

物理学

(第二版)

第二卷 第二册

[美] D. 哈里德 R. 瑞斯尼克 著

科学出版社

物 理 学

(第二版)

第二卷 第二册

D. 哈里德 著
〔美〕 R. 瑞斯尼克
郑永令等 译
吴剑华 校

科 学 出 版 社

1982

内 容 简 介

本书为美国近年来较为流行的高等院校理工科物理学教科书。原书分两卷,1960年初版,1966年第二版,1978年第三版作了重大修改。1978年的中译本是按原书第二版译出的。现在的中译本第二版是按原书1978年第三版译出的。

第二卷中译本分为两册,第一册为电磁学,第二册介绍光学及量子物理学基础知识,主要内容有:光的传播,光的反射与折射,光的干涉与衍射,光栅与光谱,光的偏振,光与量子物理学等。

本书可作为高等院校理工科普通物理教学用书和参考书,也可供科技人员参考。

D. Halliday, R. Resnick

PHYSICS

Part II, 3rd. Ed.

John Wiley, 1978

物 理 学

(第 二 版)

第 二 卷 第 二 册

[美] D. 哈里德 著
R. 瑞斯尼克 著

郑永令 译 吴剑华 校

责任编辑 陈咸亨

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1978年6月第一版 开本: 850×1168 1/32

1981年10月第二版 印张: 10 1/4

1982年10月第四次印刷 字数: 265,000

印数: 159,031—188,530

统一书号: 13031·1646

本社书号: 2262·13-3

定价: 1.55 元

重要的物理常数

(更全面的一览表参看附录A)

光速	c	3.00×10^8 米/秒 = 1.86×10^8 英里/秒
质能关系	$c^2 (= E/m)$	931 兆电子伏特/原子质量单位 = 8.99×10^{16} 焦耳/公斤
引力常数	G	6.67×10^{-11} 牛顿·米 ² /公斤 ²
气体普适常数	R	8.31 焦耳/克分子·°K = 1.99 卡/克分子·°K = 0.0823 升-大气压/克分子·°K
水的三相点	T_{tr}	273.16°K
真空磁导率	μ_0	1.26×10^{-6} 亨利/米
真空电容率	ϵ_0	8.85×10^{-12} 法拉/米
阿伏伽德罗常数	N_0	6.02×10^{23} 分子/克分子
玻耳兹曼常数	k	1.38×10^{-23} 焦耳/分子·°K
普朗克常数	h	6.63×10^{-34} 焦耳·秒
基本电荷	e	1.60×10^{-19} 库仑
电子的静止质量	m_0	9.11×10^{-31} 公斤
电子荷质比	e/m_0	1.76×10^{11} 库仑/公斤
质子的静止质量	m_p	1.67×10^{-27} 公斤
电子的磁矩	μ_0	9.27×10^{-24} 焦耳/忒斯拉

重要的物理性质

空气密度(标准温度和压力下)	1.29 公斤/米 ³
水的密度(20°O)	1.00×10^3 公斤/米 ³
水银的密度(20°O)	13.5×10^3 公斤/米 ³
干燥空气中的声速(标准温度和压力下)	331 米/秒 = 1090 英尺/秒
重力加速度(标准值)	9.81 米/秒 ² = 32.2 英尺/秒 ²
标准大气压	1.01×10^5 牛顿/米 ² = 14.7 磅/英寸 ² = 760 毫米汞高

地球的平均半径	6.37×10^6 米 = 3960 英里
地球与太阳之间的平均距离	1.49×10^8 公里 = 92.9×10^6 英里
地球与月亮之间的平均距离	3.80×10^5 公里 = 2.39×10^5 英里
地球的质量	5.98×10^{24} 公斤
水的溶解热(0°C , 1 大气压)	79.7 卡/克
水的汽化热(100°C , 1 大气压)	539 卡/克
冰的溶解点	$0.00^\circ\text{C} = 273.15^\circ\text{K}$
空气的比热比 γ (20°C)	1.40
钠的黄双线波长	5892 埃
水的折射率(对 5892 埃)	1.33
冕牌玻璃的折射率(对 5892 埃)	1.52

重要的数学常数

$\pi = 3.14$	$\pi^2 = 9.87$	$e = 2.72$	$e^{-1} = 1/e = 0.368$
$\ln 2 = 0.693$	$\log e = 0.434$	$\sqrt{2} = 1.41$	$\sqrt{3} = 1.73$
$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = \frac{1}{2} = 0.500$	$\tan 60^\circ = \cot 30^\circ = \sqrt{3} = 1.732$		
$\cos 30^\circ = \sin 60^\circ = \sqrt{3}/2 = 0.866$	$\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2 = 0.707$		
$\tan 30^\circ = \cot 60^\circ = \sqrt{3}/3 = 0.577$	$\tan 45^\circ = \cot 45^\circ = 1.00$		

重要的换算因子

(更全面的一览表参看附录 G)

$180^\circ = \pi$ 弧度	1 年 = 3.16×10^7 秒 = 365 天
1 弧度 = $57.3^\circ = 0.159$ 转	1 英里/小时 = 1.47 英尺/秒 = 0.447 米/秒
1 斯勒格 = 32.2 磅(质量) = 14.6 公斤	1 磅 = 4.45 牛顿; 1 牛顿 = 0.225 磅
1 公斤 = 2.21 磅(质量)	1 大气压 = 29.9 英寸汞高 = 76.0 厘米汞
1 磅(质量) = 0.454 公斤	高 = 1.01×10^5 牛顿/米 ²
1 原子质量单位 = 1.66×10^{-27} 公斤	1 英热单位 = 778 英尺-磅 = 252 卡
1 米 = 39.4 英寸 = 3.28 英尺; 1 英寸 = 2.54 厘米	= 1060 焦耳
1 英里 = 5280 英尺 = 1.61 公里	1 卡 = 4.19 焦耳; 1 焦耳 = 0.239 卡 =
1 埃 = 10^{-10} 米 = 0.1 微米	2.78×10^{-7} 千瓦-小时
1 微米 = 10^{-6} 米	1 电子伏特 = 1.60×10^{-19} 焦耳
1 升 = 61.0 英寸 ³	1 马力 = 550 英尺-磅/秒 = 746 瓦特
1 英尺 ³ = 28.3 升	1 韦伯/米 ² = 1 忒斯拉 = 10^4 高斯
1 天 = 86400 秒	

目 录

第四十章 光的本性与传播	401
40-1. 光与电磁波谱	401
40-2. 光的能量与动量	402
40-3. 光的速率	407
40-4. 运动光源与观察者	413
40-5. 多普勒效应	416
第四十一章 平面波在平面上的反射与折射	424
41-1. 反射与折射	424
41-2. 惠更斯原理	429
41-3. 惠更斯原理与反射定律	431
41-4. 惠更斯原理与折射定律	432
41-5. 全内反射	435
41-6. 费马原理	439
第四十二章 球面波在球面上的反射与折射	447
42-1. 几何光学与波动光学	447
42-2. 球面波在平面镜上的反射	450
42-3. 球面波在球面镜上的反射	453
42-4. 球面波在球面上的折射	462
42-5. 薄透镜	468
第四十三章 光的干涉	483
43-1. 杨氏实验	483
43-2. 光的相干性	489
43-3. 杨氏实验中的强度	493
43-4. 波扰动相加	497
43-5. 薄膜干涉	499
43-6. 反射时的位相改变	506
43-7. 迈克耳孙干涉仪	508
43-8. 迈克耳孙干涉仪与光的传播	510
第四十四章 光的衍射	518
44-1. 引言	518
44-2. 单缝	520
44-3. 单缝的定性研究	523
44-4. 单缝的定量研究	526

44-5. 圆孔衍射	531
44-6. 双缝	534
第四十五章 光栅与光谱	544
45-1. 引言	544
45-2. 多缝	544
45-3. 衍射光栅	549
45-4. 光栅的分辨本领	554
45-5. X射线衍射	557
45-6. 布拉格定律	562
第四十六章 光的偏振	571
46-1. 光的偏振	571
46-2. 偏振片	573
46-3. 由反射产生偏振	577
46-4. 双折射	579
46-5. 圆偏振	588
46-6. 光的角动量	592
46-7. 光的散射	592
46-8. 双散射	594
第四十七章 光与量子物理学	599
47-1. 光源	599
47-2. 空腔辐射体	601
47-3. 普朗克辐射公式	603
47-4. 光电效应	606
47-5. 爱因斯坦光子理论	609
47-6. 康普顿效应	611
47-7. 线光谱	616
47-8. 氢原子	618
47-9. 对应原理	624
第四十八章 波与粒子	629
48-1. 实物波	629
48-2. 原子结构与驻波	632
48-3. 波动力学	634
48-4. Ψ 的意义	637
48-5. 测不准原理	640
补充论题 V	
麦克斯韦方程组与电磁波方程的微分形式	1

补充习题(第四十章至第四十八章)	(9)
附录	(17)
A 标准定义和基本的与导出的物理常数	(17)
B 各种地球数据	(19)
C 太阳系	(20)
D 元素周期表	(21)
E 物理学中的基本粒子	(22)
F 物理量的符号、量纲与单位	(23)
G 换算因子	(25)
H 数学符号与希腊字母	(35)
I 数学公式	(37)
J 三角函数之值	(40)
K 高斯单位制	(42)
部分习题答案	(45)
部分补充习题答案	(49)

第四十章 光的本性与傳播

40-1. 光与电磁波譜

麦克斯韦证明，光是电磁波譜的一个組成部分，如图 40-1 所示，所有这些波在本性上都是电磁的，在自由空間中的傳播速率 c 都相等。各种电磁波的差别仅仅在于它們的波长有所不同(因而頻率也不同)，

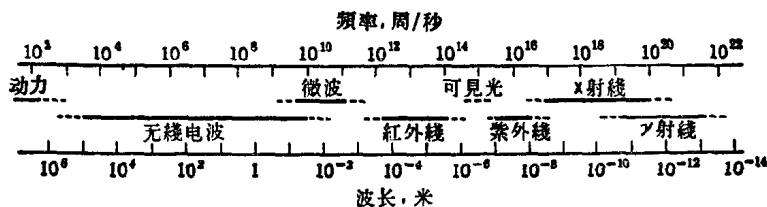


图 40-1. 电磁波譜. 注意, 波长与頻率两者都用对数标尺.

这意思是說, 产生这些波的波源以及測量这些波所用的仪器有所不同*而已。电磁波譜并没有确定的上下界限。图 40-1 中附有标记的区域表示頻率間隔, 处于同一頻率間隔內的电磁波的实验技术是共同的, 例如, 有共同的波源与探测仪器。图中相邻的区域之間都有部分的重叠。例如, 要产生波长为 10^{-3} 米的辐射, 既可以利用微波技术(微波振荡器), 又可以利用紅外技术(熾热光源)。

在这里, “光”定义为可用眼睛看見的辐射。图 40-2 表示一个假想的标准观察者的眼睛对各种波长辐射的相对灵敏度, 該图表明可見光区域的中心处波长大約为 5.55×10^{-7} 米, 这种波长的光引起黄綠色**

* 关于波长长达 1.9×10^7 英里的电磁波的报导, 讀者可参考 James Heirtzler 在 *Scientific American* (March 1962,) 上发表的一篇文章。

** 参看 “Experiments in Color Vision”, by Edwin H. Land, *Scientific American*, p. 84, May 1959. 特别是: “Color and Perception; the Work of Edwin Land in the Light of Current Concepts” by M. H. Wilson and R. W. Brocklebank, *Contemporary Physics*, p. 91, December 1961. 这两篇文章, 对于视觉問題以及作为光特征的颜色与作为物体被眼睛看見的特性的颜色二者之間的区别問題, 作了引人入胜的討論。

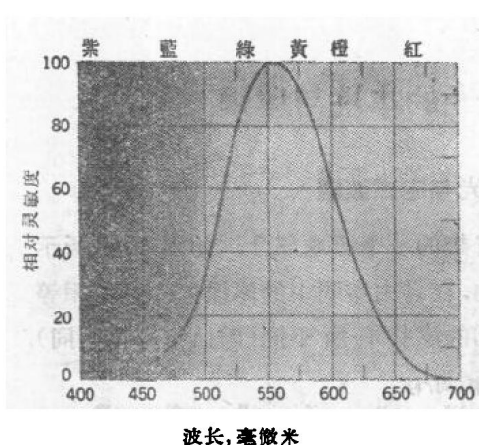


图 40-2. 在正常照明标准下, 假想的标准观察者的眼睛对不同波长的相对灵敏度。阴影面积表示正常视觉的(连续分级的)色觉。

曲线在长波与短波两边都是渐渐逼近于横轴。如果把可见光谱的极限, 任意地取在眼睛灵敏度已降低到其最大值的 1% 的波长处, 则这两个极限大约为 4300 埃与 6900 埃, 即长波的极限波长不到短波极限波长的二倍。只要辐射足够地强, 眼睛还可以看得见可见光谱极限以外的辐射。在许多物理实验中, 人们可以用照相底片或者用光敏电子探测器来代替人的眼睛。

40-2. 光的能量与动量

电磁波携带能量, 把能量从太阳带到地球, 从炉火带到炉旁的人手。电磁波在自由空间所传递的能量, 在 39-6 节中曾用坡印廷矢量 \mathbf{S} 来描写, 即

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B}. \quad (40-1)$$

式中 \mathbf{E} 与 \mathbf{B} 表示电场矢量与磁场矢量的瞬时值。

的感觉。

在光学中我们常用的波长单位是微米(代号为 μ)、毫微米(代号为 $m\mu$)与埃(代号为 \AA)。它们的定义如下:

$$1 \text{ 微米} = 10^{-6} \text{ 米},$$

$$1 \text{ 毫微米} = 10^{-9} \text{ 米},$$

$$1 \text{ 埃} = 10^{-10} \text{ 米}.$$

这样, 可见光区域中心处的波长可以表示为 0.555 微米, 或 555 毫微米, 或 5550 埃。

可见光谱的两个极限是不明确的, 因为眼睛的灵敏度曲

电磁波也可以輸运綫动量这个事实，并不是大家都很熟悉的。这个事实就是，光照射在物体上，会对这个物体施加压力(輻射压力*)。这样的力同我們日常經驗的力比起来一定很小，因为我們通常并沒注意到輻射压力。在麦克斯韦从理論上預言到这种效应約三十年之后，即1901—1903年期间，才第一次测定了輻射压力，这在美国是由尼科斯与赫耳作出的，而在俄国是由列別捷夫作出的。

設有一束平行光投射在物体上，歷經時間 t 秒，并設此入射光被物体全部吸收，如果在这段时间內物体所吸收的能量为 U ，則依照麦克斯韦的預示，入射光給予該物体的动量 p 由下式給出，

$$p = \frac{U}{c} \quad (\text{全部吸收}), \quad (40-2a)$$

式中 c 是光速。 p 的方向就是入射光束的方向。如果光能量 U 在物体上全部被反射，則入射光給予物体的动量将为方程(40-2a)所給出的动量的两倍，即

$$p = \frac{2U}{c} \quad (\text{全部反射}). \quad (40-2b)$$

同样，当一个完全彈性的网球从物体上彈回时，这个球給予物体的动量，恰为质量相同速率相同的一个完全非彈性网球冲击該物体时所給予該物体的动量的两倍。如果光能量 U 被物体反射一部分，同时又被吸收一部分，則光給予該物体的动量将介乎 $\frac{U}{c}$ 与 $\frac{2U}{c}$ 之間。

例1. 有一平行光束，其能流 S 为10瓦特/厘米²。此光束投射在一个面积为1.0厘米²的完全反射的平面鏡上，歷經1小时之久。問：(a)在这時間內，光束給予此反射鏡的动量有多大？(b)作用在此反射鏡上的力有多大？

解：(a) 經1小时照射后，从反射鏡上反射的能量为

$$\begin{aligned} U &= (10 \text{ 瓦特/厘米}^2)(1.0 \text{ 厘米}^2)(3600 \text{ 秒}) \\ &= 3.6 \times 10^4 \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

* 參看“Radiation Pressure”, G. E. Henry, *Scientific American*, p. 99, June 1957.

给予反射镜的动量为

$$p = \frac{2U}{c} = \frac{(2)(3.6 \times 10^4 \text{ 焦耳})}{3 \times 10^8 \text{ 米/秒}}$$

$$= 2.4 \times 10^{-4} \text{ 公斤-米/秒.}$$

(b) 根据牛顿第二定律, 作用在反射镜上的平均力等于给予反射镜的动量的平均变化率, 即

$$F = \frac{p}{t} = \frac{2.4 \times 10^{-4} \text{ 公斤-米/秒}}{3600 \text{ 秒}}$$

$$= 6.7 \times 10^{-8} \text{ 牛顿,}$$

这个力显然是很小的.

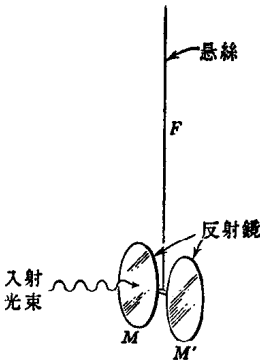


图 40-3.

1903年, 尼科斯与赫耳利用扭秤技术测量了辐射压力, 因而证实了方程(40-2). 他们让光投射到图 40-3 中的反射镜 M 上; 辐射压力使秤臂转过一个可以由实验测出的角 θ , 从而使扭丝 F 扭转. 如果实验者对所用的扭丝作过适当的校准, 他们就可以测出这个辐射压力的数值. 尼科斯与赫耳是这样来测量所用光束的强度的, 他们让光束投射到一个吸收本领为已知的涂黑的金属圆板上, 并测出这个圆板的温度

升高. 在特定的一连串实验中, 尼科斯与赫耳测得的辐射压力为 7.01×10^{-6} 牛顿/米²; 而利用方程(40-2)所预期的他们所用光束的辐射压的值为 7.05×10^{-6} 牛顿/米², 这与实验符合得极好. 假定反射镜的面积为 1 厘米², 这就表示对该反射镜的作用力只有 7×10^{-10} 牛顿, 这个力约为例 1 中计算出来的力的 $\frac{1}{100}$.

尼科斯与赫耳实验的成功, 是因为他们煞费苦心地消除了由于反射镜周围气体中分子速率分布的变化所引起的假的偏转效应. 分子速率分布之所以发生变化, 是因为反射镜从入射光束中吸收了能量, 因而温度微微上升. 这种“辐射计效应”, 正是大家熟悉的玩具辐射计放在太阳光束中发生旋转的原因. 在完全的真空中这种“辐射计效应”应该

是不会出现的。但是, 1903 年时, 可资利用的最好的真空中, 各种辐射计效应却是存在的, 因此, 在设计实验时, 就不得不特别考虑到这些效应了。

下面根据麦克斯韦方程来推演特定情形中动量传递的关系式。设有沿 z 方向进行的平面电磁波, 投射在一个很大的电阻率很高的物质薄片上, 如图 40-4 所示。如果物质薄片足够薄, 则有很小一部分入射能量被薄片吸收, 而绝大部分透过此薄片*。

在薄片处, 入射波 \mathbf{E} 与 \mathbf{B} 随时间作如下变化:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_m \sin \omega t, \quad (40-3)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_m \sin \omega t. \quad (40-4)$$

式中 \mathbf{E} 平行于 $\pm y$ 轴, 而 \mathbf{B} 平行于 $\pm x$ 轴。

在 31-4 节中, 我们讲过, (恒定的) 电力 ($= -eE$) 对金属中一个传导电子的效应, 是使传导电子以 (恒定的) 漂移速率 v_d 而运动。电子显得就像是浸没在粘滞性流体中一样, 作用在电子上的电力为“粘滞”力所抵消, 可以认为这个粘滞力与电子漂移速率成正比。因此当平衡建立后, 对于恒定的电场 E , 有

$$eE = bv_d, \quad (40-5)$$

式中 b 是电阻性的阻尼系数。因此, 电子的平衡速率 (略去下标) 为

$$v = \frac{eE}{b}. \quad (40-6)$$

如果外加电场随时间而变化, 而且变化得足够慢, 则电子的速率可以随变化着的 E 值不断地重新调节, 以致电子的速率在所有各个时刻基本上继续由其平衡值 [方程 (40-6)] 给出。媒质的粘滞性愈大, 电子漂移速率的调节就愈迅速, 正象在空气中降落的石块, 石块达到恒定的下降平衡速率所需的时间确实相当长, 但在粘滞油中降落的石块却非常迅速地达到平衡速率。我们假定, 图 40-4 中薄片的

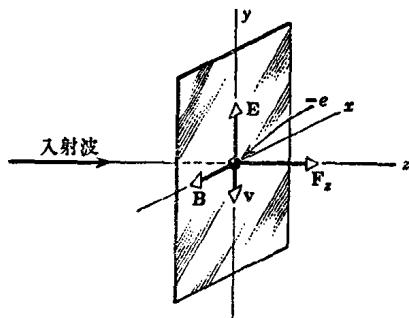


图 40-4. 入射平面光波投射在一薄光薄片内的一个电子。 \mathbf{E} 、 \mathbf{B} 、电子速度 \mathbf{v} 、辐射力 \mathbf{F}_z 的瞬时值如图所示。

* 某些入射能量也将被反射, 但反射波的强度如此之小, 以致在推导中可以略去。参看 B. Rossi 著: *Optics*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 411, 1957. 本书中的推导系根据该书改写而成。

粘滞性相当大,也就是说,薄片的电阻率相当高,以致入射光束中 E 的振荡虽然迅速,但方程(40-6)仍然正确。

当电子平行于 y 轴而振动时,这个电子还受到由波的磁場分量所产生的第二个力的作用。这个力 $F_z (= -e\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ 指着 z 轴的方向,并与由 \mathbf{v} 和 \mathbf{B} 所形成的平面正交,也就是说与 xy 平面正交。 F_z 的瞬时值由下式给出,

$$F_z = evB = \frac{e^2 EB}{b}, \quad (40-7)$$

这里的 F_z 总是指着 z 的正方向,因为 \mathbf{v} 与 \mathbf{B} 的方向是同时倒转的;事实上,这个力就是作用在图 40-4 中薄片上的辐射压力的作用机构。

根据牛顿第二定律, F_z 是入射波给予薄片中每个电子的动量的变化率 dp_e/dt , 即

$$\frac{dp_e}{dt} = \frac{e^2 EB}{b}. \quad (40-8)$$

入射波以这个变化率把动量给予薄片中每一个电子,因而也给予薄片本身。现在留待解决的是把光传递给薄片的动量同薄片内部的能量吸收联系起来。

入射波的电場分量对每个振荡着的电子作功,其瞬时功率由下式给出[见方程(40-6)],即

$$\frac{dU_e}{dt} = F_z v = (eE) \left(\frac{eE}{b} \right) = \frac{e^2 E^2}{b}.$$

注意, F_z 这个力总是与速度 \mathbf{v} 正交,它对振荡电子并不作功。方程(39-11b)表明,对于自由空间中的平面波来说, B 与 E 有如下关系:

$$E = Bc.$$

将这个关系代入前式中两个 E 之一,则得

$$\frac{dU_e}{dt} = \frac{e^2 EBc}{b}. \quad (40-9)$$

这个方程代表每个电子从入射波中吸收能量的瞬时功率。

由方程(40-8)与(40-9)相比较,得知

$$\frac{dp_e}{dt} = \frac{1}{c} \frac{dU_e}{dt}.$$

积分之,则得

$$\int_0^t \frac{dp_e}{dt} dt = \frac{1}{c} \int_0^t \frac{dU_e}{dt} dt,$$

即

$$p_e = \frac{U_e}{c}, \quad (40-10)$$

式中 p_0 是任何給定時間 t 內入射波給予單一電子的動量，而 U_0 是在同一時間間隔內那個電子所吸收的能量。用薄片中自由電子的數目乘上式兩邊，即導出方程 (40-2a)。

雖然這個關係 [方程 (40-10)] 是我們對一種特定的吸收體導出的，但是吸收體的這種特徵 (例如，電阻性阻尼係數 b) 在最後的表達式中並沒有保留下來。這是理所當然的，因為方程 (40-10) 是任何物質所吸收的輻射的一般性質。

40-3. 光的速率*

光傳播得太快了，快得使人們在日常經驗中從未感覺到光的速率不是無限大。即使要提出這樣一個問題：“光傳播的速率有多大？”也非有很大的洞察力不行。伽利略曾向自己提出這個問題，並曾試圖用實驗來作回答。他的主要著作，“兩門新科學”的對話，1638年出版於荷蘭，是以三個假想人談話的方式寫出的。這三個人名叫沙維管、沙格雷多與辛普里席阿。下面是他們談論有關光的速率的一部分。

辛普里席阿：由日常的生活經驗得知，光的傳播是瞬時的；因為當我們看見遠處開炮時，火光到達我們的眼睛並不需要時間；而炮聲却要在一段可以覺察得出的時間之後，才能到達我們的耳朵。

沙格雷多：喏，辛普里席阿，根據你熟悉的這個小經驗，我所能得出的結論，只能是向着耳朵傳來的聲音，比起向着眼睛傳來的火光要慢得很多；這個小經驗並不說明光的傳播究竟是瞬時，或者說雖然光傳播得極為迅速，但是仍需要時間……。

沙格雷多顯然就是伽利略本人。接着他在該書中描述了一個可能測得光的速率的方法。他和他的助手於夜間相隔某一距離而面對面地站着。他們各拿一盞提燈，這兩盞提燈都是可以隨意地關閉或啟開。開始實驗時，伽利略啟開自己的那盞提燈，當燈光到達助手那里時，助手即啟開自己的那盞提燈。於是，助手的那盞提燈的燈光被伽利略看見。伽利略試圖測出，從他打開燈這個時刻，到他看到助手那里的燈光

* 參看 “The Speed of Light”, J. H. Rush, *Scientific American*, p. 67, August 1955.

这个時刻之間的一段時間。現在我們知道，對於一英里的距離來說，光來回一次所需的時間只有 11×10^{-6} 秒。這個時間比起人的反應時間小得多，所以他用這個方法來測量光速，沒有成功。

為了直接測量一個很大的速度，我們必須測量一段很短的時間間隔，或者必須用一條很長的基綫。這種情況啟示我們，和很長的距離打交道的天文學，也許能夠提供光速的實驗值；這個想法成了事實。儘管光由太陽到達地球所經過的時間是够長的，但我們卻無法知道在某一個時刻到達我們這裡的光是在什麼時候離開太陽的；我們一定要使用更靈巧一點的天文學方法。

然而，值得注意的是，微波的脈沖十分有規則地從月球上反射回來；這就為計算時間給出了長達 7.68×10^8 米（來回路程）的基綫。現在，光的速率（以及微波的速率）已由其他一些實驗十分準確地測定了，因此，人們已經利用微波反射來很準確地測量地月間的距離。微波的訊號也已經從金星上反射回來了。

1675 年，在巴黎工作的丹麥天文學家 O. 羅麥，曾對木星的衛星作過一些觀測（見習題 9）。根據他的觀測結果，可以推出光的速率為 2×10^8 米/秒。約 50 年之後，英國天文學家 J. 布拉特里作過某些類型完全不同的天文學的觀測，根據他的觀測結果，可以推出光速的值为 3.0×10^8 米/秒。

1849 年法國物理學家斐索 (H. L. Fizeau 1819—1896)，首次用非天文學方法測定了光的速率，他所獲得的值为 3.13×10^8 米/秒。圖 40-5 表示斐索的裝置。讓我們先把斐索裝置中的齒輪略去。由光源 S 發出的光被透鏡 L_1 會聚後，在平面鏡 M_1 上反射，反射之後又在空間 F 點處形成光源的象。平面鏡 M_1 是一個所謂“半鍍銀平面鏡”；該鏡的反射

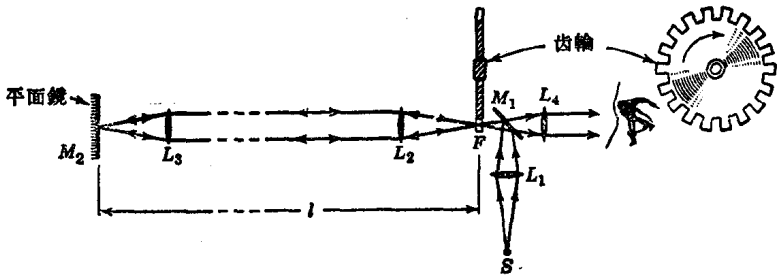


圖 40-5. 供測量光速用的斐索裝置。

膜是很薄的，以致投射在这反射膜上的光只有一半被反射，而另一半却被透过。

由 F 点处的象来的光，进入透镜 L_2 而以一平行光束射出；此光束通过透镜 L_3 之后，在平面镜 M_2 上反射而沿原来的方向射回。在斐索实验中， M_2 与 F 之间的距离 l 为 8630 米，即 5.36 英里。当光再射到平面镜 M_1 时，将有一些光透过 M_1 平面镜再通过透镜 L_4 而进入观察者的眼睛。

观察者将看见由光所形成的光源的象，这时光已经在齿轮与平面镜 M_2 之间，来回走过距离 $2l$ 。为了计算光束旅行的时间，必须在此光束上记下某种标记。这个标记是用一个旋转迅速的齿轮把光束“劈开”而记下的。假设在光来回一次所经过的时间 $\frac{2l}{c}$ 内，齿轮正好旋转一个足够大的角度，使得从一个给定的齿间间隙处突然闪出的光回到齿轮的时候， F 点恰为一个齿所遮蔽。这时，回到齿轮的光就碰到正对着 M_2 的齿上，因而不能到达观察者的眼睛。

如果把齿轮的转速调节得恰到好处，则观察者一点也看不见这些闪光，因为每个闪光都为一个齿所屏蔽。观察者是以此来测量 c 的，他把齿轮的角速度 ω 由零逐渐增加，直到光源 S 的象消失为止。令 θ 为一个齿间间隙中心到邻近一个齿的中心的角距离。齿轮旋转角距离 θ 所需的时间，就是光在来回路程上旅行的时间 $\frac{2l}{c}$ 。用方程表示：

$$\frac{\theta}{\omega} = \frac{2l}{c} \quad \text{即} \quad c = \frac{2\omega l}{\theta}. \quad (40-11)$$

这种“劈开光束”的技术，适当地改进以后，在今天已用来测量中子以及其它粒子的速率。

法国物理学家傅科 (Foucault 1819—1868) 大大地改进了斐索的方法，他用一个旋转的面镜来代替齿轮。美国物理学家迈克耳孙 (A. A. Michelson 1852—1931) 利用这种技术指导作出了一系列又一系