

用光来操纵活性生物分子

谢 诒 成

(北京工业大学应用数理学院 北京 100022)

现在展示在你面前的照片是一个红血球细胞(图 1 上)以及它被拉伸而变形的情形(图 1 下)。这是奥斯汀德克萨斯大学的一个研究组进行的研究细胞弹性的实验。他们用激光作工具,利用光进入细胞时产生的对细胞的作用力使细胞拉长,拉伸程度与激光的强度有关。由于细胞被癌病侵害后其弹性会发生改变,用这个办法能够筛选出有病细胞的数量。

德克萨斯大学的这个实验也成功地证明了,如果一束激光照到一个完整的生物细胞上,在光进入细胞时对细胞有一个与进入方向相反的作用力,在光射出细胞时对细胞有一个与射出方向相同的作用力。那么这力是怎样产生的呢?其原理实际上并不很深奥。

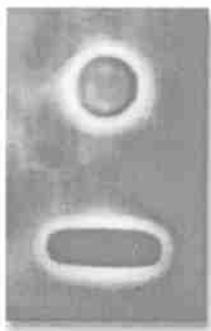
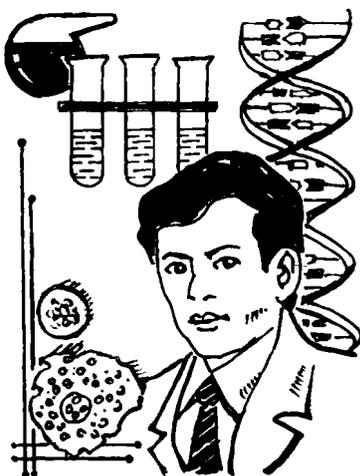


图 1

一、光的机械效应

人们很早就知道“光压”的存在,例如由于太阳光对彗星物质压力的作用,当彗星进入太阳系后其彗尾总是背向太阳。

在对电磁现象的理论和实验研究中都证明了光就是电磁波。电磁波是一种特殊的物质,它既具有能量也具有动量,即光携带着它的能量和动量在空间或媒质中传播。另一方面光有波粒二象性,当从粒子的观点来看时,一束光就是一束光子流。光子有动量和能量,但没有静质量。著名的康普顿散射



实验就是观察当光子受电子散射后动量发生改变的效应,从而为光的粒子性提供了强有力的支持。

既然光有动量,当光照射到某种媒质表面被反射时,它的动量就改变了方向,这表明光在媒质表面受到了媒质的作用力。那么根据牛顿第三定律,这束光对媒质表面有大小相等方向相反的反作用力,这即是光压。然而光子的动量极其小,所以一般来讲在日常生活中光压对宏观物体的作用可以忽略。但是在微观领域,例如对原子,甚至对生物细胞,光的机械效应就可能非常明显。

实际上光的机械效应不只表现在光压。我们知道光在从一种媒质射入另一种透明媒质时将发生折射现象,光的动量发生了弯折,用力学理论不难证明,单位时间内光动量的改变量等于媒质对光的作用力,光对媒质的反作用力与此大小相等方向相反。由于折射发生在媒质表面,所以这一对力的作用点在媒质表面。

另外光对媒质还有一种梯度力,这发生在光的强度分布不均匀的情况下。图 2 是一个示意图,在图 2(a)中一束强度分布左右不均匀(图中用颜色的深浅来表示)的光射入一个微小的介质球发生折射。当光束射入介质球时发生折射,光束射出介质球时又发生折射,总的效果是光动量的弯折,所以在光与介质球之间存在一对作用力(右下角方框内灰色箭头)和反作用力(作用在介质球上的灰色箭头)。由于右边的光线强于左边的光线,右边光的动量大,折射时受力大,对媒质的反作用力也大;反之左边的反作用力较小。这样左右两边光线对介质球的合作用力指向光强的一边,这个力叫梯度力。

另外光对媒质还有一种梯度力,这发生在光的强度分布不均匀的情况下。图 2 是一个示意图,在图 2(a)中一束强度分布左右不均匀(图中用颜色的深浅来表示)的光射入一个微小的介质球发生折射。当光束射入介质球时发生折射,光束射出介质球时又发生折射,总的效果是光动量的弯折,所以在光与介质球之间存在一对作用力(右下角方框内灰色箭头)和反作用力(作用在介质球上的灰色箭头)。由于右边的光线强于左边的光线,右边光的动量大,折射时受力大,对媒质的反作用力也大;反之左边的反作用力较小。这样左右两边光线对介质球的合作用力指向光强的一边,这个力叫梯度力。

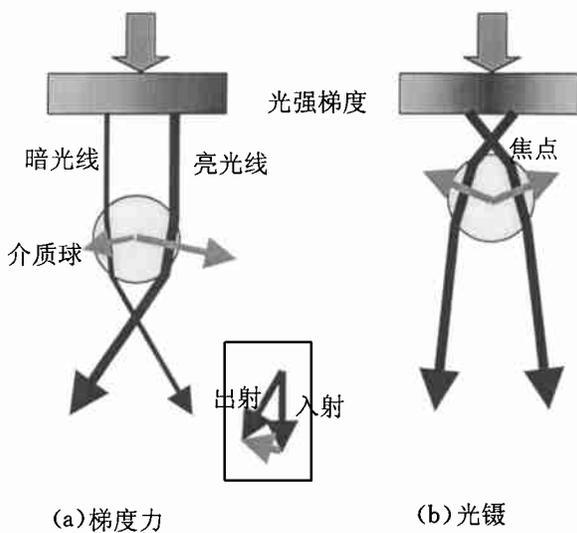


图 2

20 世纪 70 年代前苏联的科学家和美国科学家提出利用聚焦激光束使原子束弯折和聚焦, 来陷阱原子。在他们工作的基础上发展了“光镊”技术。

二、光镊

在北京大学 100 周年校庆时, 应邀回国的诺贝尔奖获得者朱棣文教授曾为听众播放了一段精彩的录像, 大家看到影片中紧紧缠绕的 DNA 双螺旋分子被拉长解开, 又被放松后慢慢地恢复原状。这个实验就是用光镊进行的。

所谓光镊就是会聚激光形成的光阱, 图 2(b) 是光镊的示意。由于存在前面提到的梯度力, 当光聚焦到一个大小为微米量级的介质颗粒(也可以是生物细胞)中时, 如果介质颗粒的折射率大于其周围物质的折射率, 它将被束缚在光强最强处。

由于光镊能够无接触、非侵入性、无损地操纵生物分子, 目前已在生物分子和细胞研究中得到极为广泛的应用。尤其是现在已能够把操纵功能与精确测量位移及作用力结合起来, 成功地达到了在分子水平上测量分子的运动步幅以及所需力的令人振奋的目标。例如美国斯坦福大学的科学家采用这项技术测定了肌球蛋白单分子的运动规律。

细胞中的物质运动是细胞生命活动最基本的特征之一。细胞中大多数的运动方式都依赖于细胞骨架系统, 因此研究细胞骨架的力学特征, 对于了解和解释细胞中物质运动的机制和调控有非常重要的意义。

细胞骨架是由特定蛋白质聚合而形成的线状或管状结构。在细胞中骨架系统以两种方式产生机械

力, 一是马达蛋白, 二是细胞骨架微丝和微管的聚合和解聚。马达蛋白是一种特殊的蛋白质, 它们可以将化学能转变为机械能。马达蛋白的运动或依赖于微丝, 或依赖于微管。肌球蛋白属于前一种, 属于后一种的是动蛋白和力蛋白。例如肌球蛋白通过与肌动蛋白的作用沿微丝移动, 实现其马达功能。已开展的对细胞骨架分子力学特征研究包括: 对动蛋白的研究、对肌球蛋白的研究、对微丝及微管刚性的测定等; 另外某些环境因子(温度、pH)对细胞骨架力学特征的影响也是需要研究的。

人们在研究植物的光合作用时十分关注的一个问题是: 光合的产物怎样在植物机体中从源到库高效地进行长距离运输? 目前这还是个谜。近年来中国农业大学细胞骨架与细胞运动研究室首次在芹菜韧皮部的成熟筛管中发现微丝马达蛋白——肌球蛋白和微管马达蛋白——动蛋白, 预示着在长距离运输中可能存在主动运输机制。现在他们正与中国科学院和中国科技大学的物理工作者合作, 改进细胞微操作系统, 研究细胞器和运动轨道相互作用力, 建立双光镊显微操作系统, 用双光镊技术准确地测出单个马达分子的运动特性, 试图在分子水平上为解释植物细胞的长距离快速主动运输提供令人信服的证据。该课题对在活性分子水平揭示细胞骨架蛋白运动特性也具有重要意义。

为了构建能测定力的光镊, 要形成具有光学衍射极限大小的光学陷阱。因此要通过计算与实验研究激光与亚微米微粒的相互作用, 研究不同材料、大小的微珠在阱中的受力情况。同时还要有适合于光镊的光路系统, 光束指向要稳定。测定生物大分子的运动特性, 涉及的力在皮(10^{-12}) 牛顿量级, 位移在纳(10^{-9}) 米量级, 因而研制的系统必须有效地抑制各种噪音。在此基础上用光学与流体力学相结合的方法, 计算及测量引起微粒运动的分子作用力, 以保证测量精度在皮牛顿量级。

当然, 生物样品的熟练制备(例如肌动蛋白、微管蛋白的纯化等), 微丝、微管与微珠的有效连接, 用双光镊对微丝、微管末端微珠控制等也是研究能顺利进行的关键问题。

三、光拉伸器

但是光镊的应用也有其局限性。光镊需要强聚焦的激光束, 过强的光束可能会通过辐射吸收而破坏光路中的物体, 所以光的强度要控制在一个合理的范围内。而若想利用光镊来拉伸细胞, 需要的力

对外星生命的探索

许梅

(中国科学院国家天文台 北京 100080)

据 2001 年 12 月 1 日出版的一期英国《新科学家》周刊报道:天文学家们首次探测到太阳系以外的一颗行星上有大气,这就为寻找构成地球以外生命体的化学成分提供了可能。

到目前为止,天文学家发现的围绕太阳之外的一些恒星运行的行星共有 76 颗,但由于这些行星太暗淡,用现有的地基望远镜和空间望远镜都难于直接看清它们,更谈不上探索它们的大气组成了。

HD209458 是一颗类似于太阳的黄色恒星,距离我们约 150 光年。美国科学家布朗(Tim Brown)和夏博尼安(Dave Charbonneau)通过哈勃空间望远镜直接观测到了绕该恒星运行的一颗大行星,根据观测数据,两位天文学家推算出该行星距主星只有 750 万千米(地球与太阳的距离为 1.5 亿千米),绕行周期

为 3.5 天,当该行星运行到恒星的前面时,主星的亮度减少了约 1.6%,这意味着该行星的直径约比木星的直径大 30%;他们还从主星的光谱发现:在黄-绿光这一波段,行星比在其他波段要稍微多吸收一些恒星的光,这暗示行星上有钠原子并有大气。这就极有可能开创研究巨行星的新篇章,有可能搜集到行星大气中其他气体,如氧、二氧化碳和水蒸气的信息,并从而推测在这类行星上是否存在生命。

但由于该行星非常接近主星,其表面温度可能太高,不大可能有生命存在。科学家们拟用同样的技术研究其他经越我们与主星视线之间的行星。欧洲空间署拟定的达尔文计划是准备在 2014 年发射由 6 台望远镜组成的天文卫星阵列,专用于探测来自远方行星的光。

比使其移动需要的力更大,由于对光强的限制使光镊难以把这件事做得很好。于是美国德克萨斯大学的几位科学家想了另一种方法,他们选用了很强的激光束,但是不对光进行聚焦,这样就不会破坏研究对象,而光产生的很强的拉力可以把一个软的红血球细胞拉得变形(图 1)。这种新的工具叫做光拉伸器,它引起了人们极大的兴趣,因为它将能够帮助医生诊断癌症。

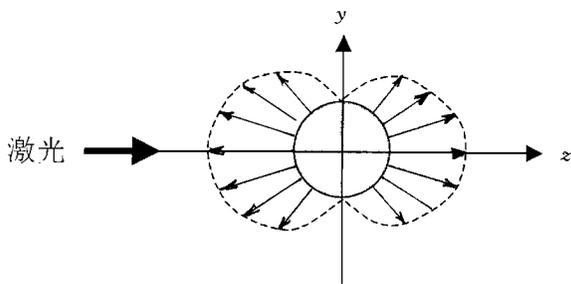


图 3

光拉伸器基本上也是利用光在射入介质时动量改变而对介质产生反作用力的原理,但其设计与作用都和光镊有所不同。当一束激光射到细胞球上,在其表面产生了(反)作用力。在光进入细胞时作用

力与进入方向相反,在光射出细胞时作用力与射出方向相同。(图 3)向前、向后的合力作用在细胞质心使其散射,但是这个力小得多,因此主要是在光的传播方向上拉伸细胞。用两束强度相等的激光相向地照射细胞,它们对同一细胞质心的推力相互抵消,使细胞保持稳定,而对细胞表面的拉力相互叠加,使拉伸效果加倍。

这种技术不仅被用来研究很软的人类红血球细胞,也为研究内有骨架的硬得多的哺乳动物细胞提供了有利的工具。



作者简介

谢谔成,女,59岁,1965年毕业于中国科学技术大学近代物理系理论物理专业。曾在中国科学院高能物理所从事粒子物理理论研究。先后出版过《粒子家族的功勋成员》、《电子传奇》、《时空迷幻》等科普读物。现任北京工业大学应用数理学院教授,中国物理学会科学普及委员会主任。