

透射光的振幅和强度可以大于入射光的振幅和强度

金 仲 辉

(中国农业大学物理系 北京 100094)

在大学基础物理教材中,将用透明薄膜获得相干光的方法称为分振幅法。因此,在一些教材和教师的教学中,常说成薄膜将入射波的振幅(或强度)分割成若干部分。这种说法往往使学生(尤其是非物理专业的学生)误认为透射光的振幅和强度是不可能大于入射光的振幅和强度的。下面,我们将说明这种认识是不正确的。

光是电磁波。对于电磁波,它的坡印廷矢量(即能流密度矢量)为

$$S = E \times H \quad (1)$$

在一般情况下,电磁波是横波,且有 $\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r} E = \sqrt{\mu_0 \mu_r} H$,所以能流密度的值为

$$S = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0 \mu_r} E^2 \quad (2)$$

由于真空中光速 $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$,和在光频下 $\mu_r \approx 1$,折射率 $n = \sqrt{\epsilon_r}$,将它们代入上式,有

$$S = \frac{n}{c\mu_0} E^2 \quad (3)$$

我们通常说的光波强度(简称光强)指的就是光的能流密度(它的物理意义是单位时间内通过与光波的传播方向垂直的单位面积的能量)。从上式可看出,光强不仅和 E^2 成正比,还与介质的折射率 n 成正比。在同一介质中讨论光强的相对分布时,(3)式中的折射率不重要,人们往往把光的相对强度 I 写成振幅的平方

$$I = E^2 \quad (4)$$

但在比较两种介质内的光强时,则应注意到折射率 n 的不相同。

当光波由一透明电介质射向另一电介质的界面时,由电磁场边界条件可以得到如下的菲涅耳公式

$$E'_{p1} = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)} E_{p1},$$

$$E'_{s1} = \frac{\sin(\theta_2 - \theta_1)}{\sin(\theta_2 + \theta_1)} E_{s1}$$

$$E_{p2} = \frac{2\sin\theta_2 \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)} E_{p1},$$

$$E_{s2} = \frac{2\sin\theta_2 \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} E_{s1} \quad (5)$$

上式中 θ_1 和 θ_2 代表入射角和折射角; E_{p1} 、 E_{s1} 代表入射光的p分量和s分量; E'_{p1} 和 E'_{s1} 代表反射光的p分量和s分量; E_{p2} 和 E_{s2} 代表透射光的p分量和s分量。

若定义振幅透射率 t 为透射光振幅与入射光振幅之比,则

$$\left. \begin{aligned} & \text{p分量振幅透射率} \\ t_p &= \frac{E_{p2}}{E_{p1}} = \frac{2\sin\theta_2 \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)} \\ & \text{s分量振幅透射率} \\ t_s &= \frac{E_{s2}}{E_{s1}} = \frac{2\sin\theta_2 \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

若定义光强透射率 T 为透射光强度与入射光强度之比,且由(3)式和(6)式,则有

$$\left. \begin{aligned} & \text{p分量光强透射率} \quad T_p = \frac{I_{p2}}{I_{p1}} = \frac{n_2}{n_1} |t_p|^2 \\ & \text{s分量光强透射率} \quad T_s = \frac{I_{s2}}{I_{s1}} = \frac{n_2}{n_1} |t_s|^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

现在举一个一束平行光由水射向空气界面的例子来说明透射光的振幅和强度是可以大于入射光的振幅和强度的。

假定入射角 $\theta_1 = 30^\circ$,由光的折射定律 $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ 和取 $n_1 = 1.33$ 和 $n_2 = 1.00$,不难求出折射角 $\theta_2 = 41.8^\circ$ 。

由 $\theta_1 = 30^\circ$ 、 $\theta_2 = 41.8^\circ$ 以及(6)式和(7)式不难求出透射光的振幅和强度透射率为

$$\left. \begin{aligned} t_p &= 1.24 \\ t_s &= 1.21 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} T_p &= 1.16 \\ T_s &= 1.10 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

上述数据充分说明了透射光的振幅和光强是可

现代物理知识

以大于入射光的振幅和光强的。这个结论并不违背能量守恒原理。

光波的能量 W 定义为光波单位时间内通过某面积的能量,它与光强 I 的关系为

$$W = IS \quad (10)$$

其中 S 为光束的横截面积。由图 1 可知,反射光束与入射光束的横截面积相等,而透射光束与入射光

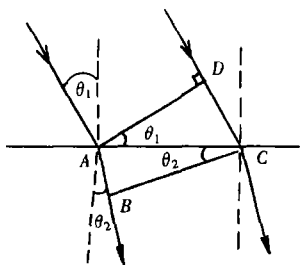


图 1

束横截面积之比为

$$\frac{CD}{AB} = \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} \quad (11)$$

若定义透射光的能流透射率 T_w 为透射光能流与入射光能流之比,且由(7)式、(10)式和(11)式,则有

$$\left. \begin{aligned} & \text{p 分量能流透射率} \\ & T_{wp} = \frac{W_{p2}}{W_{p1}} = \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} T_p = \frac{\cos\theta_2 n_2}{\cos\theta_1 n_1} |t_p|^2 \\ & \text{S 分量能流透射率} \\ & T_{ws} = \frac{W_{s2}}{W_{s1}} = \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} T_s = \frac{\cos\theta_2 n_2}{\cos\theta_1 n_1} |t_s|^2 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

光在两介质界面上反射和透射时,入射光的能流恒等于反射光能流和透射光能流之和,所以能量总是守恒的。这就是说,(12)式所表示的透射光的能流透射率 T_{wp} 和 T_{ws} 是不可能大于 1 的,即透射光的能流永远不会超过入射光的能流。

由以上讨论可知,用透明薄膜获得相干光的方法说成是分能流法似比分振幅法要好些,有更确切的物理含义,不易造成误解,当然这是笔者一家之言了。

(上接 70 页)

时?”“月球起源”这个大问题,至今让科学家不解,竟也曾令 1200 年前的唐代诗人李白困惑。他的诗作,是人文的;他的提问,是理性的,原来,古人并不“文理分科”。

2001 年中秋夜,月光如水,秋风习习,我与家人惬意漫步颐和园西堤。远望明月当空石舫映水,《把酒问月》里的名句浮上心头:

今人不见古时月,今月曾经照古人。

古人今人若流水,共看明月皆如此。

皎洁明月夜,思接千载人。我按动快门,《今月曾经照古人》就诞生了。古舫,是那样寂静;今月,是那样光华。在这古与今的静谧中,每个人都可以读出自己的味道来。

《春江花月夜》,人称“诗中之诗”、“诗的顶峰”,倾倒古往今来多少读者。唐人张若虚仅两首诗传世,便有这样一首“颠峰之作”,让人仰慕,让人称奇。诗的题目便很绝妙,春、江、花、月、夜,五个字就写出了五道美景;更有那脍炙人口的诗句,探问着月球与人类的起源:

江畔何人初见月,江月何年初照人。

这诗句展示的思索空间,比李白还要宽广。可见,从

“科学想像”的角度,也可以找到称赞《春江花月夜》的理由。

很多朋友喜爱我拍摄的《玉带倩影》,说月光下的颐和园玉带桥很美。其实,它是在清晨日出后拍摄的,只是用了点摄影技巧,便得到了月夜的效果。你说,这光的艺术是不是很奇妙、很值得玩味?

四

除了阳光、月光之外,星光、天空也是我们的天然光源。不过,跟日月相比,它们的光亮就微弱多了。

“为了看看阳光,我来到世界上。”这世界,有自然的画意,有文化的诗情。但是,没有光,我们就坠入一团漆黑,画意与诗情便无从谈起了。光,你是诗情,你是画意,你是我们的大自然兄弟,我们离不开你!

(作者简介见本刊 2002 年第 1 期 59 页)

