

管窥物理学中的聚焦现象

汤 洁

无论是我们日常生活中所用的照相机,还是观察天体运动的望远镜及探测微观世界的显微镜,它们内部都含有一个重要的组成部分——聚焦系统。在物理学中,常见的聚焦现象有三种形式:光聚焦、静电聚焦和磁聚焦。

光聚焦

当把物体放在凹面镜焦点以外时,根据光的反射原理,会得到一个倒立的实像;如果把几束跟主轴平行的光线照射到凹面镜上,经过反射,这些光线都将通过其焦点 F ,如图 1 所示。对于凸透镜,则是利用光的折射原理对光线起到会聚作用,平行于主轴的光线经过凸透镜后会聚于主轴的焦点 F ,如图 2 所示;当把物体放在凸透镜的焦点以外时,会在凸透镜的另一侧通过折射光线的会聚得到一个倒立的实像。这就是凹面镜和凸透镜对光线的聚焦作用。

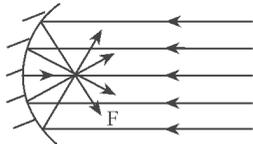


图 1

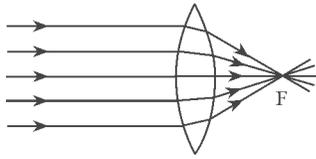


图 2

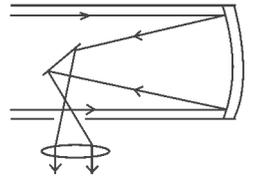


图 3

是,物镜的焦距长而目镜的焦距短。英国物理学家牛顿根据凹面镜对光线的会聚作用,于 1668 年发明了反射望远镜。他用一面很大的凹面镜代替物镜,来自遥远天体的平行光线,经凹面镜反射后,向焦点会聚,这些反射光线又被一面小平面镜反射会聚成实像,所成的实像再被旁侧的目镜放大(图 3 所示)。反射望远镜有很多优点,其中之一就是可以制成大口径的物镜,使更多的光线进入目镜,成像更明亮、更清楚。因此,世界上的大型天文望远镜都是反射望远镜,有的反射望远镜物镜的口径在 5 米以上。这两种望远镜的发明,为人类探索天体运动的奥秘拓展了广阔的视野和空间。

根据凸透镜对光的聚焦作用,德国天文学家开普勒于 1611 年发明了天文望远镜,它主要由两组凸透镜构成,一组充当物镜、另一组充当目镜,不同的

在微观世界的探测方面,依据透镜的聚焦作用制成了光学显微镜。光学显微镜使我们能够看清 $0.1\sim 0.2$ 微米的结构,可以观察细胞的构造。图 4

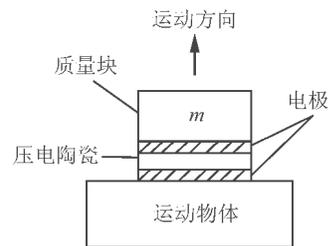


图 3

作对话机、电话等。

压电振动加速计

压电加速度计是一种重要的计测仪器。图 3 是其示意图:当被测物体加速度运动时,放在上面的质量为 m 的质量块对中间夹的压电陶瓷片产生压力 F ,由于压电效应,在陶瓷片的上下电极有电压输出,此电压与应力成正比,而应力又与加速度(即被测物体的加速度)成正比,因而可以测得的输出电压、求得运动物体的加速度。

压电陶瓷拾音器、发声器 压电晶体还广泛应用于电声设备,实现声音的再现、记录和传送。如压电陶瓷拾音器、扬声器等都是利用压电陶瓷的换能性质(机械能转变为电能或反过来)研制的。晶体耳机和晶体扬声器是压电发声器件,它们是利用压电

晶体的逆效应制作出来的,即把变化的电信号还原为晶体的机械振动,晶体再把这种振动传给一块金属薄片发出声音。晶体话筒是拾音器件,它是利用晶体的压电效应制作出来的。声波使话筒内的压电晶体薄片振动,由于正压电效应,表面的两端电极上便出现微弱的音频电压。

超声马达 超声马达是利用压电陶瓷的逆压电效应和电致伸缩效应,直接把电能转换为机械能的新型微电机。它与电磁马达相比有结构简单、响应速度快、轻巧、转矩大、功耗小,对磁场和放射线的抗干扰能力强等优点。日本是超声马达研究最为活跃的国家,目前超声马达已被大量用于其照相机的自动调焦,美、德也在加紧进行这项研究,并将其应用于精密机械行业及高科技领域中。

压电陶瓷上至航天飞行、下至家庭生活,应用极其广泛。压电陶瓷器件也将更好地为我们创造美好生活。(北京华北电力大学数理系 102206)



图 4

为光学显微镜的原理图,从光源发出的光线经会聚透镜组会聚、投影在样品上,由物镜放大成像,可用目镜观察,也可把这个像再放大,投射到照相底片上。

在工作和生活中,同样有许多利用光聚焦原理研制的仪器和设备,例如教学中所用的投影仪,其内部有一个镜头,这个镜头就是由凸透镜构成的,投影片上的图案通过凸透镜后在屏幕上形成一个放大的清晰实像;照相机最重要的部件就是镜头,它相当于一个凸透镜,来自物体的光经过镜头会聚在胶卷上,形成一个缩小的像,胶卷上涂有一层对光敏感的物质,在曝光后发生化学变化,物体的像就被记录在胶卷上,经过显影、定影后成为底片,再用底片洗印就可得到照片,因此每个照相机的镜头都要用镜头盖保护;放大镜也是凸透镜,是最常用的光学仪器之一,把放大镜放在物体的上方,适当调整距离,就能看清物体的细节。

通过凸透镜后在屏幕上形成一个放大的清晰实像;照相机最重要的部件就是镜头,它相当于一个凸透镜,来自物体的光经过镜头会聚在胶卷上,形成一个缩小的像,胶卷上涂有一层对光敏感的物质,在曝光后发生化学变化,物体的像就被记录在胶卷上,经过显影、定影后成为底片,再用底片洗印就可得到照片,因此每个照相机的镜头都要用镜头盖保护;放大镜也是凸透镜,是最常用的光学仪器之一,把放大镜放在物体的上方,适当调整距离,就能看清物体的细节。

静电聚焦

静电聚焦,主要是利用电子在穿过静电场中不同等势面时发生偏折从而产生会聚现象。

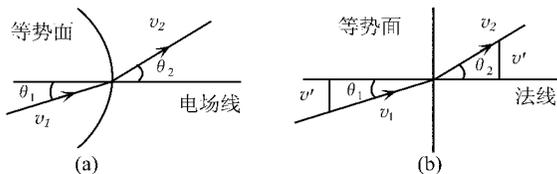


图 5

运动中的电子穿过静电场中的等势面时,其速度将由入射时的 v_1 变为出射时的 v_2 ,如图 5(a)所示。因为电子穿过等势面时只有垂直于等势面(即沿电场线)的速度分量发生变化,而垂直于电场的速度分量 v' 则不变,如图 5(b)所示,所以有 $v_1 \sin \theta_1 = v_2 \sin \theta_2$,即 $\sin \theta_2 / \sin \theta_1 = v_1 / v_2$ 。上式为静电场中电子光学折射定律,它与光的折射定律形式相似,表明因电场而加速的电子偏向法线(电场线)、因电场而减速的电子则偏离法线。

图 6(a)就是利用静电场聚焦电子束的装置,在两圆筒之间加上电压,产生对称的静电场,从而形成不同的等势面。在电子从左侧圆筒(阴极)进入右侧圆筒(阳极)的过程中,阴极附近的 A 点受到电场力 F 的作用,由等势面的性质可知,此力垂直于 A 点

的等势面且与 E 反向,如图 6(b)所示,把 F 分解为平行于圆筒轴线 OZ 的分力 F_z 和垂直于轴线的分力 F_r 。显然, F_z 使电子加速、 F_r 使电子靠近轴线,由于电场以 OZ 轴对称分布,根据电子光学折射定律可知,各方向的电子都既沿轴加速前进、又向轴靠近,所以电子在左侧圆筒内呈会聚趋势。当电子进入阳极附近的 B 点时,电场力 F 的分力 F_z 依然指向轴线方向,而 F_r 垂直于轴线指向远离轴线的方向,如图 6(c)所示, F_z 使电子仍处于加速状态,而 F_r 使电子向远离轴线的方向运动,因此在右侧圆筒内电子呈发散趋势。综合以上两种情况可看出,电子从阴极进入阳极的过程中,在阴极附近受到靠近轴线的力、在阳极附近受到远离轴线的力,但由于电子在运动过程中一直处于加速状态,所以在阴极附近的时间长、在阳极附近的时间短,因此使它靠拢轴线的作用就超过了使它远离轴线的作用,总的结果是会聚大于发散,最终使电子聚焦于 M 点。这种类似于光学中平行光线的聚焦,称为静电聚焦。图 6(a)所示装置产生的对称静电场类似于凸透镜的作用,称为静电透镜。

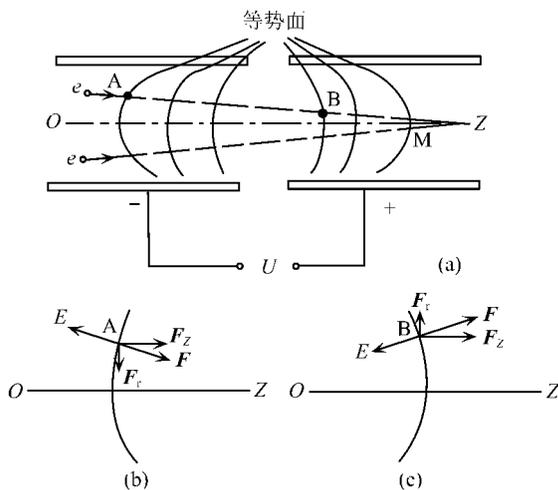


图 6

电子显微镜已成为自然科学领域中探索微观世界的“科学之眼”,其在医学、生物学、材料科学等领域得到了广泛应用。在电子显微镜中,利用静电场聚焦电子束的装置如图 7 所示。电子枪发射的电子束经电子聚焦透镜 L_1 成为一束平行电子束,它经过薄样品 S(即观测对象)和静电透镜(物镜) L_2 之后,将薄样品 S 的结构成像在 S' 处。这个放大的物像 S' 又经过静电透镜(目镜) L_3 再次放大而成像在屏 P 上或照相底片上。电子显微镜的分辨能力大

荧光大优于光学显微镜, 现在我国已制成的电子显微镜的放大率达 80 万以上、分辨率为 1.4 埃, 能直接观察金属的晶格结构、分辨原子大小等。用于透视的医用影像增强 X 射线电视系统设备内部含有一个视野影像增强管, 增强管的电子枪结构使电场形成电子透镜, 对光电阴极受 X 射线图像照射而激发出来的电子图像起聚焦和

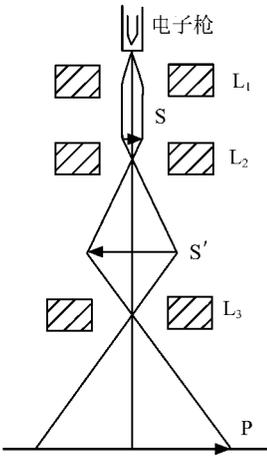


图 7

加速作用, 使其在输出屏上形成缩小而有很高动能的电子图像, 在输出屏荧光层上进行电光变换, 变换为荧光影像; 通过调整栅极的电位, 调节增强管电子透镜的聚焦状况, 使图像更清晰。

磁聚焦

磁聚焦, 主要是利用电子在磁场中受到洛伦兹力作用而产生的聚焦现象。

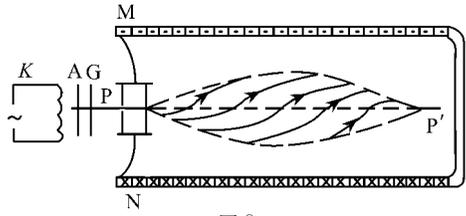


图 8

图 8 为磁聚焦示意图, K 为发射电子的阴极, G 为控制极, A 为阳极, 他们构成电子枪, MN 为产生匀强磁场的螺线管, 在阳极圆筒内装有较小的圆孔共轴限制膜片, 其作用就是使电子在进入磁场时, 确保电子速度方向与磁感应强度 B 的方向间的夹角 θ 很小。电子枪发射的电子以速度 v 与磁感应强度 B 成 θ 角进入磁场后, 由于 θ 很小, 故电子平行于磁场方向的速度分量 $v_{//}$ 及垂直于磁场方向的速度分量 v_{\perp} 分别为 $v_{//} = v \cos \theta \approx v$ 、 $v_{\perp} = v \sin \theta \approx v \theta$ 。因磁场的作用, 电子在垂直于 B 的平面内做匀速圆周运动, 而在平行于 B 的方向上做匀速直线运动, 这两种运动的合成为螺旋线运动。电子在磁场中做螺旋线运动时, 螺旋线的半径(即电子在磁场中做圆周运动的回旋半径)为 $R = mv_{\perp} / eB \approx mv \theta / eB$ 。由于 v_{\perp} 不同, 各电子将沿不同半径的螺旋线前进。其回旋周期为 $T = 2\pi R / v_{\perp} = 2\pi R / eB$, 即各电子的 T 相

同。由于水平分量 $v_{//} \approx v$, 所以所有电子经过一个螺距 $h = v_{//} T = 2\pi mv / eB$ 后又重新会聚在 P' 点。这与光束经透镜后聚焦的现象有些类似, 所以叫做磁聚焦现象。在实际运用中, 更多使用短线圈, 利用它产生的非匀强磁场聚焦, 短线圈的作用类似于光学透镜, 称为磁透镜。

磁聚焦原理主要应用于电真空器件尤其是电子显微镜中。在图 7 所示的显微镜结构中, L_1 即为磁透镜, L_2 、 L_3 为静电透镜(也可以用磁透镜代替), 工作原理与静电透镜基本相同, 此处不再赘述。

目前常用的电镜有两种: 一种是透射电镜(即前面所讲的电子显微镜), 一种是扫描电镜。扫描电镜内部也有电子枪和磁透镜, 但此处的磁透镜是通过其聚焦作用产生直径约 1 纳米的细电子束打到样品上, 然后利用扫描线圈使电子束产生偏转, 并一行一行地扫描样品表面某一特定区域, 最后在显像管的荧光屏上得到反映样品表面形貌的图像。目前, 扫描电镜的放大倍数已超过 100 万倍, 分辨率可达 1 纳米。电镜技术使基础医学研究从细胞水平提高到分子水平, 例如迅速确定生物大分子、脱氧核糖核酸(DNA)的详细结构, 观察病毒和细菌的内部结构等, 因此电镜已成为医学基础研究不可缺少的工具之一。

我们以前所用的电真空摄像管型摄像机, 其聚焦类型就属于磁聚焦, 摄像头内含有磁聚焦电路, 该电路的作用使扫描电子束聚焦, 以提高摄像的清晰度。

我们现在所用的许多摄像及显示设备, 其内部的聚焦机制并不是单一的, 既有静电聚焦、又有磁聚焦。例如就电视摄像管而言, 由于其靶面较小, 而且像素密集, 仅用静电聚焦很难形成细小的聚焦电子束。为此, 摄像管对电子束进行电聚焦的同时, 还要进行磁聚焦, 只有经过双重聚焦, 才能保证电子束被精细地聚焦到靶面上, 以满足高分辨率的要求; 再如我们现在所用的 CRT(阴极射线管)显示器, 它的聚焦机制有静电聚焦、磁聚焦和电磁复合聚焦三种, 其中以电磁复合聚焦最为先进, 其优点是聚焦性能好, 尤其是高亮度条件下会散焦(在焦点之外成像, 即通常所说的背景虚化效果), 且聚焦精度高, 可以进行分区域聚焦、边缘聚焦、四角聚焦, 从而做到画面上的每一点都很清晰。

(兰州甘肃建筑职业技术学院 730050)