竟是什么的问题，在十七世纪中期有了两种可能的假设：微粒说和波
　　动说。

　　然而在一开始的时候，双方的武装都是非常薄弱的。微粒说固然有着悠久的历史，但是它
　　手中的力量是很有限的。光的直线传播问题和反射折射问题本来是它的传统领地，但波动
　　方面军队在发展了自己的理论后，迅速就在这两个战场上与微粒平分秋色。而波动论作为
　　一种新兴的理论，格里马第的光衍射实验是它发家的最大法宝，但它却拖着一个沉重的包
　　袱，就是光以太的假设，这个凭空想象出来的媒介，将在很长一段时间里成为波动军队的
　　累赘。

　　两支力量起初并没有发生什么武装冲突。在笛卡儿的《方法论》那里，他们还依然心平气
　　和地站在一起供大家检阅。导致“第一次微波战争”爆发的导火索是波义耳（Robert
　　Boyle，中学里学过波马定律的朋友一定还记得这个讨厌的爱尔兰人？）在1663年提出的
　　一个理论。他认为我们看到的各种颜色，其实并不是物体本身的属性，而是光照上去才产
　　生的效果。这个论调本身并没有关系到微粒波动什么事，但是却引起了对颜色属性的激烈
　　争论。

　　在格里马第的眼里，颜色的不同，是因为光波频率的不同而引起的。他的实验引起了胡克
　　（Robert Hooke）的兴趣。胡克本来是波义耳的实验助手，当时是英国皇家学会的会员，
　　同时也兼任实验管理员。他重复了格里马第的工作，并仔细观察了光在肥皂泡里映射出的
　　色彩以及光通过薄云母片而产生的光辉。根据他的判断，光必定是某种快速的脉冲，于是
　　他在1665年出版的《显微术》（Micrographia）一书中明确地支持波动说。《显微术》这
　　本著作很快为胡克赢得了世界性的学术声誉，波动说由于这位大将的加入，似乎也在一时
　　占了上风。

　　然而不知是偶然，还是冥冥之中自有安排，一件似乎无关的事情改变了整个战局的发展。

　　1672年，一位叫做艾萨克&#8226;牛顿的年轻人向皇家学会评议委员会递交了一篇论文，
　　名字叫做《关于光与色的新理论》。牛顿当时才30岁，刚刚当选为皇家学会的会员。这是
　　牛顿所发表的第一篇正式科学论文，其内容是关于他所做的光的色散实验的，这也是牛顿
　　所做的最为有名的实验之一。实验的情景在一些科学书籍里被渲染得十分impressive：炎
　　热难忍的夏天，牛顿却戴着厚重的假发呆在一间小屋里。四面窗户全都被封死了，屋子里
　　面又闷又热，一片漆黑，只有一束亮光从一个特意留出的小孔里面射进来。牛顿不顾身上
　　汗如雨下，全神贯注地在屋里走来走去，并不时地把手里的一个三棱镜插进那个小孔里。
　　每当三棱镜被插进去的时候，原来的那束白光就不见了，而在屋里的墙上，映射出了一条
　　长长的彩色宽带：颜色从红一直到紫。牛顿凭借这个实验，得出了白色光是由七彩光混合
　　而成的结论。

　　然而在这篇论文中，牛顿把光的复合和分解比喻成不同颜色微粒的混合和分开。胡克和波
　　义耳正是当时评议会的成员，他们对此观点进行了激烈的抨击。胡克声称，牛顿论文中正
　　确的部分（也就是色彩的复合）是窃取了他1665年的思想，而牛顿“原创”的微粒说则不
　　值一提。牛顿大怒，马上撤回了论文，并赌气般地宣称不再发表任何研究成果。

　　其实在此之前，牛顿的观点还是在微粒和波动之间有所摇摆的，并没有完全否认波动说。
　　1665年，胡克发表他的观点时，牛顿还刚刚从剑桥三一学院毕业，也许还在苹果树前面思
　　考他的万有引力问题呢。但在这件事之后，牛顿开始一面倒地支持微粒说。这究竟是因为
　　报复心理，还是因为科学精神，今天已经无法得知了，想来两方面都有其因素吧。不过牛
　　顿的性格是以小气和斤斤计较而闻名的，这从以后他和莱布尼兹关于微积分发明的争论中
　　也可见一斑。

　　但是，一方面因为胡克的名气，另一方面也因为牛顿的注意力更多地转移到了运动学和力
　　学方面，牛顿暂时仍然没有正式地全面论证微粒说（只是在几篇论文中反驳了胡克）。而
　　这时候，波动方面军开始了他们的现代化进程——用理论来装备自己。荷兰物理学家惠更
　　斯（Christiaan Huygens）成为了波动说的主将。

　　惠更斯在数学理论方面是具有十分高的天才的，他继承了胡克的思想，认为光是一种在以
　　太里传播的纵波，并引入了“波前”的概念，成功地证明和推导了光的反射和折射定律。
　　他的波动理论虽然还十分粗略，但是所取得的成功却是杰出的。当时随着光学研究的不断
　　深入，新的战场不断被开辟：1665年，牛顿在实验中发现如果让光通过一块大曲率凸透镜
　　照射到光学平玻璃板上，会看见在透镜与玻璃平板接触处出现一组彩色的同心环条纹，也
　　就是著名的“牛顿环”（对图象和摄影有兴趣的朋友一定知道）。到了1669年，丹麦的巴
　　塞林那斯(E.Bartholinus)发现当光在通过方解石晶体时，会出现双折射现象。惠更斯将
　　他的理论应用于这些新发现上面，发现他的波动军队可以容易地占领这些新辟的阵地，只
　　需要作小小的改制即可（比如引进椭圆波的概念）。1690年，惠更斯的著作《光论》（Tr
　　aite de la Lumiere）出版，标志着波动说在这个阶段到达了一个兴盛的顶点。

　　不幸的是，波动方面暂时的得势看来注定要成为昙花一现的泡沫。因为在他们的对手那里
　　站着一个光芒四射的伟大人物：艾萨克&#8226;牛顿先生（而且马上就要成为爵士）。这
　　位科学巨人——不管他是出于什么理由——已经决定要给予波动说的军队以毫不留情的致
　　命打击。为了避免再次引起和胡克之间的争执，导致不必要的误解，牛顿在战术上也进行
　　了精心的安排。直到胡克去世后的第二年，也就是1704年，牛顿才出版了他的煌煌巨著《
　　光学》（Opticks）。在这本划时代的作品中，牛顿详尽地阐述了光的色彩叠合与分散，
　　从粒子的角度解释了薄膜透光，牛顿环以及衍射实验中发现的种种现象。他驳斥了波动理
　　论，质疑如果光如同声波一样，为什么无法绕开障碍物前进。他也对双折射现象进行了研
　　究，提出了许多用波动理论无法解释的问题。而粒子方面的基本困难，牛顿则以他的天才
　　加以解决。他从波动对手那里吸收了许多东西，比如将波的一些有用的概念如振动，周期
　　等引入微粒论，从而很好地解答了牛顿环的难题。在另一方面，牛顿把粒子说和他的力学
　　体系结合在了一起，于是使得这个理论顿时呈现出无与伦比的力量。

　　这完全是一次摧枯拉朽般的打击。那时的牛顿，已经再不是那个可以在评议会上被人质疑
　　的青年。那时的牛顿，已经是出版了《数学原理》的牛顿，已经是发明了微积分的牛顿。
　　那个时候，他已经是国会议员，皇家学会会长，已经成为科学史上神话般的人物。在世界
　　各地，人们对他的力学体系顶礼膜拜，仿佛见到了上帝的启示。而波动说则群龙无首（惠
　　更斯也早于1695年去世），这支失去了领袖的军队还没有来得及在领土上建造几座坚固一
　　点的堡垒，就遭到了毁灭性的打击。他们惊恐万状，溃不成军，几乎在一夜之间丧失了所
　　有的阵地。这一方面是因为波动自己的防御工事有不足之处，它的理论仍然不够完善，另
　　一方面也实在是因为对手的实力过于强大：牛顿作为光学界的泰斗，他的才华和权威是不
　　容质疑的。第一次微波战争就这样以波动的惨败而告终，战争的结果是微粒说牢牢占据了
　　物理界的主流。波动被迫转入地下，在长达整整一个世纪的时间里都抬不起头来。然而，
　　它却仍然没有被消灭，惠更斯等人所做的开创性工作使得它仍然具有顽强的生命力，默默
　　潜伏着以待东山再起的那天。

　　\*\*\*\*\*\*\*\*\*
　　饭后闲话：胡克与牛顿

　　胡克和牛顿在历史上也算是一对欢喜冤家。两个人都在力学，光学，仪器等方面有着伟大
　　的贡献。两人互相启发，但是之间也存在着不少的争论。除了关于光本性的争论之外，他
　　们之间还有一个争执，那就是万有引力的平方反比定律究竟是谁发现的问题。胡克在力学
　　与行星运动方面花过许多心血，他深入研究了开普勒定律，于1964年提出了行星轨道因引
　　力而弯曲成椭圆的观点。1674年他根据修正的惯性原理，提出了行星运动的理论。1679年
　　，他在写给牛顿的信中，提出了引力大小与距离的平方成反比这个概念，但是说得比较模
　　糊，并未加之量化（原文是：…my supposition is that the Attraction always is in
　　a duplicate proportion to the distance from the center reciprocal）。在牛顿的
　　《原理》出版之后，胡克要求承认他对这个定律的优先发现，但牛顿最后的回答却是把所
　　有涉及胡克的引用都从《原理》里面给删掉了。

　　应该说胡克也是一位伟大的科学家，他曾帮助波义耳发现波义耳定律，用自己的显微镜发
　　现了植物的细胞，他在地质学方面的工作（尤其是对化石的观测）影响了这个学科整整30
　　年，他发明和制造的仪器（如显微镜、空气唧筒、发条摆轮、轮形气压表等）在当时无与
　　伦比。他所发现的弹性定律是力学最重要的定律之一。在那个时代，他在力学和光学方面
　　是仅次于牛顿的伟大科学家，可是似乎他却永远生活在牛顿的阴影里。今天的牛顿名满天
　　下，但今天的中学生只有从课本里的胡克定律（弹性定律）才知道胡克的名字，胡克死前
　　已经变得愤世嫉俗，字里行间充满了挖苦。他死后连一张画像也没有留下来，据说是因为
　　他“太丑了”。

　　四

　　上次说到，在微粒与波动的第一次交锋中，以牛顿为首的微粒说战胜了波动，取得了在物
　　理上被普遍公认的地位。

　　转眼间，近一个世纪过去了。牛顿体系的地位已经是如此地崇高，令人不禁有一种目眩的
　　感觉。而他所提倡的光是一种粒子的观念也已经是如此地深入人心，以致人们几乎都忘了
　　当年它那对手的存在。

　　然而1773年的6月13日，英国米尔沃顿（Milverton）的一个教徒的家庭里诞生了一个男孩
　　，叫做托马斯&#8226;杨（Thomas Young）。这个未来反叛派领袖的成长史是一个典型的
　　天才历程，他两岁的时候就能够阅读各种经典，6岁时开始学习拉丁文，14岁就用拉丁文
　　写过一篇自传，到了16岁时他已经能够说10种语言，并学习了牛顿的《数学原理》以及拉
　　瓦锡的《化学纲要》等科学著作。

　　杨19岁的时候，受到他那当医生的叔父的影响，决定去伦敦学习医学。在以后的日子里，
　　他先后去了爱丁堡和哥廷根大学攻读，最后还是回到剑桥的伊曼纽尔学院终结他的学业。
　　在他还是学生的时候，杨研究了人体上眼睛的构造，开始接触到了光学上的一些基本问题
　　，并最终形成了他的光是波动的想法。杨的这个认识，是来源于波动中所谓的“干涉”现
　　象。

　　我们都知道，普通的物质是具有累加性的，一滴水加上一滴水一定是两滴水，而不会一起
　　消失。但是波动就不同了，一列普通的波，它有着波的高峰和波的谷底，如果两列波相遇
　　，当它们正好都处在高峰时，那么叠加起来的这个波就会达到两倍的峰值，如果都处在低
　　谷时，叠加的结果就会是两倍深的谷底。但是，等等，如果正好一列波在它的高峰，另外
　　一列波在它的谷底呢？

　　答案是它们会互相抵消。如果两列波在这样的情况下相遇（物理上叫做“反相”），那么
　　在它们重叠的地方，将会波平如镜，既没有高峰，也没有谷底。这就像一个人把你往左边
　　拉，另一个人用相同的力气把你往右边拉，结果是你会站在原地不动。

　　托马斯&#8226;杨在研究牛顿环的明暗条纹的时候，被这个关于波动的想法给深深打动了
　　。为什么会形成一明一暗的条纹呢？一个思想渐渐地在杨的脑海里成型：用波来解释不是
　　很简单吗？明亮的地方，那是因为两道光正好是“同相”的，它们的波峰和波谷正好相互
　　增强，结果造成了两倍光亮的效果（就好像有两个人同时在左边或者右边拉你）；而黑暗
　　的那些条纹，则一定是两道光处于“反相”，它们的波峰波谷相对，正好互相抵消了（就
　　好像两个人同时在两边拉你）。这一大胆而富于想象的见解使杨激动不已，他马上着手进
　　行了一系列的实验，并于1801年和1803年分别发表论文报告，阐述了如何用光波的干涉效
　　应来解释牛顿环和衍射现象。甚至通过他的实验数据，计算出了光的波长应该在1/36000
　　至1/60000英寸之间。

　　在1807年，杨总结出版了他的《自然哲学讲义》，里面综合整理了他在光学方面的工作，
　　并在里面第一次描述了他那个名扬四海的实验：光的双缝干涉。后来的历史证明，这个实
　　验完全可以跻身于物理学史上最经典的前五个实验之列，而在今天，它已经出现在每一本
　　中学物理的教科书上。

　　杨的实验手段极其简单：把一支蜡烛放在一张开了一个小孔的纸前面，这样就形成了一个
　　点光源（从一个点发出的光源）。现在在纸后面再放一张纸，不同的是第二张纸上开了两
　　道平行的狭缝。从小孔中射出的光穿过两道狭缝投到屏幕上，就会形成一系列明、暗交替
　　的条纹，这就是现在众人皆知的干涉条纹。

　　杨的著作点燃了革命的导火索，物理史上的“第二次微波战争”开始了。波动方面军在经
　　过了百年的沉寂之后，终于又回到了历史舞台上来。但是它当时的日子并不是好过的，在
　　微粒大军仍然一统天下的年代，波动的士兵们衣衫褴褛，缺少后援，只能靠游击战来引起
　　人们对它的注意。杨的论文开始受尽了权威们的嘲笑和讽刺，被攻击为“荒唐”和“不合
　　逻辑”，在近20年间竟然无人问津。杨为了反驳专门撰写了论文，但是却无处发表，只好
　　印成小册子，但是据说发行后“只卖出了一本”。

　　不过，虽然高傲的微粒仍然沉醉在牛顿时代的光荣之中，一开始并不把起义的波动叛乱分
　　子放在眼睛里。但他们很快就发现，这些反叛者虽然人数不怎么多，服装并不那么整齐，
　　但是他们的武器却今非昔比。在受到了几次沉重的打击后，干涉条纹这门波动大炮的杀伤
　　力终于惊动整个微粒军团。这个简单巧妙的实验所揭示出来的现象证据确凿，几乎无法反
　　驳。无论微粒怎么样努力，也无法躲开对手的无情轰炸：它就是难以说明两道光叠加在一
　　起怎么会反而造成黑暗。而波动的理由却是简单而直接的：两个小孔距离屏幕上某点的距
　　离会有所不同。当这个距离是波长的整数值时，两列光波正好互相加强，就形成亮点。反
　　之，当距离差刚好造成半个波长的相位差时，两列波就正好互相抵消，造成暗点。理论计
　　算出的明亮条纹距离和实验值分毫不差。

　　在节节败退后，微粒终于发现自己无法抵挡对方的进攻。于是它采取了以攻代守的战略。
　　许多对波动说不利的实验证据被提出来以证明波动说的矛盾。其中最为知名的就是马吕斯
　　（Etienne Louis Malus）在1809年发现的偏振现象，这一现象和已知的波动论有抵触的
　　地方。两大对手开始相持不下，但是各自都没有放弃自己获胜的信心。杨在给马吕斯的信
　　里说：“……您的实验只是证明了我的理论有不足之处，但没有证明它是虚假的。”

　　决定性的时刻在1819年到来了。最后的决战起源于1818年法国科学院的一个悬赏征文竞赛
　　。竞赛的题目是利用精密的实验确定光的衍射效应以及推导光线通过物体附近时的运动情
　　况。竞赛评委会由许多知名科学家组成，这其中包括比奥（J.B.Biot）、拉普拉斯（Pier
　　re Simon de Laplace）和泊松（S.D.Poission），都是积极的微粒说拥护者。组织这个
　　竞赛的本意是希望通过微粒说的理论来解释光的衍射以及运动，以打击波动理论。

　　但是戏剧性的情况出现了。一个不知名的法国年轻工程师——菲涅耳（Augustin
　　Fresnel，当时他才31岁）向组委会提交了一篇论文《关于偏振光线的相互作用》。在这
　　篇论文里，菲涅耳采用了光是一种波动的观点，但是革命性地认为光是一种横波（也就是
　　类似水波那样，振子作相对传播方向垂直运动的波）而不像从胡克以来一直所认为的那样
　　是一种纵波（类似弹簧波，振子作相对传播方向水平运动的波）。从这个观念出发，他以
　　严密的数学推理，圆满地解释了光的衍射，并解决了一直以来困扰波动说的偏振问题。他
　　的体系完整而无缺，以致委员会成员为之深深惊叹。泊松并不相信这一结论，对它进行了
　　仔细的审查，结果发现当把这个理论应用于圆盘衍射的时候，在阴影中间将会出现一个亮
　　斑。这在泊松看来是十分荒谬的，影子中间怎么会出现亮斑呢？这差点使得菲涅尔的论文
　　中途夭折。但菲涅耳的同事阿拉果（Fran&ccedil;ois Arago）在关键时刻坚持要进行实
　　验检测，结果发现真的有一个亮点如同奇迹一般地出现在圆盘阴影的正中心，位置亮度和
　　理论符合得相当完美。

　　菲涅尔理论的这个胜利成了第二次微波战争的决定性事件。他获得了那一届的科学奖（Gr
　　and Prix），同时一跃成为了可以和牛顿，惠更斯比肩的光学界的传奇人物。圆盘阴影正
　　中的亮点（后来被相当有误导性地称作“泊松亮斑”）成了波动军手中威力不下于干涉条
　　纹的重武器，给了微粒势力以致命的一击。起义者的烽火很快就燃遍了光学的所有领域，
　　把微粒从统治的地位赶了下来，后者在严厉的打击下捉襟见肘，节节溃退，到了19世纪中
　　期，微粒说挽回战局的唯一希望就是光速在水中的测定结果了。因为根据粒子论，这个速
　　度应该比真空中的光速要快，而根据波动论，这个速度则应该比真空中要慢才对。

　　然而不幸的微粒军团终于在1819年的莫斯科严冬之后，又于1850年迎来了它的滑铁卢。这
　　一年的5月6日，傅科（Foucault，他后来以“傅科摆”实验而闻名）向法国科学院提交了
　　他关于光速测量实验的报告。在准确地得出光在真空中的速度之后，他也进行了水中光速
　　的测量，发现这个值小于真空中的速度。这一结果彻底宣判了微粒说的死刑，波动论终于
　　在100多年后革命成功，登上了物理学统治地位的宝座。在胜利者的一片欢呼声中，第二
　　次微波战争随着微粒的战败而宣告结束。

　　但是波动内部还是有一个小小的困难，就是以太的问题。光是一种横波的事实已经十分清
　　楚，它传播的速度也得到了精确测量，这个数值达到了30万公里/秒，是一个惊人的高速
　　。通过传统的波动论，我们必然可以得出它的传播媒介的性质：这种媒介必定是十分地坚
　　硬，比最硬的物质金刚石还要硬上不知多少倍。然而事实是从来就没有任何人能够看到或
　　者摸到这种“以太”，也没有实验测定到它的存在。星光穿越几亿亿公里的以太来到地球
　　，然而这些坚硬无比的以太却不能阻挡任何一颗行星或者彗星的运动，哪怕是最微小的也
　　不行！

　　波动对此的解释是以太是一种刚性的粒子，但是它却是如此稀薄，以致物质在穿过它们时
　　几乎完全不受到任何阻力，“就像风穿过一小片丛林”（托马斯&#8226;杨语）。以太在
　　真空中也是绝对静止的，只有在透明物体中，可以部分地被拖曳（菲涅耳的部分拖曳假说
　　）。

　　这个观点其实是十分牵强的，但是波动说并没有为此困惑多久。因为更加激动人心的胜利
　　很快就到来了。伟大的麦克斯韦于1856，1861和1865年发表了三篇关于电磁理论的论文，
　　这是一个开天辟地的工作，它在牛顿力学的大厦上又完整地建立起了另一座巨构，而且其
　　辉煌灿烂绝不亚于前者。麦克斯韦的理论预言，光其实只是电磁波的一种。这段文字是他
　　在1861年的第二篇论文《论物理力线》里面特地用斜体字写下的。而我们在本章的一开始
　　已经看到，这个预言是怎么样由赫兹在1887年用实验证实了的。波动说突然发现，它已经
　　不仅仅是光领域的统治者，而是业已成为了整个电磁王国的最高司令官。波动的光辉到达
　　了顶点，只要站在大地上，它的力量就像古希腊神话中的巨人那样，是无穷无尽而不可战
　　胜的。而它所依靠的大地，就是麦克斯韦不朽的电磁理论。

　　\*\*\*\*\*\*\*\*\*
　　饭后闲话：阿拉果（Dominique Fran&ccedil;ois Jean Arago）的遗憾

　　阿拉果一向是光波动说的捍卫者，他和菲涅耳在光学上其实是长期合作的。菲涅耳关于光
　　是横波的思想，最初还是来源于托马斯&#8226;杨写给阿拉果的一封信。而对于相互垂直
　　的两束偏振光线的相干性的研究，是他和菲涅耳共同作出的，两人的工作明确了来自同一
　　光源但偏振面相互垂直的两支光束，不能发生干涉。但在双折射和偏振现象上，菲涅耳显
　　然更具有勇气和革命精神，在两人完成了《关于偏振光线的相互作用》这篇论文后，菲涅
　　耳指出只有假设光是一种横波，才能完满地解释这些现象，并给出了推导。然而阿拉果对
　　此抱有怀疑态度，认为菲涅耳走得太远了。他坦率地向菲涅耳表示，自己没有勇气发表这
　　个观点，并拒绝在这部分论文后面署上自己的名字。于是最终菲涅耳以自己一个人的名义
　　提交了这部分内容，引起了科学院的震动，而最终的实验却表明他是对的。

　　这大概是阿拉果一生中最大的遗憾，他本有机会和菲涅耳一样成为在科学史上大名鼎鼎的
　　人物。当时的菲涅耳还是无名小辈，而他在学界却已经声名显赫，被选入法兰西研究院时
　　，得票甚至超过了著名的泊松。其实在光波动说方面，阿拉果做出了许多杰出的贡献，不
　　在菲涅耳之下，许多还是两人互相启发而致的。在菲涅耳面临泊松的质问时，阿拉果仍然
　　站在了菲涅耳一边，正是他的实验证实了泊松光斑的存在，使得波动说取得了最后的胜利
　　。但关键时候的迟疑，却最终使得他失去了“物理光学之父”的称号。这一桂冠如今戴在
　　菲涅耳的头上。

　　上次说到，随着麦克斯韦的理论为赫兹的实验所证实，光的波动说终于成为了一个板上钉
　　钉的事实。

　　波动现在是如此地强大。凭借着麦氏理论的力量，它已经彻底地将微粒打倒，并且很快就
　　拓土开疆，建立起一个空前的大帝国来。不久后，它的领土就横跨整个电磁波的频段，从
　　微波到X射线，从紫外线到红外线，从γ射线到无线电波……普通光线只是它统治下的一
　　个小小的国家罢了。波动君临天下，振长策而御宇内，四海之间莫非王土。而可怜的微粒
　　早已销声匿迹，似乎永远也无法翻身了。

　　赫兹的实验也同时标志着经典物理的顶峰。物理学的大厦从来都没有这样地金壁辉煌，令
　　人叹为观止。牛顿的力学体系已经是如此雄伟壮观，现在麦克斯韦在它之上又构建起了同
　　等规模的另一幢建筑，它的光辉灿烂让人几乎不敢仰视。电磁理论在数学上完美得难以置
　　信，著名的麦氏方程组刚一问世，就被世人惊为天物。它所表现出的深刻、对称、优美使
　　得每一个科学家都陶醉在其中，玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann）情不自禁地引用歌德的诗
　　句说：“难道是上帝写的这些吗？”一直到今天，麦氏方程组仍然被公认为科学美的典范
　　，即使在还没有赫兹的实验证实之前，已经广泛地为人们所认同。许多伟大的科学家都为
　　它的魅力折服，并受它深深的影响，有着对于科学美的坚定信仰，甚至认为：对于一个科
　　学理论来说，简洁优美要比实验数据的准确来得更为重要。无论从哪个意义上来说，电磁
　　论都是一种伟大的理论。罗杰&#8226;彭罗斯（Roger Penrose）在他的名著《皇帝新脑》
　　（The Emperor’s New Mind）一书里毫不犹豫地将它和牛顿力学，相对论和量子论并列
　　，称之为“Superb”的理论。

　　物理学征服了世界。在19世纪末，它的力量控制着一切人们所知的现象。古老的牛顿力学
　　城堡历经岁月磨砺风雨吹打而始终屹立不倒，反而更加凸现出它的伟大和坚固来。从天上
　　的行星到地上的石块，万物都必恭必敬地遵循着它制定的规则。1846年海王星的发现，更
　　是它所取得的最伟大的胜利之一。在光学的方面，波动已经统一了天下，新的电磁理论更
　　把它的光荣扩大到了整个电磁世界。在热的方面，热力学三大定律已经基本建立（第三定
　　律已经有了雏形），而在克劳修斯（Rudolph Clausius）、范德瓦尔斯（J.D. Van der
　　Waals）、麦克斯韦、玻尔兹曼和吉布斯（Josiah Willard Gibbs）等天才的努力下，分
　　子运动论和统计热力学也被成功地建立起来了。更令人惊奇的是，这一切都彼此相符而互
　　相包容，形成了一个经典物理的大同盟。经典力学、经典电动力学和经典热力学（加上统
　　计力学）形成了物理世界的三大支柱。它们紧紧地结合在一块儿，构筑起了一座华丽而雄
　　伟的殿堂。

　　这是一段伟大而光荣的日子，是经典物理的黄金时代。科学的力量似乎从来都没有这样地
　　强大，这样地令人神往。人们也许终于可以相信，上帝造物的奥秘被他们所完全掌握了，
　　再没有遗漏的地方。从当时来看，我们也许的确是有资格这样骄傲的，因为所知道的一切
　　物理现象，几乎都可以从现成的理论里得到解释。力、热、光、电、磁……一切的一切，
　　都在控制之中，而且用的是同一种手法。物理学家们开始相信，这个世界所有的基本原理
　　都已经被发现了，物理学已经尽善尽美，它走到了自己的极限和尽头，再也不可能有任何
　　突破性的进展了。如果说还有什么要做的事情，那就是做一些细节上的修正和补充，更加
　　精确地测量一些常数值罢了。人们开始倾向于认为：物理学已经终结，所有的问题都可以
　　用这个集大成的体系来解决，而不会再有任何真正激动人心的发现了。一位著名的科学家
　　（据说就是伟大的开尔文勋爵）说：“物理学的未来，将只有在小数点第六位后面去寻找
　　”。普朗克的导师甚至劝他不要再浪费时间去研究这个已经高度成熟的体系。

　　19世纪末的物理学天空中闪烁着金色的光芒，象征着经典物理帝国的全盛时代。这样的伟
　　大时期在科学史上是空前的，或许也将是绝后的。然而，这个统一的强大帝国却注定了只
　　能昙花一现。喧嚣一时的繁盛，终究要像泡沫那样破灭凋零。

　　今天回头来看，赫兹1887年的电磁波实验（准确地说，是他于1887－1888年进行的一系列
　　的实验）的意义应该是复杂而深远的。它一方面彻底建立了电磁场论，为经典物理的繁荣
　　添加了浓重的一笔；在另一方面，它却同时又埋藏下了促使经典物理自身毁灭的武器，孕
　　育出了革命的种子。

　　我们还是回到我们故事的第一部分那里去：在卡尔斯鲁厄大学的那间实验室里，赫兹铜环
　　接收器的缺口之间不停地爆发着电火花，明白无误地昭示着电磁波的存在。

　　但偶然间，赫兹又发现了一个奇怪的现象：当有光照射到这个缺口上的时候，似乎火花就
　　出现得更容易一些。

　　赫兹把这个发现也写成了论文发表，但在当时并没有引起很多的人的注意。当时，学者们
　　在为电磁场理论的成功而欢欣鼓舞，马可尼们在为了一个巨大的商机而激动不已，没有人
　　想到这篇论文的真正意义。连赫兹自己也不知道，量子存在的证据原来就在他的眼前，几
　　乎是触手可得。不过，也许量子的概念太过爆炸性，太过革命性，命运在冥冥中安排了它
　　必须在新的世纪中才可以出现，而把怀旧和经典留给了旧世纪吧。只是可惜赫兹走得太早
　　，没能亲眼看到它的诞生，没能目睹它究竟将要给这个世界带来什么样的变化。

　　终于，在经典物理还没有来得及多多体味一下自己的盛世前，一连串意想不到的事情在19
　　世纪的最后几年连续发生了，仿佛是一个不祥的预兆。

　　1895年，伦琴（Wilhelm Konrad Rontgen）发现了X射线。
　　1896年，贝克勒尔（Antoine Herni Becquerel）发现了铀元素的放射现象。
　　1897年，居里夫人（Marie Curie）和她的丈夫皮埃尔&#8226;居里研究了放射性，并发现
　　了更多的放射性元素：钍、钋、镭。
　　1897年，J.J.汤姆逊（Joseph John Thomson）在研究了阴极射线后认为它是一种带负电
　　的粒子流。电子被发现了。
　　1899年，卢瑟福（Ernest Rutherford）发现了元素的嬗变现象。

　　如此多的新发现接连涌现，令人一时间眼花缭乱。每一个人都开始感觉到了一种不安，似
　　乎有什么重大的事件即将发生。物理学这座大厦依然耸立，看上去依然那么雄伟，那么牢
　　不可破，但气氛却突然变得异常凝重起来，一种山雨欲来的压抑感觉在人们心中扩散。新
　　的世纪很快就要来到，人们不知道即将发生什么，历史将要何去何从。眺望天边，人们隐
　　约可以看到两朵小小的乌云，小得那样不起眼。没人知道，它们即将带来一场狂风暴雨，
　　将旧世界的一切从大地上彻底抹去。

　　但是，在暴风雨到来之前，还是让我们抬头再看一眼黄金时代的天空，作为最后的怀念。
　　金色的光芒照耀在我们的脸上，把一切都染上了神圣的色彩。经典物理学的大厦在它的辉
　　映下，是那样庄严雄伟，溢彩流光，令人不禁想起神话中宙斯和众神在奥林匹斯山上那亘
　　古不变的宫殿。谁又会想到，这震撼人心的壮丽，却是斜阳投射在庞大帝国土地上最后的
　　余辉。