

早期出版的教科书介绍确定水中物点的位置(虚象)——视深度的方法如下:设水中深为 h 的 P 处有一物点。求水面上的观察者观测到的视深 h' , 光路如图 1 所示。可推得视深度的表达式为:

$$h' = h \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r}$$

$$= h \frac{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 i}}{n \cos i} \quad (1)$$

由(1)式可知,随着入射角 i 或折射角 r 的增大视深度减小;当 $i \approx 0, r \approx 0$ 时,视深度为实际深度的 $1/n$ 。

(1)式是否正确呢?我们知道物点经平面折射所成的像点,是折射光线反向延长线的交点。在实际观测水中物点的虚像位置(即视深度)时,观察装置(包括人眼)都有一定的口径(一般很小),观察到的都不是“一条光线”,“一条光线”不能确定虚像点的位置,而是以虚像点为顶点的锥形发散光束。而在二维平面上,根据直线传播的经验,常把相邻的两条折射光线当成“从虚像点射出的”——如图 3 中的 l_1, l_2 , 来确定虚像点的位置。而在图 1 中“一条折射光线”反向延长线与 y 轴的交点 P' , 不是沿观察角 r 方向观察到的物点 P 的虚像位置。因此(1)式只是在入射角或折射角很小时,用来观测水中物点的(虚像)位置才是近似成立的公式。

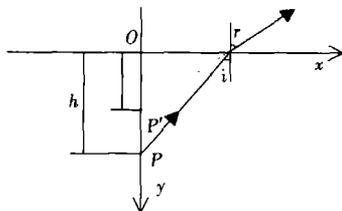


图 1 水中物体的视深度



郭守月

(安徽农业大学文理学院物理教研室 合肥 230036)

戴结林

(安徽教育学院物理系 合肥 230061)

那么确定视深度的表达式是什么?

有些文献认为虚像点的坐标是观察位置(入射角或折射角)的单值函数。本文从实际观察装置都有一定的口径考虑,推出实际观测确定虚像点坐标的原理式。由此得出虚像点的视深度不仅是观测位置(入射角或折射角)的函数,它还与观察装置的口径及观察装置离观测位置的距离有关;观测虚像点坐标的实际原理式的极限形式,才是观测位置的单值函数;实际观测值总是小于视深度的理论值。

1. 观测视深度的原理

作图法可以确定水中物体的视深度——虚像点的位置如图 2 所示。由图 2 可见物体的视深度随折射角的增大而减小,且水平位置也向观察者同侧移动。

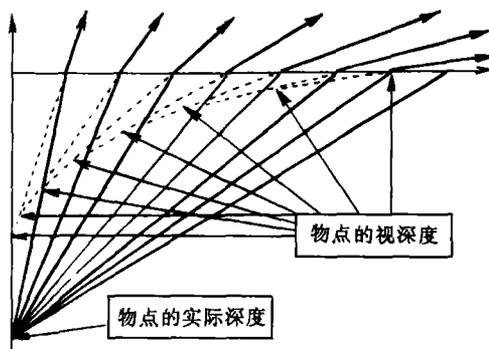


图 2 物点的视深度随折射角或入射角的增大而减小

虚像点的移动服从什么规律?

在图 2 中任取两条相邻的光线如图 3, 第一条光线与水平面交点坐标为 $A(L, 0)$, 第二条光线与水平面的交点坐标 $B(L + \Delta, 0)$ 。其他的有关量及

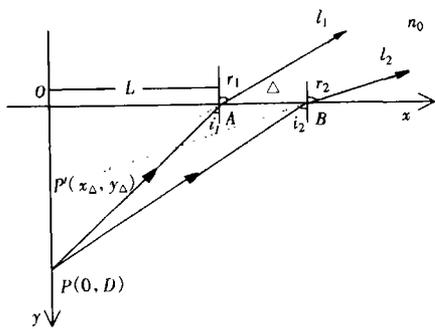


图3 图2中的两条相邻的光线符号如图3所示。设水面以上为空气,折射率 $n_0 \approx 1$,水的折射率为 n ,由折射定律得

$$\sin r_1 = n \sin i_1 = n \frac{L}{\sqrt{D^2 + L^2}} \quad (2)$$

$$\sin r_2 = n \sin i_2 = n \frac{L + \Delta}{\sqrt{D^2 + (L + \Delta)^2}} \quad (3)$$

折射光线 l_1 和 l_2 的直线方程分别为

$$y = (x - L) \operatorname{ctgr}_1 = \frac{\sqrt{D^2 - L^2(n^2 - 1)}}{nL} (x - L) \quad (4)$$

$$y = [x - (L + \Delta)] \operatorname{ctgr}_2 = \frac{\sqrt{D^2 - (L + \Delta)^2(n^2 - 1)}}{n(L + \Delta)} [x - (L + \Delta)] \quad (5)$$

解(4)和(5)式得交点(虚像点)坐标分别为

$$x_{\Delta} = \frac{(L + \Delta) \operatorname{ctgr}_2 - L \operatorname{ctgr}_1}{\operatorname{ctgr}_2 - \operatorname{ctgr}_1} = \frac{L(L + \Delta) \frac{\sqrt{D^2 - (L + \Delta)^2(n^2 - 1)} - \sqrt{D^2 - L^2(n^2 - 1)}}{L \sqrt{D^2 - (L + \Delta)^2(n^2 - 1)} - (L + \Delta) \sqrt{D^2 - L^2(n^2 - 1)}}}{\quad} \quad (6)$$

$$y_{\Delta} = \frac{\Delta}{\operatorname{tgr}_2 - \operatorname{tgr}_1} = \frac{\Delta}{n \left[\frac{L + \Delta}{\sqrt{D^2 - (L + \Delta)^2(n^2 - 1)}} - \frac{L}{\sqrt{D^2 - L^2(n^2 - 1)}} \right]} \quad (7)$$

由(6)、(7)式可知,虚像点的坐标与观测位置 L 不变的水面位置)及邻近两条光线与水平面交点间的距离 Δ 有关。这是实际观测虚像点位置坐标的原理式。

当所取的两条光线无限接近时,也就是 $\Delta \rightarrow 0$ 时,实际虚像点的坐标表达式(6)、(7)就成为确定虚像点位置的精确表达式。

考察 $\Delta \rightarrow 0$ 时,(6)、(7)式均为 $0/0$ 型,由洛比塔法则得虚像点的坐标为

$$x = \lim_{\Delta \rightarrow 0} x_{\Delta} = \frac{L^3(n^2 - 1)}{D^2} \quad (8a)$$

$$y = \lim_{\Delta \rightarrow 0} y_{\Delta} = \frac{[D^2 - L^2(n^2 - 1)]^{\frac{3}{2}}}{nD^2} \quad (9a)$$

$$\text{或者表达成 } x = D \frac{(n^2 - 1) \sin^3 r_1}{(n^2 - \sin^2 r_1)^{\frac{3}{2}}} \quad (8b)$$

$$y = \frac{n^2 \cos^2 r_1}{(n^2 - \sin^2 r_1)^{\frac{3}{2}}} \quad (9b)$$

(8)、(9)式表明在 $\Delta \rightarrow 0$ 时,虚像点的位置坐标才是观测位置 L 或者是折射角 r_1 的单值函数。

(9a)中 $D^2 - L^2(n^2 - 1) \geq 0$ 是在水面上能看到虚像点的条件,即入射角不大于临界角的条件。将(8)、(9)式中的 L (或者 r_1) 消去可得虚像点的轨迹方程为

$$y = \frac{D}{n} \left\{ 1 - \left[\frac{(n^2 - 1)x^2}{D^2} \right]^{\frac{1}{3}} \right\}^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

这里 $x^2 \leq D^2/n^2 - 1$, 所以 x 的取值范围是

$$|x| \leq \frac{D}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad (11)$$

表达式(11)说明在水面上半径为 $D/\sqrt{n^2 - 1}$ 的圆面内都能看到虚像点。

由(6)、(7)知实际观测的虚像点坐标是观察位置 L 和相邻两光线与水平面交点之间的距离 Δ 的函数。而 Δ 是由观察装置的观察口径及观察装置离观察位置的距离决定的(如图4所示)。

当口径不变的观察装置在水中物点的右上方沿水平方向向右移动时, Δ 变化很小可略去不计,观察到虚像点的位置只随观测位置 L (或折射角或入射角)的增大而向右上侧移动。而观察装置对着水面同一位置(即 L 不变)观测时,观察到虚像点的位置随着观察装置离观测位置的距离的增大而向左下侧移动。如图4观察装置由位置 E_1 移动到 E_2 时,观察到的虚像点位置也相应从 P' 位置移到 P'' 位置。

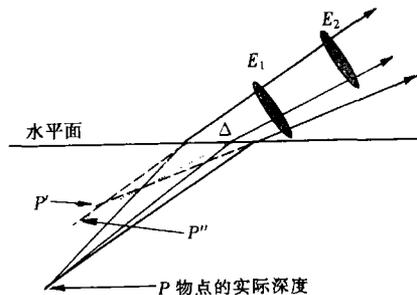


图4 物点的视深度随观察装置离观察位置的距离的增大而减小同时水平位置也向观察者同侧移动



核裂变和裂变机制的模型理论

张竞上

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

一、裂变反应的发现及其意义

1932年查德威克发现了中子,使人类终于找到一把打开核反应大门的钥匙。由于中子和原子核之间没有库仑排斥力,可以很容易进入核内而产生各种类型的核反应过程,例如弹性散射、非弹性散射、粒子转移反应、敲出反应、俘获辐射反应等。俘获辐射反应是指中子被靶核俘获后以光子辐射退激,因而产生比靶核更重的元素。基于这种思路,当时费米等人试图先用铀元素吸收中子,再通过 β -衰变产生超铀元素,但是却发现了许多比铀核轻很多的产物核,不能用轻核和中重核出现的粒子交换反应等反应机制来解释。这种现象在1939年被梅特纳(Meitner)和弗里彻(Frisch)称为核裂变,它是一种新的反应机制。值得重视的是,每次裂变不仅可以释放大约200MeV的能量,而且还有足够的次级中子产生,因而可以产生链式反应,使得裂变过程可以达到自维持,使人类获取核能源变成可能。后来研究表明,只要入射能足够大,所有原子核都能产生核裂变。因而人们将很低能量就能使之发生裂变的原子核称为易裂变核,例如钍、铀、钚等重核。

1942年,在费米指导下,美国首先设计建造了世界上第一座裂变反应堆,人类第一次得到原子核能源。当时是在秘密条件下进行的,因为它主要是为首枚原子弹研制提供设计所用的核数据信息。1956年,第一座以裂变为能源的实验核电站运转。这也是科学研究成果转化为生产力的典型实例。基础研究的新发现在不到20年内就应用到现实生活中。目前,世界范围内已经有大量的核电站建成。

二、裂变反应的实验测量

核裂变发现以后,进行了大量有关裂变反应的实验测量,测量精度不断提高,并取得了丰硕的成果。首先是裂变反应截面的测量,在中子诱发的易裂变核中,凡是奇中子的易裂变核的裂变反应道都是无阈的,这是由于入射中子可以和未配对的中子形成中子对,并释放1—2MeV的配对能到激发能中,这时激发能可以超过裂变位垒,形成无阈的裂变反应;相反,对于偶中子的易裂变核,因为没有配对能的释放,裂变反应道是有阈的。以中子诱发的 ^{238}U 和 ^{232}Th 裂变截面为例,如图1、图2所示。图1中裂变截面呈现出标准的阶梯形状, $n+^{238}\text{U}$ 是有阈

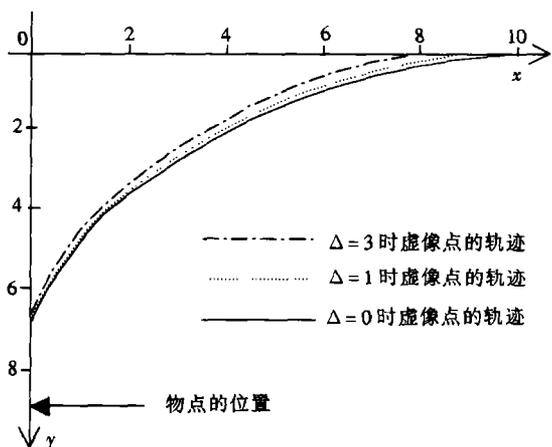


图5 当 $\Delta=0, \Delta=1, \Delta=3$ 时虚像点的轨迹

由虚像点的轨迹方程(10)及实际观测虚像点位置坐标的原理式(6)和(7),可得 Δ 取不同值时虚像点的轨迹曲线如图5所示(由等式(11)知,若 $x=10$

时 $D=8.82$)。

由以上讨论可知,水中物体的“运动”有以下规律:(1)实际观测水中物体的视深度的原理式,不是折射角或入射角的单值函数,而是随观察装置口径的增大而减小,随观察装置离观测位置的距离的增大(可折算成 Δ 的减小)而增大。(2)实际在水面上能观察到的虚像点的范围也随观察装置口径的增大而减小,随观察装置离观测位置的距离的增大而增大。(3)水中物体视深度的测量值总是小于理论值。

以上三点不管是在大学物理“光学”部分的理论课教学中,还是在实验方法测量水中物体视深度中都未涉及。其原因就是在实际观测水中物体的视深度时,忽视了观察装置的口径及观察装置离观测位置 L (不变的水面位置)的距离也是对测量结果产生影响的因素。