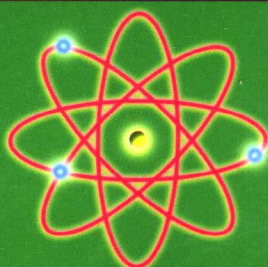
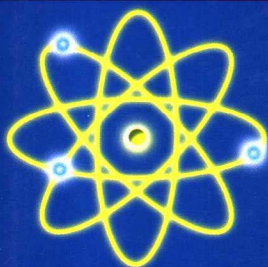
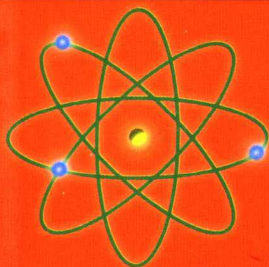


科 学 前 沿

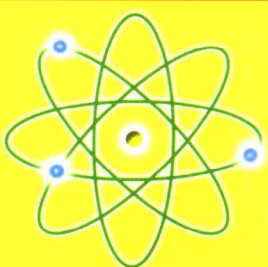
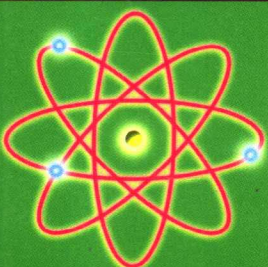
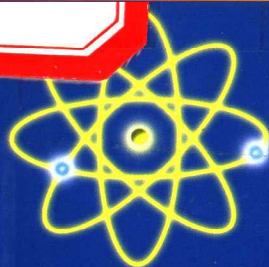
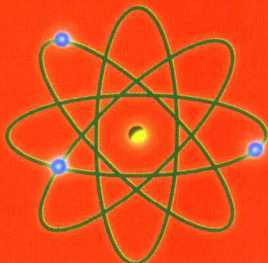
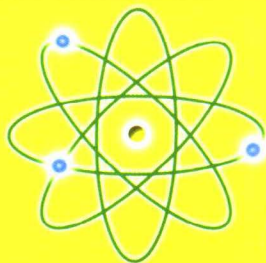


# 量子物理

*Quantum Physics*

——奇妙的  
亚原子世界

约翰·格瑞宾 著  
陈养正 译



生活·读书·新知 三联书店

## 图书在版编目(CIP)数据

量子物理:奇妙的亚原子世界/约翰·格瑞宾著;陈  
养正译. - 北京:生活·读书·新知三联书店,2004.6  
(科学前沿)

ISBN 7-108-02109-9

I. 量… II. ①格…②陈… III. 量子论 - 普及读  
物 IV. 0413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 023441 号

责任编辑 陈 晓

封面设计 崔建华

科学前沿

量子物理

主 编 约翰·格瑞宾

著 者 约翰·格瑞宾

译 者 陈养正

出版发行 生活·读书·新知三联书店

(北京市东城区美术馆东街 22 号)

经 销 新华书店

印 刷 北京华联印刷有限公司

---

787 毫米×1092 毫米 32 开本 2.25 印张

2004 年 6 月北京第 1 版

2004 年 6 月北京第 1 次印刷

印 数 0,001-5,000 册 图字 01-2003-0497

---

定 价 15.00 元

约翰·格瑞宾 著 陈养正 译

# 量子物理

——奇妙的亚原子世界

王怡 · 顾青 · 靳强 二校下后



A Dorling Kindersley Book

[www.dk.com](http://www.dk.com)

Essential Science

Quantum Physics

by John Gribbin

Copyright © 2002

Dorling Kindersley Limited, London

Text copyright © 2002 John Gribbin

Chinese translation © 2004

SDX Joint Publishing Company

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the copyright owner.



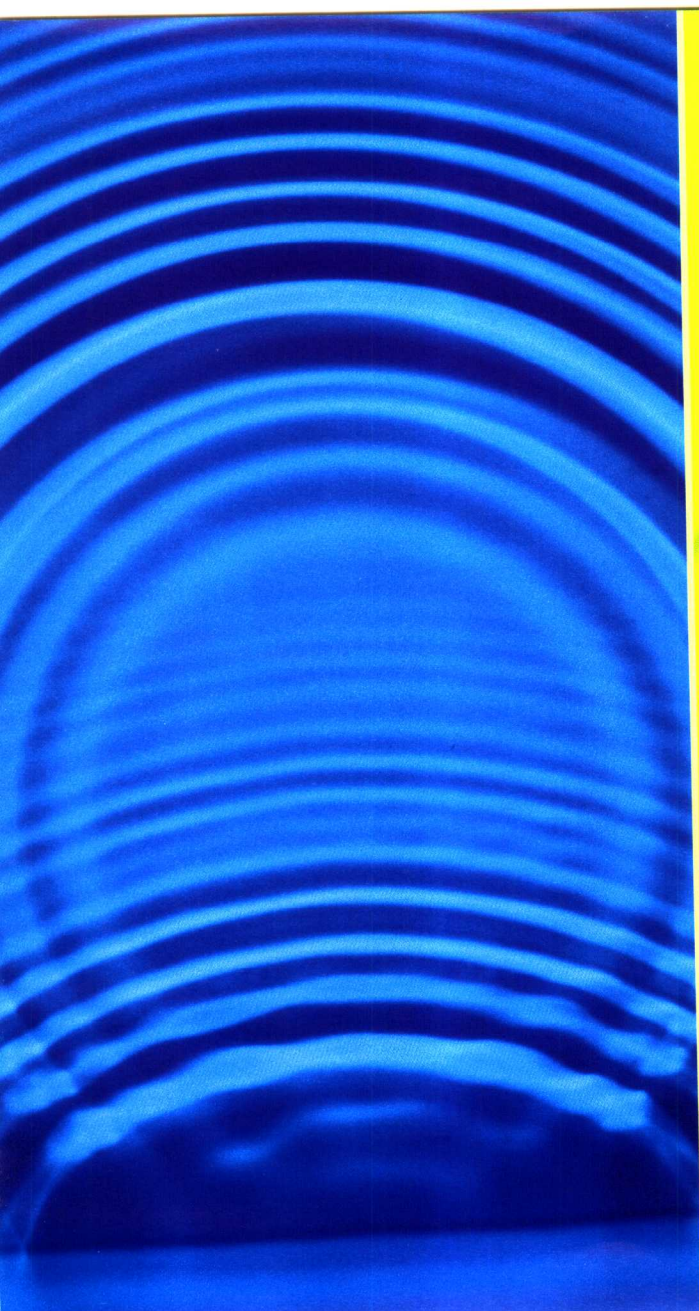
# 目 录

|                 |    |
|-----------------|----|
| 初识量子 .....      | 4  |
| 经典物理学 .....     | 6  |
| 量子革命 .....      | 13 |
| 走出黑暗 .....      | 22 |
| 核心之谜 .....      | 24 |
| 王冠上的宝石 .....    | 35 |
| 量子的作用 .....     | 39 |
| 原子核内部 .....     | 47 |
| 量子计算机 .....     | 52 |
| 从原理到应用 .....    | 54 |
| 远距传物和量子生活 ..... | 60 |
| 术语汇编 .....      | 66 |
| 延伸阅读 / 致谢 ..... | 69 |

# 初识量子

量

子物理(学),简单说来,是在原子层次研究物质和辐射的一门学问。这种原子层次的事物,与“我们”日常所见的世界有很大的不同。这种不同就体现在我们熟悉的两大类现象即粒子和波动二者的差异之中。粒子一次只能存在于一个地点,而波,比如说声波,却会在空间弥漫开来。在原子层次,把二者区别开来的这种差异已然消失。电子,被认为是粒子,但也具有波的属性;光,通常被认为是波动,可是光的某些特性也只有把它看成是由粒子组成时才能够得到解释。这种同时具有波动和粒子二者的属性即所谓的“波粒二象性”,只有借助于量子物理才有可能加以说明。除此之外还发现有其他一些新的量子现象,如能量的不连续性、量子隧道效应、测不准原理以及亚原子粒子的“自旋”,等等,所有这些,都是我们在本书中将要探讨的内容。



## 制造波

许多人都知道光是以波的形式在空间传播，就像池塘里的水波。这个概念是在19世纪初期形成的。但是在量子物理学中，我们不得不接受这样一个事实：像电子这一类实体，我们通常把它看成是粒子，但它也像波那样行进。波不同于粒子，它们的一个主要性质是在穿过一个小孔以后会拐弯到侧面，从而弥散开来。这种过程，叫做衍射。

# 经典物理学

在19世纪即将结束的时候，物理学家们一度曾以为他们差不多已经完全了解了物质宇宙的活动方式。早在300年前，牛顿提出了他的描述物质世界运动的定律，后来在1864年，与物质世界相对应，麦克斯韦（James Clerk Maxwell）又揭示出

光和其他电磁现象所遵循的那些定律。这两方面的发现，似乎就可以说明由物质和光所构成的这整个宇宙中的一切现象。然而，在随后的一代人的时间里，接二连三地发现了一系列违背牛顿和麦克斯韦定律的奇怪现象，使得整个物理学界出现了一次大动荡。这些新奇发现引发了一场“量子革命”，即使从全部科学史来看，那也的确算得上是一次真正的革命。然而，要明白为什么把那一时期的大动荡称为革命，我们就必须要准确地理解那场革命所推翻的东西：根据牛顿



伊萨克·牛  
顿(1642-1727)以  
他所提出的三条运  
动定律和万有引力  
定律而奠定了物理

学的基础。他还设计和改进了天文望远镜，证明白光是由彩虹中的各种颜色所组成，并提出光是由一连串子弹一样的粒子所组成的假设。

和麦克斯韦理论所作出的那种对物理现象的“经典”阐释。

## 牛顿定律

在牛顿的许多发现中，他的运动三定律描述了日常世界中各种物体在彼此发生碰撞时相互之间是如何作用的。他的这三条定律能够以原子或分子之间彼此碰撞反弹的规律来说明一

一切运动现象，从汽车发动机的运动部件彼此之间的如何相互作用直到将飞船送入轨道需要哪些条件，无所不包。牛顿的第一定律说：在没有外力作用的情况下，任



何一个物体要么固定在原位置不动，要么作匀速直线运动。这条定律的真实性在日常世界中不太容易看出来，这是因为总会有力——摩擦——在减慢运动物体的运动。然而在空间中作自由下落运动的物体，例如行星围绕太阳的运动，就完全全遵循这条定律，因为它们几乎是在真空中运动，那里不存在摩擦。

牛顿第二定律说：当有一个力作用于一个物体时，该物体

所获得的加速度等于所加之力除以物体的质量。这个事实在我们的日常生活中倒是随处可见。例如，台球桌上的一只白球，你用杆击打它，用力越大，它滚动得就越快。不过，加速度并不是由速度的增加量惟一确

定的，加速度也可以是方向的变化，还可以同时包括速度和方向二者的变化。因此，地球尽管以几乎不变的速度在运动，但它也在作加速运动，因为太阳的万有引力一直不停地在改变着它的运动方向，也就是将它的运动轨道从直线（运动物体的“自然”路径）改变为曲线，亦即使地球沿着围绕太阳的轨道运行。

## 牛顿定律

在几乎无摩擦的表面上的运动所遵循的就是牛顿运动定律。在地球上我们平常能够见到的这种表面是维护得非常好的溜冰场。因此，有一种冰上溜石的游戏可以说就是一种“牛顿式”的游戏。

## 反弹的台球

台球之间的碰撞也遵循牛顿定律。在简单的两个台球的碰撞中，如果其中一个球向右偏转，那么另一个球就必定向左偏转。

“我不知道世人会如何看我。我觉得自己就像是在海滩上玩耍的一个男孩，我会为时不时找到了一个比寻常所见更加光滑的卵石或更加漂亮的贝壳而感到欣喜，而我的面前，却是一片未被发现的真理的广阔海洋。”

牛顿



### 严重相撞

一辆运动的汽车冲撞到一堵砖墙上，撞飞的砖块会带走一些动量。如果两辆汽车迎头相撞，二者叠加在一起的动量将全部被相撞的汽车吸收，因而损坏会特别严重。

牛顿的第三定律就是有时会给人们带来一点麻烦的那种规律。在牛顿的用词中，他用“作用”来指力，因此他的第三定律的表述是：每有一个作用，就必然存在着一个与之大小相等而方向相反的反作用。例如，当我打枪时，作用将子弹推出枪管，而反作用则会使枪托撞击我的肩部。当我站在溜冰场上向远处抛掷健身用的实心皮球时，反作用则会使我在冰上向后滑行一段距离。当宇宙飞船在太空中点燃其尾部的推进器时，从喷气口迅速喷出的气体将产生一个反作用，从而使火箭向前加速。正是这条第三定律，解释了原子之间的反弹现象，解释了在台球之间发生撞击以后各自的运动情况，还能够解释一辆汽车正面撞上迎面而来的另一辆汽车其后果为什么会比冲撞到一面砖墙上更加严重，因为在前一种情形必须要考虑到两辆汽车各自速度的叠加。

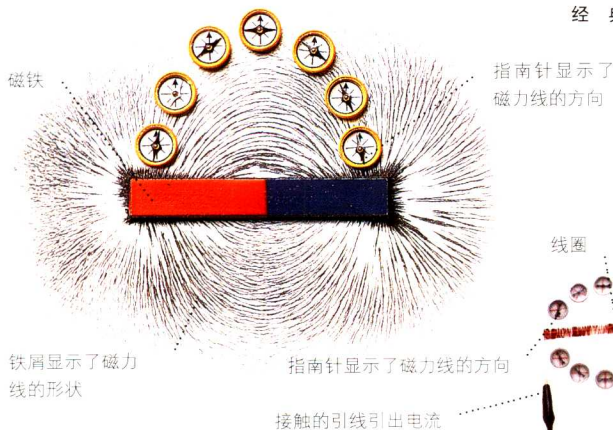


### 麦克斯韦方程

在19世纪即将结束以前，牛顿的这三条定律似乎已经完全统管住了整个的物质世界。甚至连原子和新发现的电子的行为，也可以根据牛顿的定律再加上电力和磁力而得到说明。

麦克斯韦对电力和磁力这两种力作出了很好的阐释，这样，他就绘出了这个物理世界的另一半，展现在物理学家眼前的似乎已经是物理世界的一幅完整的图景。麦克斯韦的工作基础，是迈克尔·法拉第先前在电和磁





## 力场

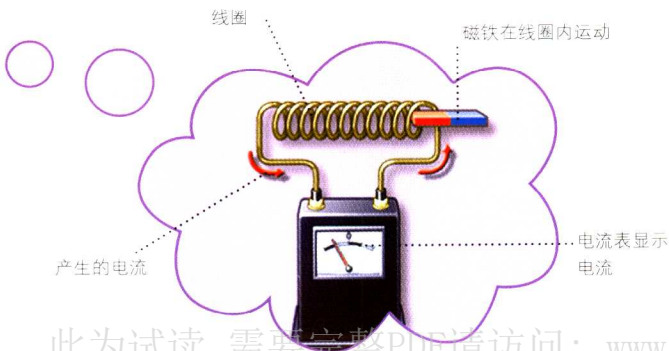
磁力线组成了围绕磁铁的磁场，我们可以用铁屑或者指南针来显示这种磁力线。指南针的指针顺着磁场的这些力线指向。当有电流流过一个线圈时，也能够形成类似的磁场，但电流一旦被切断，力场便随之消失。



方面所取得的那些成果。在19世纪上半叶，法拉第提出了十分关键的关于力线以及磁“场”和电“场”的概念。他还发明了电动机和发电机，而且发现，一个正在变化的磁场总会产生一个电场，而一个正在变化的电场又总会产生一个磁场。一个场可以被想像为有关的力能够施加其影响的一个区域。把一块条形磁铁置放在一张纸的下面，纸上撒放许多铁屑，此时轻轻弹抖这张纸，就能够形象地看到磁场的样子。纸上的铁屑会排列起来形成为围绕磁铁的曲线，它们所显示的就是磁场的形状。每一条连接磁铁南极和北极的曲线就是一条磁力线。

## 发电机的物理原理

发电机的工作原理，是通过磁铁相对于导线的运动来在导线内产生电流。法拉第发现，若把一个磁铁迅速插入一个连接有电流表的线圈，电流表的指针就会摆动。





苏格兰物理学家  
詹姆斯·麦克斯韦

(James Clerk Maxwell,

1831 — 1879) 发现了按

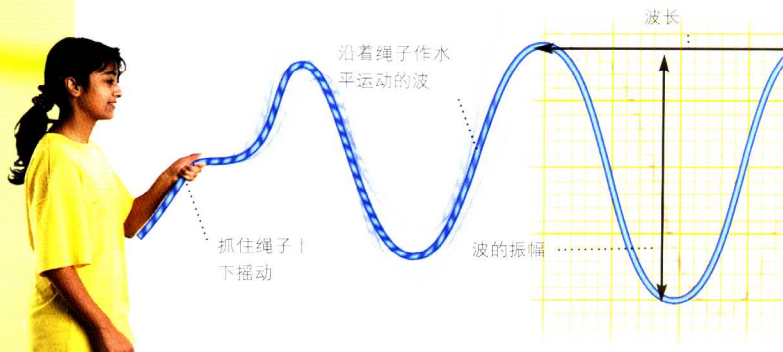
照经典方式描述电磁辐射性质的一个包括四个方程的方程组。这是在牛顿的成果之外经典物理学取得的又一个伟大的成就。麦克斯韦除了对光进行了数学描述，还提出了制作彩色图像的“三原色”原理。今天的家用电视接收机就应用了这一原理。

麦克斯韦仅用了四个方程就把有关电场和磁场的一切特征全都囊括在内，这四个方程后来就被叫做麦克斯韦方程。它们在场理论（电磁力理论）中所起作用就如同牛顿定律在力学中（粒子运动理论）所起的作用。这四个方程能够预言许许多多的事情，例如，原子内部一个电子的来回运动有可能产生一系列电波，以及这一列电波在空间行进时又会出现怎样的现象。当电波向前传播时，在它所经过的每一处的电场

## 制造波

带电粒子（例如电子）的抖动会形成电磁波。这与你上下抖动绳子一端来产生一系列沿着绳子传播的波的情形十分类似。

都会发生变化。由于变化的电场会产生磁场，因此，电波将产生一系列随同它一起移动的磁波。然而，这种磁波又会产生电波。于是，结果就是：一个来回运动的电子所产生的不单是电波，而是结对行进的电波和磁波，亦即一系列电磁波。不存在单纯的电波或单纯的磁波。



## 光是一种波

200年前, 托马斯·扬 (Thomas Young)

利用双缝实验演示证实了光是一种波。他用单色光照射通过一块屏板上的一条狭缝, 接着, 再使从这个狭缝射出的光通过第二



托马斯·扬  
(1773—1829)

块屏板上的两条平行的狭缝,

最后投射在第三块屏板上。

这时, 在第三块屏板上

将显现出明暗相间的条

纹。对这个实验结果的

解释是这样的: 光是以

波的形式传播, 就像是

池塘里的水波。通过两条狭缝中任何一

条狭缝的那一列波都在作上下振动,

它们在彼此相遇的地方会发生干

涉。在相遇处, 若两列波的上下振

动步调一致, 就会形成更亮的光;

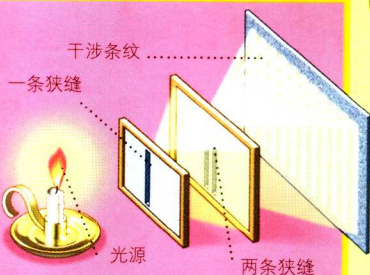
若两列波的步调正好相反, 它们就

会相互抵消, 留下一条暗黑条纹。对

于19世纪的科学家来说, 两束光合在

一起竟然会变暗, 那真是一项令人惊奇

的发现。



### 制造波

尽管扬氏的实验装置十分简单, 所观测到的结果却极具启发性。



波峰重叠

两列波相互加强

波峰与波谷重叠

两列波相互抵消

相长干涉

相消干涉

波峰重叠产生振幅加倍的一列波。

波峰与波谷重叠使波消失。

将光束射入棱镜

## 光的折射

一块很简单的三角形玻璃棱镜就可以将白光(或太阳光)分解成彩虹中的那些彩色光。现在我们知道,每种色光对应不同的波长范围段,波长越短,则折射越厉害。



白光被分解为组成它的那些波长

当麦克斯韦用他的方程去计算电磁波应当行进的速度时,终于结下了最甜的果实。他的方程给出的是惟一的波速,而且对于所有的电磁波全都一样。后来知道,麦克斯韦求出的波速正好就是光速。所有的电磁波都以光速传播,这样就必然得到一个结论,光是由在空间传播的电磁波所组成的。

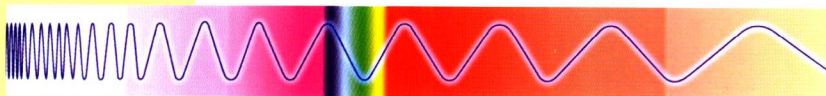
## 光波难题

当时,科学家从19世纪早期英国的托马斯·扬和法国的奥古斯丁·菲涅耳(Augustin Fresnel)的研究工作中已经知道,光是以波的形式在空间传播。法拉第推测,“光是一种力线振动的高级形式”,由于他数学不行,他没有进一步说明为什么会是这样。

正如扬氏及其他人所做的许多实验所证明的,可见光的波长(两个相邻波峰之间的距离)范围是从380纳米(紫色)到750纳米(红色)。不久以后,科学家又把麦克斯韦方程用于描述波长更长的辐射(如无线电波)和波长更短的辐射(紫外线光和X射线)。然而,光的波动理论终于遇到了一个大难题,即它无法解释所谓的黑体辐射现象。起初,科学家还以为那不过是一个小麻烦,很快就能够得到解决。孰料,物理学家研究这个难题越深,就越发现那原来是一个如此棘手的大难题。

## 电磁波谱

可见光只是电磁波谱的一小部分。电磁波谱的范围从波长很短的 $\gamma$ 辐射一直延伸到无线电波。电磁波的折射程度取决于它的波长。



$\gamma$ 射线 X射线 紫外线 可见光 红外线 微波 无线电波

# 量子革命

黑体辐射之所以有这样一个名称，是因为产生它的背景十分奇特。在经典物理学中所说的黑体是这样一种物体：它将会吸收照射在它上面的全部电磁辐射。如果这样一个

“关于物质的定律必须是我们经过再三思索才创建出来的那些定律，而我们创建的那些定律则必须的确是物质自身的或者说是由物质创建的那些定律。”

詹姆斯·麦克斯韦

物体变热，辐射出能量——黑体辐射，它其实不再是黑色了。它最早曾被叫做空腔辐射，根据那个名称，我们比较容易了解这种辐射的性质。

## 什么是黑体辐射？

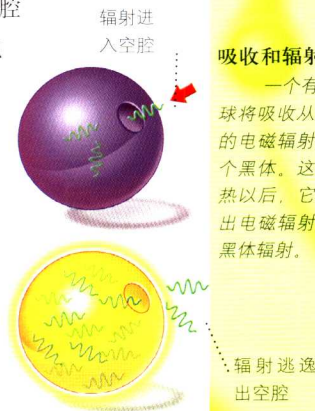
设想有一个非常大的空心球，在球壳上开有一个非常小的孔洞。这时，从这个小孔射入的辐射将全部被空腔吸收，这个空腔就像一个黑体。现在我们再想像把这个球体加热，直到它发光，起初变为红热，继而白热，再后来变为蓝热。这时，从这个小孔发射出的辐射就是纯粹的黑体辐射（或空腔辐射）。使用“黑体”这个名称容易使人迷惑，因为它发出的其实是彩色辐射。我们所举的这个例子，突出了黑体辐射的一个最重要的特征：黑体辐射的颜色取决于黑体的温度。因为光的

## 要点

- 光以波的形式传播，就像池塘里的水波。
- 到19世纪末，牛顿定律和麦克斯韦方程似乎已经能够解释物理世界中的一切事物。
- 这些定律却无法解释热物体所辐射的光的性质。

## 吸收和辐射

一个有小孔的冷球将吸收从小孔射入的电磁辐射，就像一个黑体。这样的球变热以后，它又会发射出电磁辐射，这就是黑体辐射。





### 红热

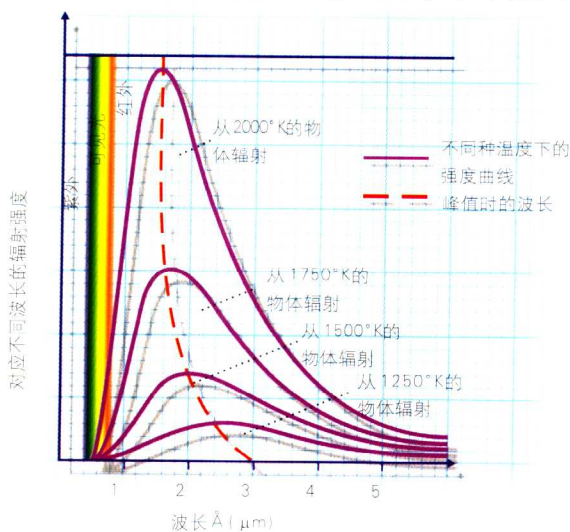
吹制玻璃器皿的技师能够根据玻璃的颜色判断玻璃的温度，由此掌握它的性质。

颜色由波长决定，这就意味着，对应着每种波长所发出的辐射的强度取决于物体的温度。这与我们实际生活的经验是一致的。我们都知道，比如说像集中供热系统的暖气片那样的物体，它没有亮光，发出的是看不见的红外线热辐射。另外，一块烧红的铁块，比起一块烧至白热的铁块来，温度较低。有许多物体的辐射都非常接近于黑体，包括太阳。因此，假定太阳的辐射就是黑体辐射，我们就有可能仅通过太阳的颜色（橘黄色）来测量太阳表面的温度（大约  $6000^{\circ}\text{K}$ ）。

到19世纪80年代，已经通过实验搞清楚了黑体辐射依赖于温度的那种确切的关系。把这种辐射的电磁波谱绘制成图（黑体曲线），所得曲线上有一个像小山一样的光滑的凸峰。在特定的温度下，这个凸峰总是位于波谱的同一区段，也就是说，对应着同一波长。但是，若黑体变得更热，凸峰就会向波长较短的区段移动（从红外到红、黄、蓝，等等）。此外，在凸峰两侧，

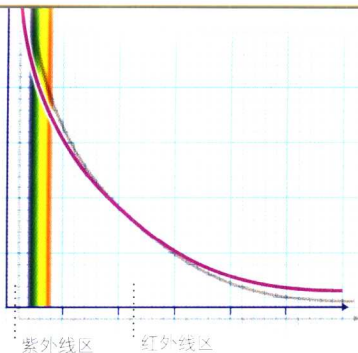
### 黑体辐射曲线

从一个热物体发出的辐射，其峰值所对应那个波长与该物体的温度有关。这些“黑体辐射曲线”的峰值全都位于光谱的红外线区，形成“小山”的样子，而在可见光谱区域则几乎没有辐射。



几乎没有什么辐射。

这种黑体辐射现象令人十分困惑，因为经典物理学无法解释这种现象。按照经典物理学，电磁波是被当作一种波动来处理，（在数学上）同对海浪或对小提琴弦线的振动波的处理方式是一样的。因此，若向其中加入能量，那么，所产生的辐射的强度应该是与辐射的频率成正比的。也就是说，无论在什么温度，都应该是频率越高（即波长越短），辐射量越大。按照这样的分析，辐射的大部分能量都应该集中在紫外线区，在波谱曲线上不应该出现“小山”。然而，实际情况却是有这种“小山”。这种所谓的“紫外灾变”便宣告了长期以来一直被看作是对物理世界完美解释的经典物理学的终结。



### 预言的曲线

这是按照牛顿和麦克斯韦的经典物理学预言的应该具有的辐射曲线。任何热物体的辐射能量都应该主要集中在波长很短的区域，即应该位于光谱的紫外线端。经典理论这个预言的失败，就是所谓的“紫外灾变”。

## 普朗克常数

针对这种无法解释的现象，德国物理学家普朗克于1900年另辟蹊径，作出一种猜测性的假设，终于找到了一条解开谜团的途径。他假设，光并不是总是一种平滑、连续的波动，而是可以被分割成他称之为“量子”的许多小块。为此，他将一定份额的能量 $E$ 赋予每一个量子，而此能量的大小取决于光波的频率 $f$ 。为了解释黑体辐射现象，普朗克假定 $E=hf$ ，此处的 $h$ 是他新提



马克斯·普朗克

(Max Planck, 1858 —

1947) 于1900年发动

了量子革命，他利用

光量子成功地解释了黑体辐射现象。

普朗克与他自己开创的量子革命一直不甚和谐，但是在狭义相对论于1905年发表之时，他却十分开明，是最先高度评价狭义相对论的不多的几位物理学家之一。1918年，他以自己的科学成就而荣获诺贝尔奖。