



科 普 阅 读 世 界 经 典 文 库

物理马戏团

The Flying Circus Of Physics

光学、电磁学和视觉问题

精品
科学馆
科普教育·伴随成长

[美] 吉尔·沃克 (Jearl Walker) 著
罗娜 石自媛 石磊 等译
飞思少儿科普出版中心 监制

【风行世界三十年经典物理问题】

【物理迷顶级手册】



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

科 普 阅 读 世 界 经 典 文 库

物理马戏团

The Flying Circus Of Physics

光学、电磁学和视觉问题

[美] 吉尔·沃克 ◎ 著
罗娜 石自媛 石磊 尹飞 ◎ 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

The Flying Circus of Physics/Jearl Walker.--2nd ed.

Copyright©2007 John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书中文简体版专有出版权由John Wiley & Sons授予电子工业出版社。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-2396

图书在版编目(CIP)数据

物理马戏团.光学、电磁学和视觉问题/(美)沃克(Walker,J.)著;
罗娜等译.-北京:电子工业出版社,2012.1

(科普阅读世界经典文库)

书名原文:The Flying Circus of Physics

ISBN 978-7-121-14212-3

I. ①物… II. ①沃… ②罗… III. ①光学—普及读物
②电磁学—普及读物③视觉—普及读物 IV. ①O4-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第151617号

责任编辑:郭晶 赵静

特约编辑:赵海红

印刷:北京中新伟业印刷有限公司

装订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:850×1168 1/32 印张:12.5 字数:320千字

印次:2012年1月第1次印刷

印数:6000册 定价:39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前言

1968年的一个漆黑枯燥的夜晚，我的脑海中出现了“物理（飞行）马戏团”，那时我还是马里兰州大学的一名研究生。是的，事实上，对于大多数研究生来说几乎所有的夜晚都是漆黑枯燥的，但我想说的是那天晚上格外的漆黑枯燥。当时我是一名全职助教，那天早些时候我给我的一名学生莎朗出了一个测试题。她的题答得很差，最后却反过来质问我，她说：“这到底跟我今后的生活有什么关系啊？”

我跳起来对她说：“莎朗，这是物理！它跟你生活的方方面面都有关系！”

此时，她转过身子面向我，眼睛盯着我，用紧绷的声音和有节奏的语速对我说：“那你给我举出些例子。”

我想了半天一个也没想出来。学了六年物理，我竟然连一个例子都举不出来。

那天晚上我突然意识到，我面对的问题和莎朗一样：这个叫做物理的东西是人们在物理实验室里研究的，与莎朗（或者我）的现实生活却没有什么太大的关系。于是，我决定要搜集一些现实生活中的例子，而且为了吸引莎朗的注意力，我给这一系列的合集起了一个名字叫“物理（飞行）马戏团”。通过日积月累，我逐渐充实了这个合集。

很快，人们就来找我要《物理（飞行）马戏团》材料的副本了，一开始是莎朗班上的同学，然后是我的研究生同窗，接着一些老师也来要材料。在马里兰州大学的物理系把我的这份材料印制成“技术报告”后，我与“约翰威利”出版社签订了图书出版合同。

1975年，《飞行马戏团》出版了；在1977年我又进行了修订。从那以后，这本书被翻译成11种语言在世界各地出版。本书是《物理马戏团》的第二版，已经重新进行了编写和设计。

我刚开始编写《物理（飞行）马戏团》的材料的时候，只能通过一页一页地翻看几十种期刊，寻找与本书相关的论文。诚然，我那时把这件苦差事比喻成在一座贫瘠的山腹里寻找金子——这金子既稀少也难以寻得。

如今，每年有数百篇可能与《物理（飞行）马戏团》有关的文章发表，在我看来这就像是找到了一座大金矿。现在，我再也不局限于在那几十本期刊上寻找资料了；而是直接查阅400种期刊，同时用搜索引擎整理其他的几百种材料。大多数时间我只需坐在电脑前轻松地用手指敲敲键盘。我希望莎朗能够看到我找到的这些有趣的东西。通过我的这些工作，你们将会发现物理“和你的生活有千丝万缕的联系。”

物理飞行马戏团网站

请你进入www.flyingcircusofphysics.com网站查找与本书相关的内容：

超过10000篇与自然科学、工程学、数学、医学和法学有关的引用资料。这些资料根据图书种类进行分类并已标明难易程度。

物理飞行马戏团名称的由来

根据早期那些玩命飞行员令人毛骨悚然的飞行特技表演，我给最初的材料合集命名。我认为这样的飞行表演一般被人们称为“飞行马戏团”，而我也希望那些铤而走险的飞行员形象能够吸引一些人来读我的作品。

据我了解，飞行马戏团最早是指乘火车四处巡演的马戏团，后来又有一架德国飞机被人们以这个名称命名，它因飞行如马戏表演一样惊心动魄而得名，并和驾驶它的著名德国飞行员红色男爵著称于世，红色男爵在第一次世界大战期间将他的飞机涂成血红色，威慑他在空中的对手。

我采用飞行马戏团这个名字一年后，戏剧表演团蒙提·派森（也称

“蒙提巨蟒”）的飞行马戏团也在英国崭露头角。那年，这个名字应该已经在大西洋两岸流行起来了。（不过，“死鹦鹉”的搞笑段子可完全全是蒙提·派森原创的。）

参考书目

所有引用资料都已列入物理飞行马戏团的网站，这些资料根据图书种类进行分类并已标明难易程度。该网站包含超过10000篇引用资料。

请把你们的资料发给我

我非常希望收到读者对本书的更正、评价、新点子及各种引用资料。如果您想给我发来引用资料，希望您能发给我全文而不是缩写，还有该资料完整的页码。但如果无法做到这些，即使是一个片段也能引起我的兴趣。如果您能给我寄资料的复印件或者网址就再好不过了。

我基本上不将网址列入引用资料，因为我不能保证时时检查网站是否依然还在运营。

我是全职的老师，也是本书全职的作者，还要投入双倍的时间完成物理学基础的教科书的写作工作。我的时间真的很紧张，而且精力也有限。所以，请谅解我不能回答每一封来信和每一条留言。

关于克利夫兰州立大学

如果你想到一所可靠并且是中等规模的大学上学，那么你可以选择来坐落在俄亥俄州克里夫兰的克利夫兰州立大学（www.csuohio.edu）。我已经在这里教了30年的书了，而且还没有要隐退的打算（尽管我听说自然规律最终会让我退休）。我就是这么一个在一间小小办公室里工作，身边堆满各种研究论文，在电脑键盘上敲敲打打赶在截稿日前拼命赶稿的家伙。

关于教科书

本书适合的读者应学习过小学的初级物理或物理科学课程，如果你

想配合本书阅读一些物理教科书，那么我向你们作如下推荐：

《万物如何运转：日常生活中的物理知识》，作者是路易斯·A，（由约翰威利出版社出版），在介绍物理学的过程中没有辅助任何数学原理；

《物理学》，作者是约翰·D·卡特奈尔和肯尼斯·W·约翰逊（由约翰威利出版社出版），在代数知识的基础上介绍物理学；

《物理学基础》，作者是戴维·哈利迪、罗伯特·雷斯尼克和吉尔·沃克（由约翰威利出版社出版），在微积分知识基础上介绍物理学。

致谢

我需要感谢很多人，因为每当我认为“一切希望都将破灭的时候”他们会站出来鼓励我，当然这只是其中一部分原因。另外也是因为许多人在我完全痴迷于工作和了解我“每天都要工作得像活不到明天一样！”的想法时对我的宽容。

吉尔·沃克和玛莎·沃克（他们是我的父母，在我还是十几岁时，他们肯定曾经度过无数个不眠的夜晚，担心我的未来），鲍勃·飞利浦（我的高中数学和物理老师，是他为我开启了通往新世界的大门），费尔·迪拉沃尔（他把我带进教师这一行），乔·雷迪希（他在将《物理飞行马戏团》的原稿作为马里兰州大学物理系的技术报告刊发时帮了我很大的忙），费尔·莫里森（他是第一个鼓励我出版飞行马戏团的人，随后还在《科学美国人》杂志上为我的书写了一篇精彩的图书评论，这也许就是我在此后的13年中一直为这本杂志写“业余科学家”专栏的原因），丹尼斯·弗兰纳甘（他是《科学美国人》的编辑，是他录用了我并给予我多年的指导），唐纳德·狄耐克（20世纪70年代约翰威利出版社的物理图书编辑，他给了我《物理（飞行）马戏团》的第一份合同），卡尔·卡斯伯和伯纳德·哈默麦希（他们为了我的写书工作着想，特意聘用我作克利夫兰州立大学的助理教授），戴维·哈利迪和罗伯特·雷斯尼克（是他们允许我在1990年接过《基础物理学》教科

书编写的接力棒)，艾德·米尔曼（是他教会我如何写教科书），玛丽·珍·桑德斯（她是克利夫兰州立大学的校长，是她建立起了这样一个活跃的学术气氛让《物理（飞行）马戏团》得以完成，她还用批判的眼光评论了本书的许多篇手稿），斯图尔特·约翰逊（约翰威利出版社的物理图书编辑，他指导我完成这本书及此后各版次的《物理学基础》），卡罗尔·西泽尔（她通读了本书的手稿，并对很多内容做出了必要的修改），玛德琳·莱瑟（本书的设计师），伊丽莎白·斯维恩（约翰威利的图书制作编辑，负责制作编辑本书），克里斯·沃克、希瑟·沃克和克莱尔·沃克（我长大了的孩子们，是她们容忍我痴迷于我的写作和我对她们一直以来的唠叨），帕特里克·沃克（我正在成长中的孩子，他不仅容忍我常年在地下室工作，还教会了我如何在攀岩馆里对付岩壁上那些突起的小点），还有（最最重要的）玛丽·格里克（我的妻子，她为本书贡献了许多好的想法，而且每次在我大喊“所有希望都破灭了！”的时候都会鼓励我继续走下去）。

物理就在：

第一次约会时：

酒吧里：

一架航班上：

洗澡和上洗手间时：

整理庭院时：

目录

第一章

让你目光如炬的 光学问题

- 1.1 闪电•002
- 1.2 闪电与人、牛、羊•005
- 1.3 闪电与飞行器•009
- 1.4 闪电与树、塔、地面•011
- 1.5 念珠闪电和球状闪电•012
- 1.6 精灵•014
- 1.7 避雷针•015
- 1.8 毛衣、滑梯、手术室•017
- 1.9 汽车、燃油泵与进站加油•020
- 1.10 交换口香糖也骇人•023
- 1.11 空中的浮尘很危险•024
- 1.12 来自喷雾罐的危险•025
- 1.13 雾化水带来的危险•026
- 1.14 滑雪辉光•027
- 1.15 “兴登堡号”灾难•028
- 1.16 轮床火•030
- 1.17 剥离黏胶带发光•031
- 1.18 香菜、鼠尾草、迷迭香、
百里香•033
- 1.19 冬青在壁橱中发光•036
- 1.20 地震光•038
- 1.21 圣艾尔摩之火和安第斯辉光•038
- 1.22 高压线•039
- 1.23 电流、电压与人•042
- 1.24 轻率的行为•044
- 1.25 手术中利用电流•045
- 1.26 手术火灾和爆炸•047
- 1.27 柠檬电池，补牙时的刺痛•049
- 1.28 电鱼和鳗鲡•051
- 1.29 吹动灰尘、沙和雪而带电•053
- 1.30 火山上方类似闪电的放电•055
- 1.31 手术中的细菌污染•056
- 1.32 蜜蜂和花粉•058
- 1.33 火蚂蚁和电气设备•060
- 1.34 食品的塑料包装•061
- 1.35 天花板上的苍蝇与
墙壁上的壁虎•062
- 1.36 酥皮馅饼•063

- 1.37 蛋黄酱 • 065
- 1.38 天然磁石 • 067
- 1.39 地球磁场和考古学 • 068
- 1.40 磁共振成像并发症 • 070
- 1.41 磁场寻找加菲尔德子弹 • 073
- 1.42 磁铁、纹身和身体饰品 • 074
- 1.43 早餐和牛的磁学 • 075
- 1.44 电吉他 • 076
- 1.45 电吉他放大器 • 077
- 1.46 极光 • 079
- 1.47 太阳爆发和停电 • 080
- 1.48 悬浮青蛙 • 083
- 1.49 磁铁发出的嘶嘶声 • 084
- 1.50 在火车站里你体内的电流 • 085
- 2.9 主教的戒指 • 103
- 2.10 颜色不一的云 • 104
- 2.11 日食的时候天空是什么颜色的 • 105
- 2.12 当天空变绿时候，要到地窖里 • 106
- 2.13 使天空变得更蓝些 • 107
- 2.14 为什么在玫瑰色的边界上会出现黑色的板块 • 108
- 2.15 明亮的轴和黑暗的轴划过天空 • 109
- 2.16 蓝色的霾、红色的霾和棕色的霾 • 110
- 2.17 远处城市的光 • 112
- 2.18 地平线离我们有多远 • 112
- 2.19 多云的天空是什么颜色的 • 113
- 2.20 天空的地图 • 114
- 2.21 明亮的雪后 • 114
- 2.22 在探照灯的后面 • 115
- 2.23 纽格兰奇石墓的冬至光 • 116
- 2.24 绿色的闪光 • 116
- 2.25 扭曲的太阳影像 • 118
- 2.26 月食时候出现的红月 • 119
- 2.27 像皇冠一样闪闪发光的云 • 121
- 2.28 海市蜃楼 • 121
- 2.29 墙面幻影 • 123
- 2.30 大水怪、人鱼和大规模海市蜃楼 • 124
- 2.31 出现在花丛中的幽灵 • 128
- 2.32 晃动的空气和闪烁的星星 • 129
- 2.33 影带 • 131

第二章 让你目光如炬的电磁学问题

- 2.1 彩虹 • 088
- 2.2 奇怪的彩虹 • 092
- 2.3 人造彩虹 • 095
- 2.4 白天的天空不是黑暗的 • 096
- 2.5 天空的颜色 • 098
- 2.6 蓝山、白山和红云 • 100
- 2.7 水手的警告 • 102
- 2.8 日落和火山 • 102
- 2.9 主教的戒指 • 103
- 2.10 颜色不一的云 • 104
- 2.11 日食的时候天空是什么颜色的 • 105
- 2.12 当天空变绿时候，要到地窖里 • 106
- 2.13 使天空变得更蓝些 • 107
- 2.14 为什么在玫瑰色的边界上会出现黑色的板块 • 108
- 2.15 明亮的轴和黑暗的轴划过天空 • 109
- 2.16 蓝色的霾、红色的霾和棕色的霾 • 110
- 2.17 远处城市的光 • 112
- 2.18 地平线离我们有多远 • 112
- 2.19 多云的天空是什么颜色的 • 113
- 2.20 天空的地图 • 114
- 2.21 明亮的雪后 • 114
- 2.22 在探照灯的后面 • 115
- 2.23 纽格兰奇石墓的冬至光 • 116
- 2.24 绿色的闪光 • 116
- 2.25 扭曲的太阳影像 • 118
- 2.26 月食时候出现的红月 • 119
- 2.27 像皇冠一样闪闪发光的云 • 121
- 2.28 海市蜃楼 • 121
- 2.29 墙面幻影 • 123
- 2.30 大水怪、人鱼和大规模海市蜃楼 • 124
- 2.31 出现在花丛中的幽灵 • 128
- 2.32 晃动的空气和闪烁的星星 • 129
- 2.33 影带 • 131

- 2.34 22° 光圈和幻日 • 132
- 2.35 天空中充满了光圈, 光弧和光点 • 134
- 2.36 山的阴影 • 136
- 2.37 消失的云影 • 137
- 2.38 海水的颜色 • 139
- 2.39 太阳和月亮的反射光 • 140
- 2.40 光环 • 141
- 2.41 水中的阴影和颜色 • 142
- 2.42 你的影子的颜色 • 145
- 2.43 观察月亮的暗处 • 146
- 2.44 光环和逆射阳光 • 146
- 2.45 庄稼地里的浪 • 151
- 2.46 荣光 • 152
- 2.47 日月晕 • 154
- 2.48 霜冻的玻璃上产生的光晕 • 155
- 2.49 彩虹色的云 • 156
- 2.50 蓝色的月亮 • 157
- 2.51 黄色的雾灯 • 158
- 2.52 湿了会变黑 • 158
- 2.53 雪和冰的颜色 • 160
- 2.54 冰镜效应和雪光 • 161
- 2.55 临时性失明和雪盲症 • 163
- 2.56 黄色的滑雪眼镜 • 164
- 2.57 什么时候冰会变黑 • 165
- 2.58 白云和乌云 • 166
- 2.59 夜间可见的云 • 167
- 2.60 镜子中的你 • 168
- 2.61 水中的倒影和舞台镜 • 169
- 2.62 派博的鬼魂和无下体的头 • 172
- 2.63 倾斜的窗户与空中交通管制员 • 173
- 2.64 若干个镜子前的影像 • 174
- 2.65 万花筒 • 176
- 2.66 镜子迷宫 • 179
- 2.67 杂耍激光射击 • 180
- 2.68 装饰物的黑三角 • 182
- 2.69 发光变暗, 越来越暗 • 183
- 2.70 回射器 • 185
- 2.71 在敌后的黑暗着陆 • 187
- 2.72 单向镜 • 188
- 2.73 后视镜 • 189
- 2.74 侧视镜 • 190
- 2.75 酒吧女侍 • 191
- 2.76 文艺复兴和光学的投影机 • 192
- 2.77 变形艺术 • 193
- 2.78 街灯的光和暗 • 194
- 2.79 来自双层玻璃的多重影像 • 195
- 2.80 世界上最强大的探照灯 • 196
- 2.81 阿基米德的死亡光线 • 197
- 2.82 焚烧裁判 • 199
- 2.83 来自墓地的鬼光 • 200
- 2.84 渔夫从一条鱼里看到的 • 201

- 2.85 鱼眼中的渔夫是怎样的? • 203
- 2.86 透过信封读信 • 205
- 2.87 吞剑者和食镜管术 • 207
- 2.88 浴室门的光学问题 • 208
- 2.89 回收魔术 • 210
- 2.90 隐形人和透明动物 • 211
- 2.91 弯曲的道路 • 214
- 2.92 浇灌植物 • 215
- 2.93 冰能点火 • 216
- 2.94 钻石 • 217
- 2.95 猫眼石 • 218
- 2.96 紫翠玉作用 • 220
- 2.97 星彩蓝宝石 • 221
- 2.98 酒杯、窗子和水滴呈现的图案 • 221
- 2.99 带有亮边的影子 • 224
- 2.100 在机翼上的光明与黑暗的
交换频率 • 226
- 2.101 来自超音速车的冲击波 • 228
- 2.102 针孔照相机和摄像头 • 229
- 2.103 树下的太阳影像 • 231
- 2.104 透过屏幕的光, 指间的线 • 232
- 2.105 亮痕和有颜色的网 • 234
- 2.106 挡风玻璃上的明亮条纹 • 237
- 2.107 唱片的反射 • 240
- 2.108 在精心雕刻的物体表面上
的发射 • 242
- 2.109 防伪: 光变设备 • 243
- 2.110 从布满水汽或者灰尘的镜子上
看到的彩色光环 • 245
- 2.111 水中牛奶的颜色 • 247
- 2.112 篝火烟雾的颜色 • 249
- 2.113 欧索效应 • 249
- 2.114 浮油、肥皂薄膜及金属炊具
的彩色 • 251
- 2.115 昆虫、鱼类、鸟类和猴子屁股的
结构性色彩 • 255
- 2.116 珍珠 • 259
- 2.117 昆虫的眼睛和隐形飞机
的突起 • 260
- 2.118 荧光植物 • 262
- 2.119 防伪: 改变颜色的墨水 • 264
- 2.120 花瓣的颜色饱和性 • 265
- 2.121 白杨树的黄色光辉 • 266
- 2.122 眼睛的颜色 • 267
- 2.123 太冷了, 我要变成蓝色 • 268
- 2.124 散斑模式 • 270
- 2.125 荧光中的颜色 • 273
- 2.126 极化太阳镜 • 274
- 2.127 天空极化 • 276
- 2.128 蚂蚁的导航 • 280
- 2.129 颜色、光斑和极化 • 281
- 2.130 无色的泡沫和碾碎的粉 • 284

- 2.131 有光泽的黑色天鹅绒和
有光泽的漆 • 285
- 2.132 绿色的玻璃和绿色的天鹅绒 • 286
- 2.133 桃色的皮肤和明显的柔软 • 288
- 2.134 凡士林聚会 • 289
- 2.135 肉的颜色 • 290
- 2.136 短啤酒 • 291
- 2.137 “比白色更白” • 292
- 2.138 消失的硬币 • 293
- 2.139 太阳镜和烟雾 • 294
- 2.140 海洋的光亮 • 295
- 2.141 海平面上的蓝丝带 • 296
- 2.142 傍晚的降临 • 297
- 2.143 多彩的凝结尾 • 298
- 2.144 珍珠般的云彩 • 298
- 2.145 晚霞 • 299
- 2.146 空中的涟漪 • 300
- 2.147 远处雨的交替线 • 301
- 2.148 光亮的夜晚 • 302
- 2.149 黄道光、对日照、夜光 • 302
- 2.150 海平面的反射 • 304
- 2.151 用一个金属球去聚光 • 305
- 2.152 弯曲镜子中的快速转动 • 306
- 2.153 烟头上烟的颜色 • 307
- 2.154 如果你能看到紫外光 • 308
- 2.155 衍射字母 • 309

- 2.156 反射游戏 • 309

第三章

让你目光如炬的 视觉问题

- 3.1 将月亮变大 • 312
- 3.2 天空的形状 • 313
- 3.3 利用盲区“斩首” • 314
- 3.4 早晨灰色的网格、白天时髦的
眼镜 • 316
- 3.5 眼睛中的漂浮物，以及其他的
亮点 • 318
- 3.6 路灯的光圈、蜡烛的光辉、星星的
影像 • 320
- 3.7 幻视——幻象的产生 • 322
- 3.8 嗡鸣声作为频闪器 • 324
- 3.9 看到棒球的飞行 • 326
- 3.10 印象主义 • 328
- 3.11 点画派绘画作品 • 329
- 3.12 莫尔条纹 • 330
- 3.13 光效应绘画艺术 • 332
- 3.14 油画中的深度 • 334
- 3.15 黑暗中阅读 • 335
- 3.16 被拖行的鬼影 • 337
- 3.17 反射眼 • 338
- 3.18 人类、企鹅和鳄鱼的水下视力 • 340

- 3.19 四只眼睛的鱼的水下视觉 • 342
- 3.20 柴郡猫效应 • 343
- 3.21 犀牛光学效应 • 344
- 3.22 飞翔的云和蓝色的小鬼 • 345
- 3.23 “普尔弗里希”幻觉 • 346
- 3.24 路灯的延迟顺序 • 349
- 3.25 马赫带 • 350
- 3.26 倒置的世界 • 352
- 3.27 倒置的阴影，水泡效应 • 353
- 3.28 圣诞树彩球的奇特反光 • 355
- 3.29 旋转随机点图样 • 356
- 3.30 电视机的雪花图像 • 357
- 3.31 蒙娜丽莎的微笑 • 359
- 3.32 电视机里的鬼影 • 360
- 3.33 从针孔中阅读 • 361
- 3.34 手指的颜色 • 362
- 3.35 在白天可以通过一个长管子
看到星星 • 363
- 3.36 天文观测者眼睛的移动 • 364
- 3.37 宇航员能看到的地球上
的物体 • 365
- 3.38 蜜蜂、沙蚁和偏振光 • 366
- 3.39 海丁格内视刷 • 367
- 3.40 影子的颜色 • 370
- 3.41 太阳镜的安全性 • 371
- 3.42 鱼眼球 • 372
- 3.43 红色和蓝色标志牌的厚度 • 374
- 3.44 浦肯野蓝弧 • 376
- 3.45 麦克斯韦光斑 • 378
- 3.46 视觉感受辐射 • 379
- 3.47 控制板上的红光 • 381
- 3.48 超人的x光视觉 • 381
- 3.49 烟花幻觉 • 382
- 3.50 凝视天花板 • 383

第一章

让你目光如炬的光学问题

1.1 闪电

闪电是由什么引起的？为什么雷声和闪光会出现？既然我们可以从很远的地方看到闪电，那么闪电是不是覆盖了很大的范围？

答案 闪电是云和地面之间强烈的放电现象。虽然现在人们已经可以计算和测量这种放电的细节，但是时至今日，人们仍然还没有完全理解云为什么会带有大量电荷，以及触发闪电现象的根本原因。目前对云带电的标准解释是，冰雹和更小的冰晶之间的碰撞，导致冰晶向冰雹转移了电子，这些电子最终降落到云层底部。使电子携带负电荷，因此，云层底部带负电，而云层顶部失去了这些电子，带正电荷。同时，也有少量正电荷存在于底部附近。

地面通常拥有大量可以自由移动的电子，但是，当一个带电的云在地面的一定高度上形成，这些可以自由移动的电子会被云层底部的负电荷赶走。因此，由于失去了电子，云层正下方的地面带正电荷。地面上的这些电荷和分布在云层中的电荷使云和地面之间形成了一个强大的电场。如果这个电场超过一个临界值，分布在云层底部的电子会突然跳跃到少量正电荷所在的位置，于

是开始于云层底部的放电就发生了。

然后，一个阶梯先导开辟出曲折的通路到达地面，电离原子（剥离原子的外层电子）并且把云中的一些负电荷传输给地面。这种曲折的通路太模糊以至于不容易看见，每次开辟通路的长度大约为50米（因此是阶梯形），并且每次有很多向下的分叉。虽然从地面上观察闪电，它似乎是垂直于地面的，但是实际上闪电的路径主要是水平的。一旦闪电的通路接近地面，闪电就似乎可以盯上地面上的物体，比如一棵高高的树。

电离原子的通道从这些物体向上发展。当这些向上的电子流中，有一支遇上了向下的阶梯先导，就完成了地面和云之间的导电通路，接近地面的电子在电场的作用下沿着导电路径加速向下流向地面。电子向地面的快速转移，形成沿着导电路径向上的电流，一直到接触底部云层，这一过程称为回击。因为电子被加速，它们强烈地撞击沿导电通路方向的空气分子，击出它们的电子并使得这些空气分子剧烈地运动而升高温度。由于这些热量，空气迅速膨胀而产生冲击波，这就是雷声。随着自由电子重新和空气分子结合，就产生了闪电中出现的白光。虽然闪电可以很耀眼并且拥有很大的能量，但是使这些行为发生的导电通路的直径可能连1厘米都不到。

一旦导电通路建立，云可以向下输送好几次电子流脉冲，因为更多的电子由云的其他部位向导电通路的顶部移动。在你看