

HOW TO TEACH  
PHYSICS TO YOUR  
DOG

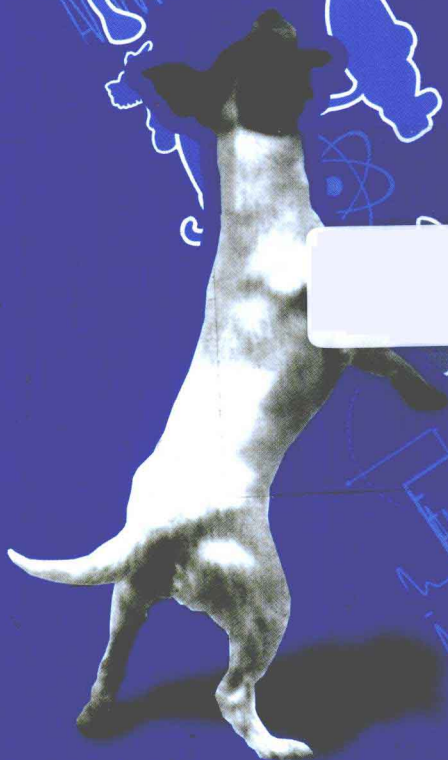
CHAD ORZEL

# 狗狗也能玩转 物理学

尽管物理学不能帮你追到小松鼠或者吃到牛排  
但是对于所有的狗和人类来说它都是非常重要的

湖南科学技术出版社

「美」查德·奥泽尔 著 王羽青 王 英 译



[美]查德·奥泽尔著 王羽青 王英译

湖南科学技术出版社

CS

尽管物理学不能帮你追到小松鼠或者吃到牛排  
但是对于所有的狗和人类来说它都是非常重要的

# 狗狗也能玩转 物理学



## 图书在版编目 ( C I P ) 数据

狗狗也能玩转物理学 / (美) 奥泽尔著 ; 王羽青, 王英译. -- 长沙 : 湖南科学技术出版社, 2011.12

书名原文: How to Teach Physics to Your Dog

ISBN 978-7-5357-6910-7

I. ①狗… II. ①奥… ②王… ③王… III. ①量子论—普及读物 IV. ①O413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 212112 号

### 狗狗也能玩转物理学

著 者: [美] 查德·奥泽尔

译 者: 王羽青 王 英

策划编辑: 孙桂均 李 媛

文字编辑: 陈一心

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-84375808

印 刷: 长沙市富洲印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 岳麓区银太俱乐部内

邮 编: 410013

出版日期: 2012 年 1 月第 1 版第 1 次

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 10

字 数: 180000

书 号: ISBN 978-7-5357-6910-7

定 价: 20.00 元

(版权所有·翻印必究)

# 内容简介

物理学家 Chad Orzel 在宠物收容所遇到了小狗艾美。艾美并不急于需要一个家，不那么友善却很健谈，对新主人的职业很感兴趣。

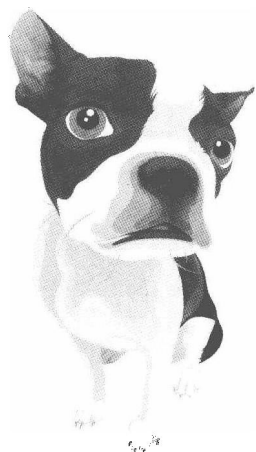
不久，艾美就产生了用量子物理学的一些怪想法来解决她生活中的大事：追赶小动物、获得狗食以及出去散步。她不断向 Chad 提出问题：她能通过量子隧道穿过邻居家的篱笆去追赶小动物吗？在小松鼠逃走之前用上量子瞬间传输会怎么样？艾美把牛排掉在地上时，那里的那些宇宙又在哪里呢？没有任何目的，就会在院子里出现一些奶酪做的小兔子，这可能吗？

Chad 用一种非常幽默的方式向艾美（也是向读者）解释了什么是量子力学，它是如何运作的，尽管它不能帮你追到小松鼠或者吃到牛排，但是对于所有的狗和人类来说它都是非常奇怪、令人吃惊并且是非常重要的。

Chad 和艾美谈了很多量子理论的核心元素，从像波的粒子和海森伯的不确定原理到纠缠（在远处令人恐惧的行为）和虚粒子。在这过程中，他们谈论了理论的历史，例如那个发现电子既是波又是粒子的实验，以及爱因斯坦和玻尔数十年来关于量子理论到底是什么的争论（也许两人中爱因斯坦更聪明一些，但是往往观点正确的都是玻尔）。

# 目 录 CONTENT

|     |                        |
|-----|------------------------|
| 引 言 | 为什么要跟小狗谈论物理学？/001      |
| 第一章 | 哪种方法？两种方法：波粒二象性/006    |
| 第二章 | 我的骨头在哪里？海森伯的不确定性原理/022 |
| 第三章 | 薛定谔的狗：哥本哈根诠释/035       |
| 第四章 | 多世界，多食物：多世诠释/052       |
| 第五章 | 我们还在那儿吗？量子芝诺效应/067     |
| 第六章 | 不需要挖掘的量子隧道/076         |
| 第七章 | 鬼魅般的超距叫声：量子纠缠/088      |
| 第八章 | 给我发送一只小兔子：量子隐形传送/106   |
| 第九章 | 奶酪小兔：虚粒子和量子动量学/122     |
| 第十章 | 再见了，邪恶的松鼠：量子力学的误用/134  |
|     | 致谢/146                 |
|     | 其他阅读材料/147             |
|     | 重要术语小词典/148            |



## 引言

# 为什么要 跟小狗谈论物理学?



在特洛伊城外莫霍克——哈德森协会附近，有一条穿越树林的小路，你可以和领养的小狗沿路散步。小路经过一小片开阔地，路边还有一条凳子，我就经常领着自己的小狗，坐在那条凳子上。

她蹲在凳子旁边，用鼻子拱着我的手，我则在她耳朵后抓痒。我和妻子凯特一起看了好多狗，但她要上班，所以我只好一个人来挑选，这条狗看起来比较合适。

她一岁多，是条混血狗，大概是牧羊犬和其他什么狗的混血。她有牧羊犬典型的黑色脊背和棕褐色皮毛，但体型比牧羊犬要小，而且耳朵下垂。狗窝门上的名字为“公主”，但好像并不适合她。

“小女孩，想什么呢？”我问，“怎么称呼？”

“叫我艾美。”她说。

“为什么呢？”

“笨蛋，因为那是我的名字。”

被一只小狗称作笨蛋，多少有点出乎我的意料，但我觉得她说得有道理。“好吧，我不和你争论，你想和我们一起生活吗？”

“呃，这要看情况了，”她说，“你们家生活环境怎样啊？”

“你是说？”

“我喜欢追赶小动物，那里有动物让我追吗？”

“当然，我们有一个相当大的院子，里面有很多鸟和松鼠，偶尔也会有小兔子。”

“哇，我喜欢小兔子！”她快乐地摇摇尾巴，“散步呢，我喜欢散步。”



“当然可以。”

“有好东西吃吗？我喜欢吃美食。”

“如果你表现好，肯定会受到款待的。”

她好像有点不高兴。“我表现非常好，你肯定会给我好吃的东西。你是干什么的啊？”

“哦？你这是在调查我？”

“我要知道你是否配得上有一条像我一样好的狗。”“公主”这个名字好像比我想象地更贴切。“你是干什么的？”

“嗯，我妻子凯特是一名律师，我在斯克内克塔迪联合学院当物理学教授，我教授并研究原子物理学和量子光学。”

“量子是什么？”

“广义上说，如果你想用量子物理学描绘光和原子，那么量子光学就是研究光和原子的相互作用。”

“听起来很复杂。”

“是的，但也很有趣，量子物理学拥有很多奇妙的特质，粒子像波一样运动，而波又像粒子一样运动。只有测量的时候，你才会了解粒子的性质。广阔的空间充满时隐时现的‘虚粒子’。很有意思。”

“嗯。”她看起来若有所思，马上又说“最后一个问题”。

“什么？”

“挠挠我的肚子。”她平躺在地上，我伸手去摸她的肚子，过了一会儿，她站起来，抖抖身子。“好，你很棒，我们回家吧。”

我们返回狗舍去填写领养表。在往回走的路上，她说，“量子物理学，对吧？我想学一些相关的知识。”

“我愿意以后向你解释一些量子物理学的知识。”

和大多数狗的主人一样，我经常和狗谈话。大部分谈话都和日常生活相关——不准吃什么，不准跳到家具上，出去散步。然而，其中我们之间会有一些关于量子物理学的谈话。

为什么要和小狗谈论量子物理学？哦，这是我所从事的职业：我是大学物理学教授。因此，我要花很多时间琢磨它。

量子物理学是什么？量子物理学是现代物理学的一部分，指的大概是1900年后发现的基于各种规律的物理学。而1900年前发现的物理学规则和原理基本上都被称为“经典物理学”。

经典物理学是有关日常物品的物理学——网球和会叫的玩具，炉子和冰块，

磁铁和带电的线路，经典运动规律适用于能用肉眼看到的一切物体的运动。经典热力学用于解释加热和冷却物体的物理学，以及发动机和冰箱运行的物理学。经典电磁学解释了灯泡、收音机和磁力的工作原理。

现代物理学用于描述日常生活之外我们所见的更为奇特的世界。这个世界于19世纪末和20世纪初在实验室里展现，物理学经典规律解释不了，所以新领域的各种规律都有待发现和发展。

现代物理学分为两个部分，每个部分都与经典物理学截然不同。其中一个部分是相对论，研究快速运动的物体，或强大引力下的物体。阿尔伯特·爱因斯坦在1905年发现了相对论，这个领域也非常有趣，但本书中不涉及这一理论。

现代物理学的另一个部分是我和小狗谈论的内容。现代物理学有一部分主要讲光和分子，单原子或亚原子粒子等非常小的物质。这就是现代物理学中的量子物理学和量子力学<sup>①</sup>。普朗克在1900年发明了“量子”一词，爱因斯坦因第一个提出了量子光学理论<sup>②</sup>而获得诺贝尔奖，量子力学在之后30多年的时间里获得了全面发展。

普朗克和玻尔等人是这一领域的先驱，他们建成第一个氢原子量子模型；费恩曼和施温格等人是这个领域的先知，他们独立发现了“量子电动力学”（QED）理论。这些人可以被称为物理学巨人。量子理论的有些部分超出了物理学的范围，并激发了人们无限的想象，比如海森伯的不确定性理论和薛定谔的猫佯谬，和埃弗雷特（Hugh Everett）多个世界的平衡宇宙解释。

如果没有量子力学，现代生活真的是不可想象。如果不理解电子和量子性质，就无法制造出电脑运转所需的半导体集成电路；如果不理解光和元子的量子性质，就无法制造出通过光缆通讯线发送信息所使用的激光。

量子理论对于科学的影响超出了实际——它是物理学家与哲学家讨论的问题。量子物理学限制了我们对于宇宙和宇宙中物质特性的理解，量子力学甚至改变了我们对于测量的理解。它使得人类在最基础的层面重新考虑现实。

量子力学描述的是一个完全怪诞的世界。在你测量之前，这个世界上没有东西是确定的，物体也没有固定的性质。在这个世界里，遥远的物体以奇特的方式相互连接；在这个世界里，我们宇宙周围有很多历史各异的宇宙；在这个世界中，虚粒子在广阔的空间中时隐时现。

量子力学听起来好像是臆想杜撰的东西，但它的确是科学。使用量子理论所

① “量子物理学”、“量子理论”和“量子力学”等术语在某种程度上可以互换。

② 发现“相对论”不是爱因斯坦获得诺贝尔奖的原因。他获得诺贝尔奖因为提出了光电效应。



描述的是我们的微观世界<sup>❶</sup>。量子物理所预测的影响是真实的，具有真实的结果和应用。量子理论经过超精确的水平测试，因而它成为科学理论中最准确的理论之一。即使是最奇特的预言也是被实验验证过的。（可以参考第七、八和九章）。

那么，既然量子物理学是纯粹的学问，与小狗有何关系呢？

狗在接触物理方面比人更具优越条件。人类有许多先入为主的想法，而狗不一样，她们能够接受人类认为出乎意料的东西。小狗可以在同一条街道上来回走上一年，而每天的经历都是全新的。她可以去嗅每一块石头，每一片灌木丛和每一棵树，仿佛她从来没有嗅过一样。

如果狗食出现在厨房的空地上，人类往往会生气，但狗却泰然自若。的确，对于小狗来说，突然出现的狗食是一种惊喜——她们经常期望人类在没有任何明显目的情况下给她们狗食。

量子力学对人类来说复杂棘手，难以理解，因为它推翻人类关于世界如何运转的普遍认识。而狗却是更容易接受的听众，对于狗来说，世界每天都是新的，充满惊奇，量子理论并不比转动门把手更新奇，更奇妙。

和我的小狗谈论物理学很有用，可以让我更好地和人类谈论量子力学。学习量子力学的一点小诀窍就是像狗一样思考，如果你可以像狗一样看待这个世界，把它当做无尽惊奇和神奇的源头，那么量子力学就会更加容易理解。

这本书再现了我和小狗进行的一系列关于量子物理学的谈话。每个谈话最后都会详细解释涉及的物理学，期望能吸引读者。我们的话题非常广泛，从很多人听说过的想法，例如波粒二象性（第一章）和不确定性原理（第二章），到更为先进的虚粒子理论和量子电动力学 QED（第九章），这些解释包括对这些神秘理论和预言的讨论（实际上的和哲学上的）以及用于证明这些预言的实验，是小狗最感兴趣的部分，也是人类最为惊奇的部分。

“我不知道，我认为她需要更多……”

“更多什么？”

“更多关于我，你并没有说我是一只非常聪明的小狗。”

“那好……”

“并且是非常伶俐的。”

“可以，但……”

“并且别忘掉说我的好，我比别的小狗聪明得多。”

---

❶ “微观”一词对物理学家来说是太小而不能用肉眼观察到。这包括从细菌到原子到电子等一系列东西。这样的东西大小不一，但是物理学家认为如果用太多词表示这类东西会引起混乱。

“什么别的狗?”

“其他狗。”

“你看，这是一本关于物理的书，不是关于你的书。”

“你就是应该更多地来讨论我，这就是我想说的。”

“不，你必须与之共存。”

“好吧，虽然你需要我帮你理解物理知识。”

“你什么意思?”

“嗯，有些时候，你遗漏一些东西，也没有回答我全部问题，你这样做不好。”

“比如什么呢？给我举一个例子。”

“嗯……，我现在想不出来，但如果你给我读这本书，我会指出来。”

“好，这听起来比较公平，下面我们就这么做，我们一起读完这本书，如果你认为我在什么地方有遗漏，我们可以一起讨论，我会把你的评论写在这本书里。”

“像我们现在一样讨论吗?”

“对，像我们现在一样讨论。”

“你还要把对话写在书中?”

“对，我会的。”

“如果那样，我们应该讨论我是最棒的，讨论我的聪明伶俐，我应该留下更多脚印，并且……”

“喂，够了。”

“现在开始吧。”



## 第一章

# 哪种方法？ 两种方法：波粒二象性



# 我

们外出散步，艾美看到前面有一只松鼠，便追了过去，松鼠跑进了一个院子，绕一个装饰用的槭树东躲西藏。艾美一点都没有改变路线，就在她快撞到树上的时候，我护住了她。

“你为什么要拦我？”她生气地问。

“你想干什么？差点撞到树上，是我把你护住的。”

“不，我不要。”她转头看那只松鼠，松鼠现在已经稳稳地爬上了院子另一边的大树上。“因为量子理论说这么做是可以的。”

我们继续开始散步。“好吧，你解释一下。”我说。

“好的，我有一个计划。”她说，“你看到我在后院追小兔子的时候，我追到右边，她们就跑到左边，然后就逃掉了，是吧？”

“是的。”

“当我追到左边，她们便跑到右边，然后就逃了。”

“是的。”

“我想到了个新方法，这样她们就跑不掉了。”

“什么方法？从池塘中间跑过去吗？”池塘足有8英寸（1英寸=2.54厘米）深，几英尺（1英尺≈0.3米）宽。

“不，你真太笨了，我只要同时从两边追兔子，就可以在中间抓住她们。”

“嗯，这是个……是个很有趣的理论。”

“这不是理论，这是量子物理学。物质粒子有波动性质，并且可以围绕物体衍射，如果你向一个物体上衍射一束光子波，它们会同时朝左右两端运动。”她确实很投入，甚至都没注意到有一只兔子在院落中舒适地晒太阳。“所以，我要发挥自己的波动性质，同时朝池塘的两个方向运动。”

“就差点撞到树上？”

“噢，这个……”她好像有点局促不安，“我认为先在一些小的东西上实验，刚才起跑很好，但是刚要衍射时，你却拦住了我。”

“呃，就如我刚才说的，这是一个很有意思的理论，但就你知道的，这根本不可能。”

“你不是认为我没有波动性质吧？我有，你的物理书上就是这样说的。”

“是的，是的，你有波动性质，这无可争议，你同样拥有佛性。”

“我是一只佛性极高的狗。”

“佛性和波动性对你产生的效果是一样的。你看，树很大，而你的波长却很小，以走路的速率计算，你重 20 千克，波长为  $10^{-35}$  米，为了能围绕大树跑，你应该使你的波长和树的大小相当——大概 10 厘米长，而你在大小上相差了三四十倍。”

“我会通过改变我的动量来改变我的波长，我可以跑得很快。”

“可以试一下，但是速率越快，波长越短，为了使你的波长能达到 1 毫米，你可以绕着大树跑，每秒运动  $10^{-30}$  米，怎么也不可能那么慢，而且这样的速率大约要花 10 亿年才能绕原子核转一圈，再说了，这种速度远远追不上兔子。”

“那么，你的意思是我需要一个新计划？”

“是的。”

她垂下尾巴，我们一起默默地走了几分钟。

“我可以试一下。”

“是否我可以使佛性而使我同时朝两个方向绕池塘运动。”

对这个想法我真是哑口无言，突然前面出现的灰色的毛发使我摆脱困境。“看，一只松鼠！”我说。

“汪——！”我们开始追逐松鼠。

量子物理学有许多奇特而让人入迷的东西，但是其理论奠基却是波粒二象性，或者说光和物质都具有似粒子和似波的性质。一束光通常被看做波，但在有些实验中它却表现出跟粒子一样的性质。同时，一束电子通常被视为一束粒子，但在有些实验中电子却像一束波一样运动。粒子和波的特性看起来相互矛盾，但事实上宇宙中每一种事物既是粒子又是波。

20 世纪初，物理学家发现光能像粒子一样运动。这个发现是所有量子力学的一个出发点。在本章中，我们将描绘物理学家如何发现这个奇特二象性的历史。为了能理解这个进展的奇特性，我们需要先谈一下每天看到的粒子和波。



## 你身边的粒子和波：经典物理学

每个人都熟悉物质粒子的运动方式。身边所有的东西——骨头、球、会叫的玩具，都像粒子一样运动，它们的运动是由经典物理学决定的。它们虽形状各异，但是你却可以通过把它们都当做有质量但却小而无异的皮球——粒子——并运用牛顿的运动定律<sup>①</sup>来预测它们的运动。一个网球和一根骨头在旋转降落的时候大不一样，但是如果在相同地点以相同速率扔出，它们会落在相同的地点，你可以用经典物理学预测这个位置。

一个像粒子一样的物体有确定的位置（你可以知道它在哪里），确定的速率（你可以知道它有多快，朝哪个方向），确定的质量（你知道她有多大）。你可以把它的质量和速率相乘，得到动量。一个大的拉布拉多猎犬和一只小法国卷毛狗如果以同速奔跑，前者动量更大；一个快速奔跑的柯利大牧羊犬比一只质量相同但行走缓慢的矮腿猎犬动量更大。动量可以决定两个物体相撞时会怎样。运行的物体撞上静止的物体，运行的物体会放慢速度，失去动量，而静止的物体则会加速前进，获得动量。

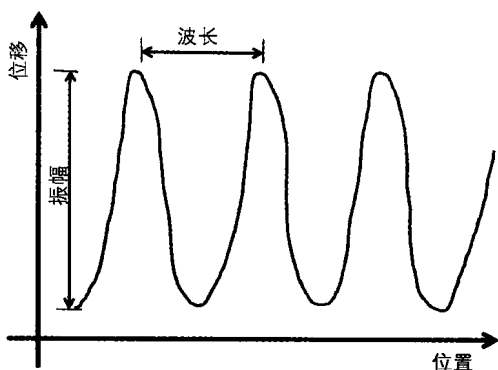
粒子的另一个很明显的特征经常被我们忽视：粒子可以计算。当你手里有东西的时候，你可以看着它们，并知道自己拥有几个——一根骨头、两个会叫的玩具和后院的树下的三只松鼠。

然而，与之相比，波却更加难以捉摸。波是指事物中存在的运动的波动，就像后院池塘中池水溅起来时形成的涟漪。波是物体由于本身特性而产生的，可以扩散至一定区域，并且可以形成一个随时间推移而改变和运动的无形图形。具体事物并没有任何移动——水仍然留在了池塘中，——但它形成的涟漪却发生了改变，我们可以以此来理解波的运动。

如果你想理解波，有两种有用的方式可以帮助你。一个就是想象给波留一个快照，想象盯着空中的波的涟漪形成的图形。你可以参照拥有正常峰谷的图形的来理解波，比如如果你沿图形运动，你会看到媒介会随振幅上下移动，如果你测量相邻的两个顶点间的距离，你就得到了“波长”，这是描述波的数字之一。

---

<sup>①</sup> 艾萨克·牛顿爵士，有一个关于他因看到苹果落地而提出可以支配所有运动物体的三条运动定律的故事。第一条定律是惯性定律，即：除非受到外力，否则静止的物体将永远静止，运动的物体将保持运动。第二条是对第一条定律的量化，它的等式通常被写为： $F=ma$ ，力等于质量乘以加速度。第三条定律认为每一个作用力都有一个相等的反作用力——一个朝相反方向的相等的力。这三条定律描述了宏观物体以低速运动的规律，构成经典物理学的核心。



你需要做的另一件事就是注视波型，凝视一段时间——想象着你在看鸭子在湖中潜水。如果你仔细观察，会发现水的波纹非常有规律地变大或变小——有时鸭子浮在水面上，有时深入水下——这个存在于时间和空间的图形非常相似。你可以测量在固定的时间内波发生的频率。——比如一分钟内鸭子浮上水面的次数——你可以得到波的“频率”，这是描述波的另一个关键数字。波长和频率相互关联——长波意味着低频，反之亦然。

你可以看到波与粒子有何不同：它们没有固定的位置。波长和频率构成完整的波，但是你却不能指出波的具体位置。波本身就是一个在空间存在的波纹，而不是一个有固定位置和速度的具体物质。你可以按波圈把速度分成若干份，观察一个波峰到另一个波峰所花费的时间，但你要再次明确：这是个整体图形的特征。

你不能按照粒子计数的方式来计算波——你可以说在某个区域有多少波峰和波谷，但这些都是单个波形的全部。波是不断延续的，而粒子是非延续的——你可以说你有一个，两个或者三个粒子，但只可以说你有或者没有波。单个波会拥有较大或较小的振幅，但是它们却不像粒子一样拥有成块形状。波甚至不能像粒子一样添加在一起，当你把两个波放在一起，你要么得到一个更大的波，要么波就没有了。

想象一下你在同一个地区拥有两个波源——比如两块石头同时被扔进了水中。它们在水中的结合情况决定你得到什么。如果你把两个波如此结合，一个波的波峰和波谷分别与另一个波的波峰和波谷叠加，（我们称之为协调或者同步），便由原来的两条波得到一个更大的波。相反，如果一条波的波峰遇到另一条波的波谷或者相反（我们称之为异相），两者便会相互抵消，于是波就消失了。

这种现象叫做干扰，这或许就是波与粒子最大的不同。

“我不知道……这非常奇怪。你还有别的关于干扰的例子吗？更多的例子，



比如与狗有关的？”

“不，我没有了。这就是要点，波与粒子差别很大。狗做的事情在某种程度上跟波完全不一样。”

“那么，干扰就像你在后院放一只松鼠，然后放一只狗，过了一分钟，后院的松鼠便没有了。”

“这不是干扰，这是捕猎追踪。干扰就像在后院放一只松鼠，过一秒钟再放一只松鼠，后来却发现松鼠没有了。但如果你在放第二只松鼠前等待两秒钟，你会发现可以得到四只松鼠。”

“哇，这太奇怪了。”

“这就是我要说的。”

“噢，好的。那么我们为什么谈论这个话题呢？”

“如果想了解量子物理学，我们需要知道一些关于波的情况。”

“是的。但这听起来好像数学。我不喜欢数学。我们什么时候开始谈论物理学？”

“我们现在谈的就是啊！物理学的重点就是用数学描述宇宙。”

“我不想描述宇宙，我想捉松鼠。”

“好吧，如果你知道怎样用数学描述宇宙，就可以帮你捉到松鼠。如果你有一个描述松鼠现在何处的数学模型，你就可以知道松鼠的活动规律，你就可以用自己的模型来预测松鼠会出现在什么地方。而如果你能预测它们稍后会出现在哪里……”

“我就能捉到松鼠！”

“当然。”

“太好了，我可以学数学。虽然我仍然不知道波是什么。”

“下个目标我需要解释光波和声波的特性。”

## 日常生活中的波：光波和声波

日常生活中我们接触到两种波：光波和声波，虽然这是波的两类现象，但它们的运行方式却大不一样。这些差别可以解释为什么狗不能同时从树的两侧绕树衍射。

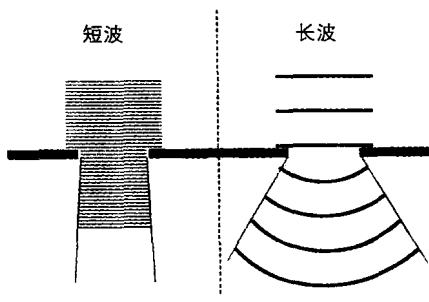
声波是空气中的压力波。狗叫时，她强制声音从嘴中发出，并形成一种朝四面发散的震动。当声音传到另一只狗时，声音使它的耳膜发生震动，然后又在这只狗的大脑中转化为可以变成声音的信号，引起第二只狗叫，产生更多的波，直

至打扰附近的人。

光是另外一种波，一个震荡的电磁场。它穿梭于空间中——甚至外太空，这就是我们能看到远处的星辰和星系的原因。当光波到达你眼睛的后部，它们在大脑中转化为信号，而信号最终又被转化为你周围的真实世界。

光波与声波碰到障碍时反应不一样，这是它们最为显著的区别。光以直线运行，而声音可以环绕障碍。这就是为何在饭厅里，狗看不到土豆条掉在地上，却可以听到。

光波能在角落中盘旋萦绕就是衍射的一个例子，这是波遇到物体时一个典型的反应。当波到达一个有缺口的障碍时，比如一堵墙上有一扇可以由厨房到达饭厅的门，波通过这个缺口时不会直线运行，但会朝四处扩散。它们散开的速度取决于波的波长和缺口的大小。如果缺口远大于波长，就会出现非常小的弯曲，但当缺口与波长相当，波便散于周围可以到达的地方。



在左边，一条波长很短的波碰到了一个比其波长大出很多的缺口，波或许会少仍直线运行。在右边，一条波长很长的波遇到了一个和波长相当的缺口，波就衍射了很大的范围。

同样，如果声波碰到一个类似椅子或树的障碍物，只要物体不比波长大出很多，声波便会绕其衍射。这就是为何大墙会湮灭狗的叫声——声音会环绕小的障碍物，到达它们后面的人或狗。

空中的声波波长一米左右，接近于常见的障碍物——门、窗户或者其他家具。因此，波会大量衍射，这就是为何我们即便在狭窄的角落里也能听见声音。光波却不一样，它的波长很短——只有一毫米的千分之一。可以看见的光的一百条光波才有一根头发那么粗。当光波遇到日常障碍物时根本不能弯曲，因此固态的物体能投下阴影。在物体的边缘会出现小幅的衍射，这就是为何阴影的边缘经常会有点模糊不清。但在大多数时候，光以直线运行，没有明显的衍射。

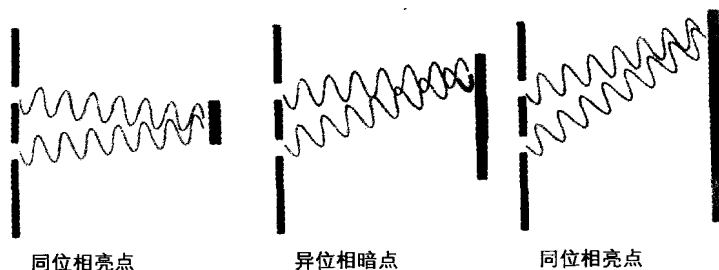
如果我们不明白光为何像波一样衍射，我们怎样理解它就是波呢？我们看不到围绕日常物品的衍射，因为它们相对于光的光波来说太大了。如果我们注视足



够小的障碍。我们会发现波具有此特性的确切证据。

在 1799 年，一名叫 Tomas Young 的英国物理学家做了一个权威的实验以解释光的波性（Young 选了一条光柱，并在里面插上一张卡片，卡片上有两个细小缺口。从远处看这张卡片时，他不能看到两个缺口的图形，而只能看到一个忽明忽暗的大图形。

Yong 双缺口的试验清楚地说明了光波的衍射与干扰。从每个缺口通过的光可以衍射到不同的方向，两个缺口发出的波相互重叠。在任何一点，两个缺口的波到达的距离不一样，振动的次数也不一样。在明亮处，两条波相结合，形成比任何一个缺口的光都亮的光。在幽暗处，它们彼此抵消。



双缺口衍射的演示。在左边，从两个缺口经过的波运行的距离一样，并且同位相，于是形成一个亮点。在中间，从下面的缺口经过的波多运行半个波长的距离（黑线部分），和上面一个缺口经过的波异位相，从而相互抵消后，形成一个暗点。在右边，从下面一个缺口经过的波多运行了一个波长的距离，这样又和上面缺口通过的波同位相形成一个亮点。

在 Yong 的试验前，曾经有关于光性质的激烈争论。许多物理学家认为光是波，而另外一些物理学家（包括牛顿）则认为光是一束微粒。干扰和衍射是波特有的，但是在 Young 的实验后（后来还有法国物理学家 Angustin Fresend 的实验），每个人都认为光就是波，一百年来人们都是如此认为。

.....

“这和绕树运行有什么关系呢？我对通过缺口不感兴趣，我只想抓兔子。”

“当你把固体放在光柱中也会出现相同的情况，你可以认为左边的光和右边的光相互衍射，就像是来自不同缺口的波。它们路线不一样，因而在它们到达目的地的时候，要么相结合，要么相抵消。你可以看到一个由明暗点构成的图形，就如同你在使用小缺口时看到的一样。”

“噢，这才是点子上。那么我需要让兔子站在能和我结合的地方？”