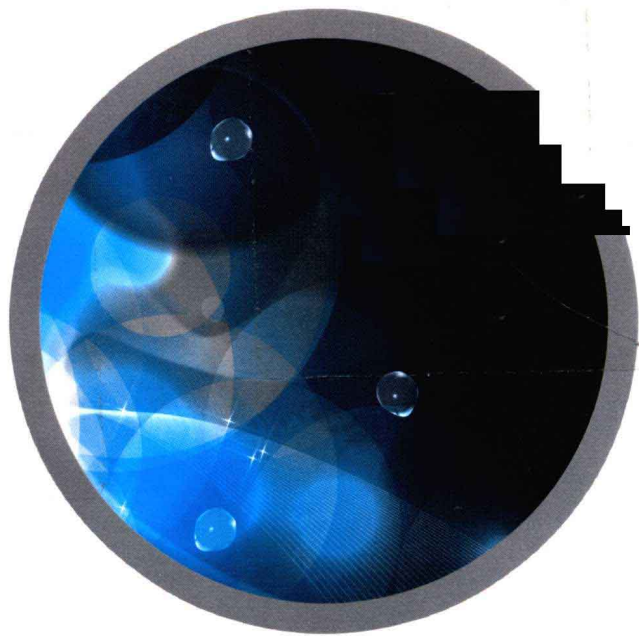


复 旦 光 华 青 少 年 文 库

FUDAN GUANGHUA QINGSHAONIAN WENKU

光束的力 与未来生活

雷仕湛 薛慧彬 马 沂 编著



复旦大学出版社

复旦光华青少年文库

光束的力与未来生活

雷仕湛 薛慧彬 马 沂 编著

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

光束的力与未来生活/雷仕湛 薛慧彬 马沂编著. —上海:复旦大学出版社,2012.4
(复旦光华青少年文库)
ISBN 978-7-309-08226-5

I. 光… II. ①雷…②薛…③马 III. 激光-普及读物 IV. TN24-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 121216 号

光束的力与未来生活

雷仕湛 薛慧彬 马 沂 编著
责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
大丰市科星印刷有限责任公司

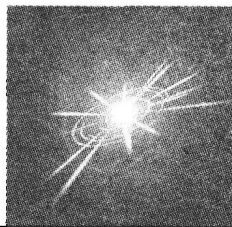
开本 787 × 1092 1/16 印张 5 字数 85 千
2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-08226-5/T · 421
定价:10.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

内 容 介 绍

光源发射的光束有推动力,激光产生的推动力更强大,在一些科学技术领域有显著作用。本书主要介绍光束推动力的实验验证、理论解释、激光产生的推动力,以及它们在生物学、物理学和能源技术领域、航空航天技术领域的重要作用。全书分8个部分:(1)风力、水力;(2)光束推动力;(3)激光推动力;(4)光束推进飞行器;(5)激光抓捕细菌和搬弄细胞;(6)激光力压缩靶丸;(7)激光力加速粒子;(8)激光力制止原子自由运动;(9)激光力机械加工。本书可作为青少年学习新科学的参考资料,也可作为青少年素质教育的参考资料。



前 言

光对于我们每个人来说都很熟悉,自然界发生大爆炸形成宇宙的那一刻就出现了光。

我们平时对光最深刻的感受是光带来的光明和热,最近几十年科学又知道光还可以产生电,太阳能电池以及太阳能电站现在已经成了一种重要的新能源。其次,一些诸如光的干涉、衍射等现象,我们也相当熟悉,并且还利用这些现象制造了各种光学仪器,在科学技术研究、工农业生产 and 国防建设中广为使用。除此之外我们还能想到光的什么特点呢?光的力或许还算件新鲜事。虽然在100年前就知道光有压力,但因为它太微弱,在实际生活中我们没有感觉到。

激光器发明后,它能够提供强度非常强的光,能够产生很明显的压力,利用光的力,我们可以完成许多以前无法完成的工作。不过,我们对光的力学研究并不深入,对它的认识有限,本书是想给青少年朋友一个提示,希望你们将来做更深入的研究,利用光产生的力做更多的事。

书中有不妥的地方,敬请赐教。

雷仕湛 薛慧彬 马 沂

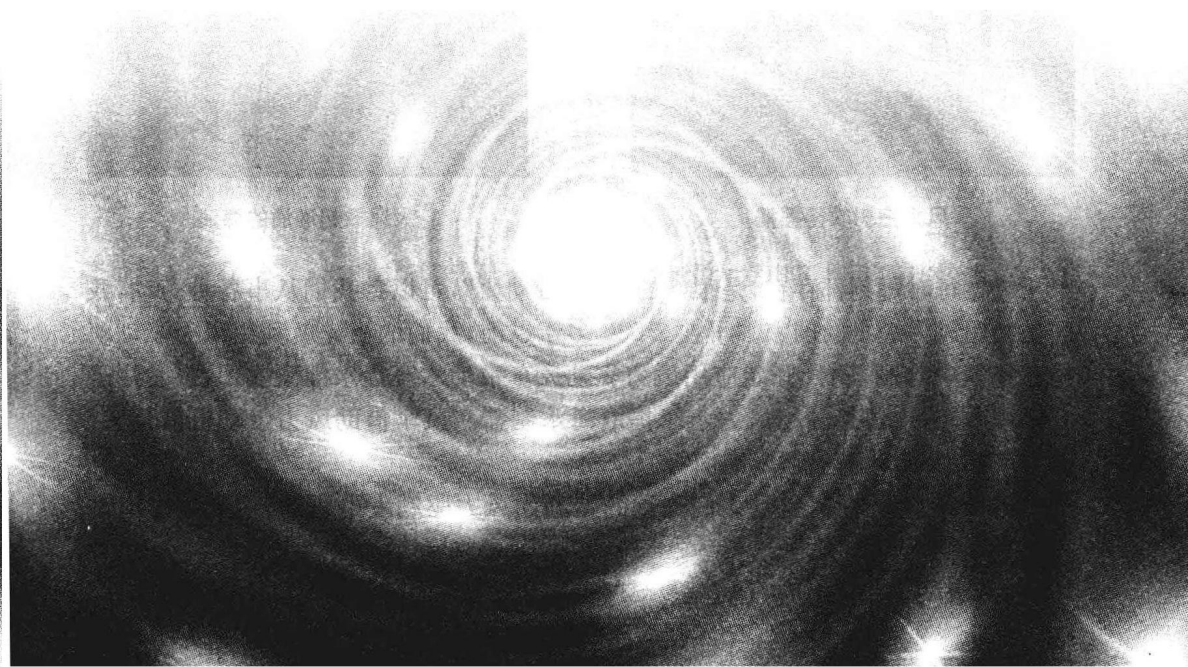
2011年5月 上海

目 录

* 风力、水力	2
1. 风力	2
2. 水力	4
3. 潮汐	5
* 光束推动力	7
1. 猜测	7
2. 实验验证	8
3. 理论预言	10
* 激光推动力	13
1. 激光器	13
2. 激光辐射作用力	17
3. 激光散射力	17
4. 激光梯度力	18
5. 激光偶极子力	19
6. 激光粘胶力	19
7. 激光机械作用力	20
* 光束推进飞行器	23
1. 太阳光帆船	23
2. 激光火箭	26
3. 激光飞船	28

* 激光抓捕细菌和细胞	31
1. 激光“抓手”	31
2. 激光力“缀合”细胞	32
3. 激光“抓手”操作生物大分子、细胞	34
4. 激光“抓手”迁移安置细胞、微粒子	37
* 激光力压缩靶丸	41
1. 太阳发光和热的启示	41
2. 利用核聚变反应能的难题	42
3. 激光惯性约束核聚变	44
4. 利用激光产生强压缩力	45
* 激光力加速粒子	51
1. 发射轰击基本粒子的“炮弹”	51
2. 激光尾场加速器	53
3. 激光束直接加速粒子	55
* 激光力制止原子自由运动	57
1. 需要制止原子运动	57
2. 激光力使原子“安静下来”	59
3. 激光力帮助我们准确计时	61
4. 激光力构造相干物质波	63
* 激光力机械加工	67
1. 激光冲击力强化机械零件	67
2. 给文物“洗脸”	69
3. 电子工业生产的“清道夫”	71

力,虽然它无形无影,我们看不到,也摸不着,但我们几乎天天都离不开它。要把一个物体移个位置,就需要给它施加推动力;汽车、火车能够在地面上跑,轮船能够在海上航行,飞机能够在天空中飞行,都是受到了推动力的作用。力的来源,即力源有许多类型,比如两个物体之间产生万有引力;两个静止的电荷之间产生静电吸引力或者排斥力;气体因温度上升致使体积膨胀而产生张力;气体流动产生风力;水流动产生水力;太阳发射的光辐射、电灯发出的光辐射产生光辐射力,等等。



➤ 风力、水力

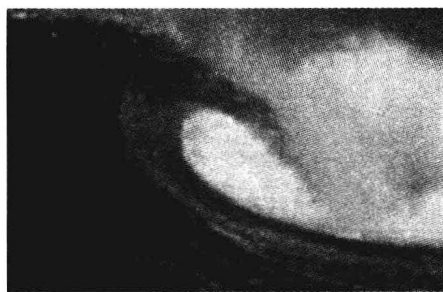
风力和水力是自然界强大的驱动力之一,也是我们祖先最先使用它们作为生产动力的。今天,风力和水力依然是我们的**重要能源之一**,而且是我们正在开发的环保能源的重要选题。地球上不会停止吹风,海水和河水也不会停止流动,所以风力和水力能源不会枯竭。

1. 风力

微风拂面,我们能感觉到风的存在,凭日常生活的经验,我们知道有风在吹,感受到风的推动力。树干左右摇摆,广场上旌旗飘扬,麦田里麦浪翻滚,海上海浪汹涌,这都是风力推动的结果。飓风的力量就更大,会把树连根拔起,把房屋刮倒,把海浪掀起。



风力把树吹得摇摆



大风掀起汹涌的海浪

风力每时每刻都存在,是很好的自然“劳动力”,可以替我们从事各种劳动,我国是利用风力最早的国家。早在 2 000 多年以前,我们的祖先就利用风力驱动帆船在江河中行驶;明代开始应用风力驱动风车带动水车提水灌溉农田,或者用于农田排水;清代长芦利用风力水车提取海水制盐。风车借助风力带动机器运转,做农产品加工,比如做碾米磨面等。

随着科技的发展,更受人们注重的是利用风力驱动发电机运转,风力发电站

不断涌现。风力发电是一种新型的环保能源,它不需要使用燃料,也不会产生空气污染。风是不会停止的,长年累月,无休无止地“给力”,因而取之不尽,用之不竭。依据目前的风力发电技术,大约每秒3米的微风速度(微风的程度)便可以发电。风力发电资源非常丰富,根据有关资料估计,全球的风力发电资源约有100亿千瓦,几乎是现在全世界水力发电量的10倍。所以,国内外都很重视开发利用风力发电。1979年上半年,美国在北卡罗来纳州的蓝岭山,建成了一座世界上最大的风力发电站,发电用的风车有10层楼高,风车钢叶片直径60米,安装在一个塔型建筑物上。在风力时速38公里时,发电能力可达2000千瓦。



古代用来提水的风力水车

现在,风力发电最为发达的是芬兰、丹麦等国家。截至2010年9月,芬兰运行的风力发电机组有125组,总装机容量达170兆瓦。根据芬兰政府的能源战略,到2020年,还将建700座平均装机容量为3兆瓦的风力发电站,每年的风力发电量要达到600万兆瓦时。丹麦的木材、煤炭及其他矿物资源相对贫乏,但其平坦的地势及绵长的海岸线则蕴藏着丰富的风能。自上世纪80年代开始,丹麦便开始大力发展风力发电,截至2010年5月,丹麦有5052台风力涡轮机,总装机容量达3545兆瓦。目前,风力发电大约占了丹麦电力供给的20%,并且还在稳步增长。据丹麦风能协会提出的到2020年风能发展规划,风力发电占总发电量的比例将由目前的约20%提高到50%。

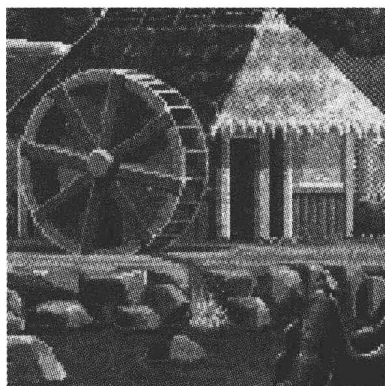
我国的风力资源也极为丰富,绝大多数地区的平均风速都在每秒3米以上,特别是东北、西北、西南高原和沿海岛屿,平均风速更大;有的地方,一年中有三分之一以上的时间都是大风天,可开发利用的风能储量约10亿千瓦。其中,陆地上风能储量约2.53亿千瓦(陆地上离地10米高度计算),海上可开发和利用的风能储量约7.5亿千瓦,共计10亿千瓦。但是,我国的风力发电工作开始比较晚,在20世纪50年代后期才开始进行研究和试点工作,当时在吉林、辽宁、新疆等省、区建设了容量在10千瓦以下的小型风力发电场,但其后就处于停滞状态。1986年,在山东荣城建成了我国第一座并网运行的风电站后,并网运行的风电场建设才进入了探索和示范阶段。到1995年,全国共建成了5座并网型风电站,装机总容量为36.1兆瓦。1996年后,风力发电进入了扩大建设规模的阶段,电站规模和装机容量比较大。据气象部门的评估结果,我国甘肃省酒泉风能资源总储量就达1.5亿千瓦,可开发量

在 4 000 万千瓦以上,在那里千万千瓦级风力发电站也于 2008 年 8 月全面启动。



风力发电站

2. 水力



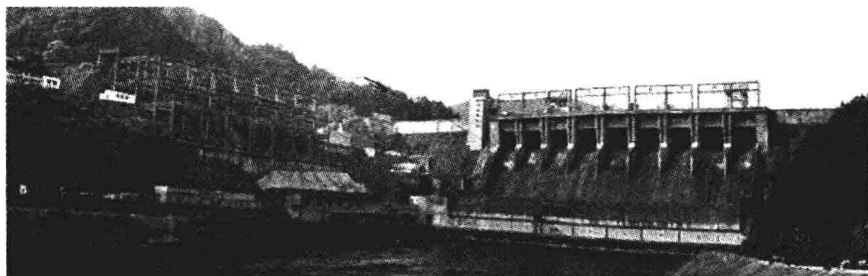
水力驱动水车转动,带动机械运转

地球上有成千上万条河流,由于重力的作用,河水总是由高向低流去。流动的河水具有推动力,人们很早便开始利用水的推动力推动水车转动,带动机器运转,帮助我们做各种生产工作。据四川宜昌的车溪水车博物馆介绍,我国 2 000 多年来制作了大量各式各样的水车,经常使用的便有 16 种之多,例如桔槔、水碓、翻车、脚踏翻车、牛转翻车、水转翻车、机汲、拔车、风力水车、筒车、高转筒车、卫转筒车、水碾等。这些水车带动机械运转,替我们做提水、排水、舂米、舂面等劳作,大大提高了劳动生产效率。不过,水力最重要的贡献是带动发动机发电,这

就是我们通常所说的水力资源。

全球水电资源蕴藏量十分可观。据有关最新资料统计,目前世界上已估算出的水电资源大约为 40 000~50 000 太瓦时/年,其中具有开发价值的大约有 13 000~14 000 太瓦时/年。从理论上讲,依靠当今技术开发的水电资源,完全可以满足当前全球的用电需求。我国的水力资源也非常丰富,总蕴藏量估计达 6.8 亿千瓦,其中能够开发利用的大约有 3.8 亿千瓦,居世界首位。截至 2009 年底,我国水力发电装机容量已达到 1.97 亿千瓦,水电开发程度达到 36.48%。全国水力资源开发量最大的 3 个省(自治区)是四川、西藏和云南,它们的发电装机容量分

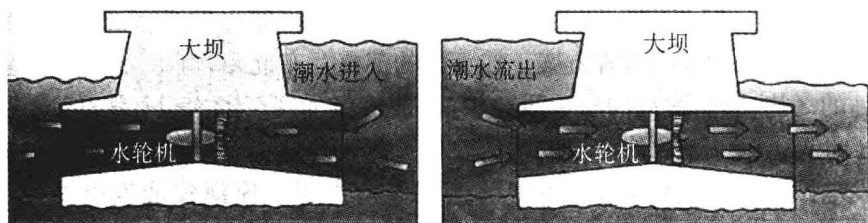
别为 12 004 万千瓦、11 000.4 万千瓦和 10 193.9 万千瓦，分别占全国可开发量的 22%、20% 和 19%。



新安江水力发电站

3. 潮汐

海水涨潮、退潮将产生推动力，利用这种推动力建立起了潮汐发电站。潮水流入或者流出大坝，在流过水轮机时，潮水的推动力驱动水轮机转动，带动发电机发电。

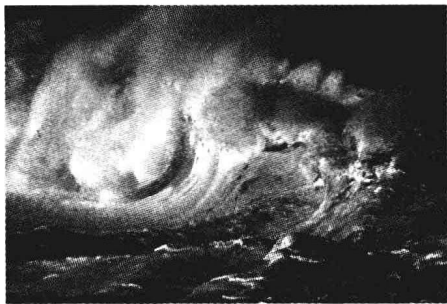


潮汐发电原理图

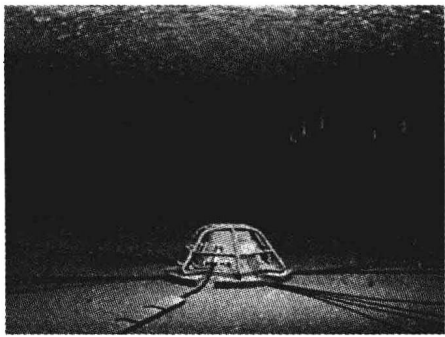
1961 年，法国在英吉利海峡沿岸的朗斯河河口靠近圣马诺城建了一座潮汐发电站，它曾是世界上最大的潮汐发电站。电站坝内安装有直径为 5.35 米的可逆水轮机 24 台，每台功率 1 万千瓦，发电量达 24 万千瓦，每年可供电 530 亿瓦时。我国从 20 世纪 80 年代开始，在沿海各地区陆续兴建了一批中小型潮汐发电站，其中最大的是 1980 年 5 月建成的浙江省温岭县江夏潮汐试电站，它也是世界已建成的较大双向潮汐电站之一，每年可为温岭、黄岩电力网提供 100 亿瓦时的电能。双向潮汐电站的特点是在涨潮、落潮两个方向均能发电，比单向潮汐电站增加发电量 30%~40%。我国另一座较大规模的潮汐发电站，是福建平潭幸福洋潮汐发电站，年发电量可达 31.5 亿瓦时。

风与海面作用产生海浪，海浪滚滚向前也产生推动力，对海岸的冲击力每平

方米可达 20 至 30 吨。与利用海洋退潮和涨潮的推动力发电的道理一样,海浪产生的推动力也可以用来发电。1977 年,有人对世界各大洋平均波高 1 米、周期 1 秒的海浪进行推算,认为全球海浪能功率约为 700 亿千瓦,其中可开发利用的约为 25 亿千瓦。海浪中蕴藏有如此丰富的能量,把它转化为电能,一直是人们多年来梦寐以求的理想。



滚滚海浪蕴藏巨额能量



海浪发电站示意图

1964 年,日本研制成功第一个海浪发电装置,发电能力 60 瓦,点亮了一盏航标灯。此后,加拿大、英国、芬兰、丹麦、法国、美国等国家也进行海浪发电研究,并相继提出 300 余种发电装置方案。在英国的苏格兰东北角,有一大片被称作奥克尼群岛的岛屿,它们附近的海域风急浪高,波涛汹涌。2003 年 10 月,英国在这里建设了世界上独一无二的海浪发电试验场。英国政府 2007 年还批准建立一座海浪能发电站的计划,在英国西南部的圣艾夫斯湾建一座海浪能发电站,投资达 2 800 万英镑(约合 5 600 万美元),设计装机容量为 20 兆瓦特,发电量能满足 7 500 个家庭的电力需求,可在 25 年内减少 30 万吨二氧化碳排放。

➤ 光束推动力

光也是自然界最广泛的东西,也是我们不知不觉中天天接触和使用的。光给我们热,给我们带来光明。然而,很难想象,一道光束可以直接推动物体运动,成为直接的驱动力来源。



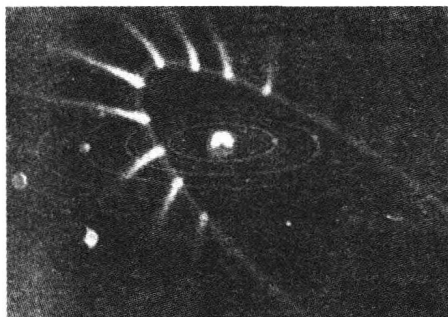
约翰内斯·开普勒
(Johannes Kepler)

1. 猜测

我们日常见到的、天天接触并且使用的光束,是手摸不着,看不透的东西。风虽然也是看不见摸不着,然而,它有力气,能够把树吹得摇摇摆摆,迎着风走会感到一股力在阻挡着我们前进。在阳光底下来回穿插,会感到有阻力吗?简单来说,光辐射有如风、水那样的力吗?有一件事让人们猜想光束应该是有推动力。在17世纪,德国著名的天文学家约翰内斯·开普勒(Johannes Kepler)在长期进行天文观察的过程中,发现彗星在经过太阳附近时,它的尾巴(即通常说的慧尾)总是背离着太阳。肉眼可见的彗星一

般由3部分组成:彗核,彗星头部中央密集而明亮的部分;慧发,在彗核周围呈球形的云雾物;彗尾,在彗核后面拖着的长长尾巴。根据彗尾背离太阳的程度,科学家把彗尾分成3种类型:I型彗尾:它几乎是直线,方向很接近从太阳到彗星连线的延长方向;II型彗尾:朝彗星运动反方向有较大的弯曲;III型彗尾:彗尾发生弯曲程度很大。彗尾为什么总是背离着太阳呢?其中一定存在某种力量所致,开普勒猜测这是太阳光产生的推动力的结果。彗尾中那些碎块受到太阳光推动力的作用,才致使彗尾背离太阳的。不过,开普勒关于太阳光产生推动力这个猜测,人们起初并不认同,在我们的生活经验中没有这种体验。比如从暗的房间走到明亮的太阳光下,我们就没有感受到有任何额外压力;从太阳光下走进暗房也没有感到“轻松”一些。同样地,在黑暗的房间或者黑暗的隧道里突然开亮电灯,也没有感觉到有额外的压力压迫自己;用一束光照射纸片,也没有见到它会像一阵风把

纸吹走,或者发生飘动。总之,根据我们的日常生活经验,没有光束产生推动力的感觉。



慧尾始终背离着太阳



在暗的隧道里突然把电灯开亮,
感到额外压力吗?

2. 实验验证

或许光束产生的推动力过于微弱,凭我们的感觉器官感觉不出来,好比微风我们就察觉不到风力,也不见湖面起波浪。于是科学家设想利用实验方法来判断,看看光束到底有没有产生推动力,因为在实验室里的精密科学仪器,对作用力的感觉会比我们的感觉器官灵敏。但是,在 18 和 19 世纪初,许多科学家试图显示光束推动力的实验都没有获得成功,实验测量结果既不能否定也不能肯定光辐射有压力。分析研究认为,这主要是没有营造好一个合适的实验环境。这种实验必须是在没有空气的真空环境中进行,因为光束是穿越一定的空间距离才照射到物

体上的,如果在物体周围存在空气,那么空气吸收了光束能量后将被加热,引起空气对流也会产生推动力。凭我们的直觉,光束产生的推动力应该是非常微弱,很可能被由空气对流产生的推动力所掩盖,这就很难辨别测量到的推动力是属于光束的还是空气对流的了。在那个年代,真空技术水平还不高,不能营造出空气被清除干净的真空室。其次,光束的推动力与光源的技术水平也不高,光源发射的光辐射强度都不是很高。直到 19 世纪末,高真空技术和高功率电光源制造技术有了很大发展,实验测量技术水平也有了很大提高,才终于能够用实验手段探测到由光束产生的推动力。俄国物理学家彼得·尼古拉耶维奇·列别捷夫(Pyotr Nikolayevch



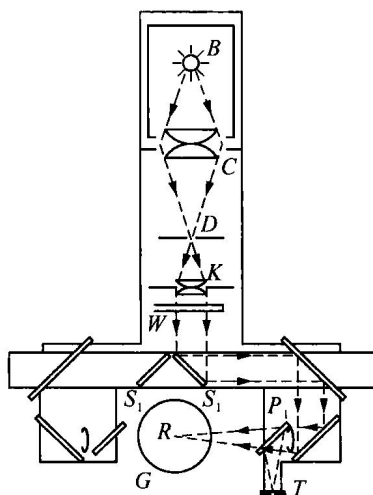
列别捷夫

Lebedev, 俄文 Пётр Николаевич Лебедев), 美国科学家尼科尔斯(E·F Nichols)、霍尔(G·F Hull)等先后独立设计了实验装置, 测量出了光束产生的推动力。

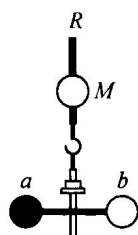
列别捷夫 1866 年 3 月 8 日在莫斯科出生。1887~1891 年先后在德国的斯特拉斯堡和柏林的 A·孔脱、F·科尔劳施、H·亥姆霍兹等人领导的实验室中工作, 1891 年回国, 在莫斯科大学任教, 并筹建实验室。对物理学的主要贡献是研究光对于固体和气体的压力。十月社会主义革命以后, 苏联科学院在他所建立的俄国第一个物理研究机构的基础上建立了以列别捷夫命名的物理研究所, 即著名的列别捷夫物理研究所。他在 1895 年, 设计了一个实验测量光压力的装置。在一只密封玻璃泡 G 内吊一根细悬丝, 在它的下面挂几对薄而且很轻的翅膀悬体 R, 其中一边表面全涂黑色, 另外一边的则是全光亮。当借助透镜 C 及平面镜 S₁ 系统将由弧光灯 B 发出的光束投射到翅膀悬体时, 发现这个悬挂体 R 发生回转。显然这是光束推动翅膀转动的结果, 也就是说, 光束是有推动力的。表面全涂黑色的翅膀全部吸收光束的能量, 而全光亮的翅膀则几乎是把入射的光束全都给反射回去, 两边受到的作用力不相同, 因此也就产生一个扭转力矩, 使整个翅膀悬体 R 发生回转。

实验结果显示, 悬体 R 在有光照射时发生了回转, 扭转了一个角度, 表明了光束会产生推动力。他根据悬体 R 扭转的角度计算了他使用的那束光产生的推动力, 它是非常微弱的。1899 年在巴黎举行的国际物理学会议上列别捷夫宣读了他的“光压的实验研究”论文, 并在 1901 年公开发表该论文。

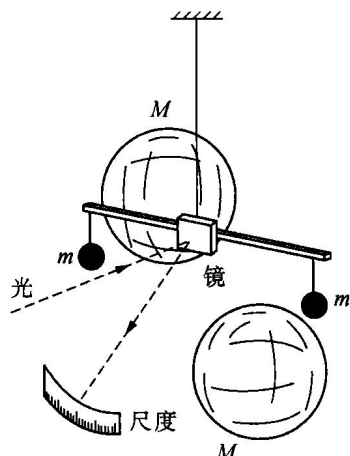
列别捷夫在进行这个实验测量时依然遇到一些难题。限于当时的真空技术水平, 他使用的那只密封气泡里面的真空度还是不够高, 在密封玻璃泡内剩余的空气在受光束照射时发生对流, 同样也产生引起那只翅膀悬体 R 转动的力, 给测量结果带来干扰; 此外, 悬体的翅膀被光束照射后, 它的正面和反面之间会出现温度差, 也对测量产生重大影响。涂黑色的翅膀这一面吸收光能量后温度升高, 而它的背面没有直接受到光照射, 没有吸收到光能量, 温度便比较低。在玻璃泡里面那些剩余空气分子在与翅膀温度高的那个面碰撞后, 热运动速度将比较高, 而与背面碰撞的分子, 它们的运动速度较低。结果也会给翅膀产生一个附加作用力(辐射度力), 它使翅膀悬体 R 扭转的方向与由光束推动力推动的方向是一致的。辐射度力和空气对流产生的力加在一起, 其力度比光束的推动力可能还大得多。为了改变这种“喧宾夺主”的局面, 解决的办法是, 必须把悬体的翅膀做得很薄, 以减少翅膀两面的温度差; 同时, 也必须尽可能地减少在玻璃泡里面的剩余气体, 亦即努力提高玻璃泡内的真空度, 只有这样测量得到的结果才是真正由光束产生的推动力。列别捷夫花了几年时间不断改进实验条件, 反复实验, 才终于得到令人信服的光束有推动力的结果。



列别捷夫测量光推动力的实验



翅膀悬体 R

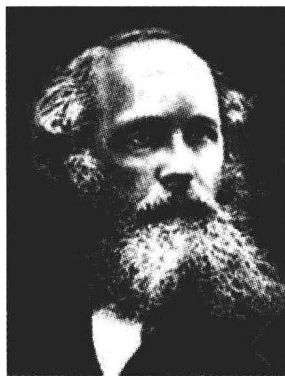


科尔斯扭秤测量光束推动力实验

美国科学家尼科尔斯和霍耳采用另外一种扭秤实验装置测量光束推动力。当尼科尔斯把光束投射到扭秤的反射镜 M 上时,光束给反射镜施加作用力,并推动秤臂扭转一个角度,相应地也使悬丝扭转一个角度。事先校验好悬丝的扭力与角度关系,根据扭转的角度就可以测量出光束的推动力。

今天,在太空技术的发展中,光辐射产生的推动力在太空活动中的作用变得十分明显。国际空间站由于受太阳光辐射推动力的作用,造成其轨道发生移动,为此每年都需要消耗大量的燃料产生的推力修正轨道。

3. 理论预言



麦克斯韦

实验证实光束产生推动力之前,科学家们在理论上也证实光束的确存在推动力。在列别捷夫进行成功验证之前,著名科学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell)从理论上就预言光束会产生推动力。麦克斯韦是伟大的英国物理学家、经典电磁理论的创始人。1831 年生于苏格兰爱丁堡,1847 年进入爱丁堡大学学习数学和物理。在爱丁堡大学求学时期,有两位著名科学家对他今后的科学生涯影响最深,一位是物理学家和登山家福布斯(James David Forbes),一位是逻辑