

The wave front is used for the image of different interface and the improvement and improvement of Huygens principle

Facheng Yang

Experimental testing institute, Kalamayi xingjiang

Email: yangfacheng2006@163.com

Abstract

Plane mirror imaging and real object, according to the relative mirror as the axis of symmetry, commonly known as mirror symmetry. Concluded from practice in the law, have not been given something closer to the true theoretical analytic; Or so, behind of this seemingly commonplace phenomenon is not the true explanation. For this reason, this paper inherits has become a classic concept, such as by a point light source the light wave front in the space for a sphere, in combination with the three-dimensional how several mathematical knowledge, on the interaction between wave front and mirror gives quantitative inference and proof, and concluded: the mirror is made of the triple echo the results. The wave front to mirror the object point by interface of all surface binds scattering, the scattering of the wavelet envelope comply with the modified Huygens principle in this paper.

Keywords

Plane mirror; Point light source; Wave front; Huygens principle

Subject Areas Math & Physics**波前作用于不同物质界面的像及惠更斯原理的改进与完善**

杨发成

实验检测研究院, 新疆 克拉玛依市

Email: yangfacheng2006@163.com

收稿日期: 2017年8月28日; 发布日期: 2017年8月29日

摘要

平面镜成的像与实物体相对称, 镜面为对称轴, 俗称镜像对称。从实践中总结而来的这一规律, 至今没有给出更接近事物真实的理论解析; 或这么说, 对这看似司空见惯现象的背后并没给出真正的解释。为此, 本文沿袭已成经典的观念, 比如由点光源发出的光波波前在空间为一球面, 结合立体几何等数学知识, 对波前与镜面的相互作用给出定量推演和证明, 从而得出: 镜像是由三重回波所构成的结果。物点的波前传播至镜面被界面各面元ds散射, 各散射子波的包迹(包络面)遵守经本文修改后的惠更斯原理。

关键词

平面镜; 点光源; 波前; 惠更斯原理

1. 引言

在实验课上, 镜像对称一般采用透明玻璃板、两支相同蜡烛为实验器材, 玻璃薄板厚度为 3.5mm 或 5.0mm, 玻璃板固定在水平桌面的竖直方向上。玻璃板的一侧放支蜡烛并点燃, 另一侧用不点着的蜡烛找像的重合点。为人导师的我现今照旧沿袭着古老的烛光教学, 就目前世界各国的教科书中仍选用蜡烛、玻璃板方法在教授学生。作者经查阅大量文献资料显示, 镜像对称的认知至今仍停留在实验阶段。如今, 本文从光的波动理论出发,

结合近代科技，对这一传统实践结果做逐层、逐级的具体探索，获得以下几方面收益：

其一，镜像对称得到理论证明；

其二，修订并完善了惠更斯原理；

其三，本文中所探究出的思想和方法，对教学、培养青年学子正确的世界观及科研方法起着积极促进作用。

2.透明介质与银白金属膜

2.1.实验基本设计

实验用的长脉冲 TECO_2 激光器^[1, 2]，厚度 0.2mm 铜板，规格 100mm×100mm，正中央开一孔径约 0.03mm 小孔，几何线度较小^[3]的光源 F （点光源）一个。透明平面玻璃一张，规格 300mm ×300mm×5.0mm，透光率 $w > 96\%$ ，如图 1 所示。其中，用一半面积（150mm ×150mm）的背面蒸镀约 0.01mm 厚银膜，银膜对入射的任何颜色（频率）的光都不予客留即刻遣出，银膜决定了它的“返还”特性——入射光与反射光的频率不变。另外，银膜膜面的高致密性等特征，因而入射波 W 不会轻易穿透这层银膜。



图 1.镜像对称实验图

2.2.器材性质

2.2.1.透明玻璃介质

透明固态玻璃 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$) 由 75% SiO_2 及 Na_2O 、 CaO 在 2000℃ 高温下溶合、冷凝而成，其原子、分子构成特殊几何空间结构，表现出对光物质独特的吞吐（吸收-再发射）自如，——近代原子理论研究认为，光跟原子相互作用，核外电子向高能态跃迁，随即又回落至低能态，同时将能量以光子形式辐射出去，整过程约历时 $t \leq 10^{-9}\text{s}$ 。所以，透明体是光损耗率非常低的理想物质。实验中，一般用玻璃薄板厚度为 3.5mm 或 5.0mm，这样厚度的玻璃板，97% 以上光线都能垂直板面传播过去，——其实，部分光线是从原子、分子构成的几何（真空）空间直穿而过，但大部分光子是被原子“先吸收-再发射”。透明玻璃体主要成份为 SiO_2 ， SiO_2 分子里相邻原子构（筑）成的空间网状结构为原子晶体，这种密度相对较小的、空间呈网状结构的透明体，对自身原子被光能量激发后产生的次波波面扩散、传播有利。另一器材是点光源，点光源 F 的几何线度对实验结果影响甚微，以至可以忽略。

2.2.2.波前被透明体界面一分为三

假设 $t=0$ 时刻，点光源 F 发出一脉冲闪光，于 $t=T_1$ 时刻波前 W (Wave-front) 到达空间 (实为弧面) MoN 位置，点 F 是波前源点，如图 2 所示。显然，该波前最先到达位置与镜面 AB 相切于 o 点。连接 o 与 F ，所以 oF 垂直于镜面 AB 相交于点 o 。几何程为 oF ，光程为 $n oF$ 。

光波波前 W 继续传播的同时，被界面 AB 一分为三【见图 2】。即透射波 W_1 、次生波 W_2 、 W_3 和少许热能 Q ；其中， W_2 为人们通常称谓的反射波或反射光线，理论上 $W = W_1 + (W_2 + W_3) + Q$ 。因光照而发热 Q 很小，一般不予考虑光能量的损耗。这里需着重强调一个事实，那就是波前 W 是一球形面，最初到达镜面 AB 中点 o 处并开始与镜面发生作用，然后呈对称态向 A 、 B 方向延伸。在此过程中，被界面 AB 区域里各点依次吸收的光子，各点分别历经 $t=10^{-9}$ s 再向外发射。所以，当不考虑光速受玻璃介质因素影响，次波 W_3 落后透射波 W_1 几何程为 $AA' = (3.0 \times 10^8 \text{ m/s}) \times 10^{-9} \text{ s}$ ，且波面 W_3 跟 W_1 是同心圆，圆心为 F 。

显然，次波波面 W_2 和 W_3 是界面 AB 上各点面元 ds 顺时扰动子波的包迹，——这里，面元 ds 可看成原子，各点原子分别“先后”吸收入射波，再顺时扰动、随机发射——实为任意方向的散射。所以，这个返回波面 W_2 和向前传播波面 W_3 是玻璃界面 AB 上各点先、后次级扰动球面波的包迹。不难看出，本文所阐述的观点是以往的文献著作^[3-7]中所没有过的，文献里大多是泛泛而谈的波反射，究竟怎么一个反射过程均没具体内涵。在科技高度进步的今天，我们完全能够运用如光电探测器、纳秒 (ns) 或皮秒 (ps) 计时器等技术手段对透射波 W_1 、次生波 W_2 、 W_3 进行探测——按到达探测器时间的先后计数。同时，这样的研究方法对激光器的技术发展有著积极推进作用。

2.2.3.镜像对称的理论证明

我们对“返回波” W_2 进行考查。由玻璃界面 AB 扰动的“包络面” W_2 和 W_3 ，波面 W_3 圆心为 F ，波面 W_2 和 W_3 是以 AB 为轴呈左、右对称出现。由几何知识，平面外一点 F 到平面 AB 的垂线距离最短，即 $FO \perp AB$ ，而点 A 与点 B 关于 o 点对称。所以，两圆相交，连 (心) 线垂直平分公共弦【见图 2】。诚然，两个球面相交，两球连心线 $F'F$ 垂直公共弦所在的平面。界面 AB 是球冠弧面 AkB 和弧面 ApB 的公弦面，——界面散射生成的波面或弧面 ApB ，是以点 F' 为球心的球冠。波面 W_3 (弧面 AkB) 的波线交点为 F ，波面 W_2 的波线交点为 F' ——波线反向延长线交点。所以， F' 是波面 W_2 所对应的球心。显然，四边形 $F'AFB$ 为一菱形， $F'F$ 和 AB 是菱形的对角线。菱形 $F'AFB$ 为一几何空间态，波面 W_2 的波线反向延长线交点 F' 即为像点。由菱形的性质，有 $oF' = oF$ 。

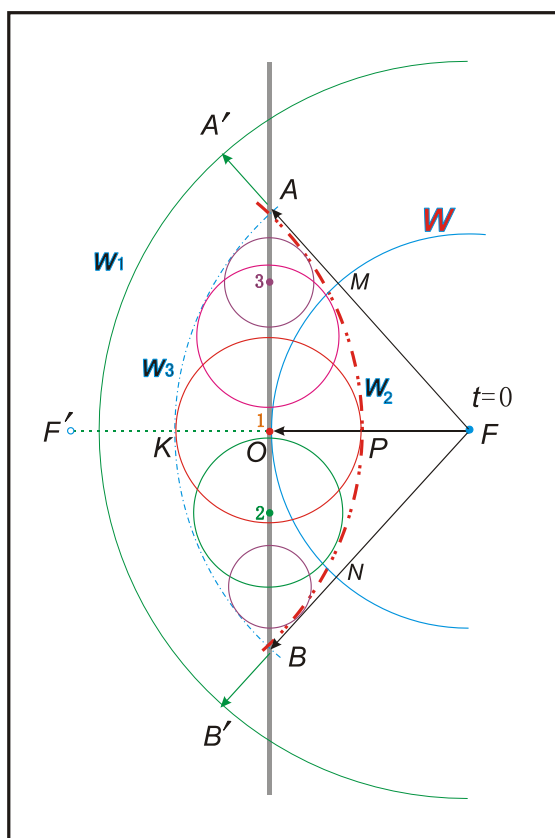


图 2.物点光波与玻璃界面作用示意图

2.2.4.生产、生活中的现象

实践和经验也告诉人们，透明玻璃板生成的像比较暗淡，日常生活中也遇到，比如旅行途中，当火车奔驰在漆黑的夜晚或（白天）突然驶进漆黑的隧道里，你在车窗前发现人像较为暗淡，这个像即由玻璃界面 AB 对实物光波散射所生成——玻璃背面（窗外）背景光较弱或没有背景光存在情况下。当火车驶出隧道时，由于窗外较强背景光的入侵，背景光波与玻璃界面 AB 产生的像波为同向传播。因背景光强度较大，像波 W₂ 与背景波之强度的对比度发生显著变化，对像波的干扰迅即增值，所以车窗界面 AB 生成之像在背景光的入侵下显得模糊或几近消失。以下可见度公式很好说明这一点。

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

对比度常称可见度或能见度，一般用 I_{\max} 、 I_{\min} 作光波强度。日常生活中常遇到与可见度 V 相关的情况。

3.综述

3.1.镜体与银白镀膜

银白色金属镀膜之功效：其一，银白即对入侵的任何波长的光（包括可见光在内）都不予客留，并即刻遣出之，决定了它的“能量返还”特性——入射光与反还光的频率相同，物理机制与本文前面讨论玻璃界面 AB 生成回波 W_2 一样道理；其二，金属密度大，相邻原子构成的二维面密不透风，且 0.01 mm 厚的金属膜也是若干层（原子）二维面的重迭；镀膜，阻止了从镜的背面入侵而来的背景光，并在无意间保护了由玻璃界面 AB 及金属膜生成的像。

3.2. 镜的三重像排序

现代工艺生产的镜面，是在透明玻璃板某面（即背面）蒸镀一层高反射率的银膜，如图 3 所示。不难看出，透明玻璃体担当起了骨架之任务，真正做到强返光作用的、对生产实践最直接高效的是那层（金属）银膜。

诚然，玻璃面与金属膜（平面）各自独立生像，其中，金属膜所成的像强度高、成像明亮。按道理讲，观察者应看到的是三重像【参见图 2】，但由于通常用于制镜的玻璃板厚度规格 3.5mm 或 5.0mm ，这也是三重回波间的距离，所以三重波生成的像几乎叠合一起了——这样尺度范围人眼或相机是不可能将其区分开的。经平面镜所返回来的三重像波顺次排序为 W_2 、 W_1 和 W_3 。这项从微观机制入手的研究方法，作者、读者过去还不曾多见。

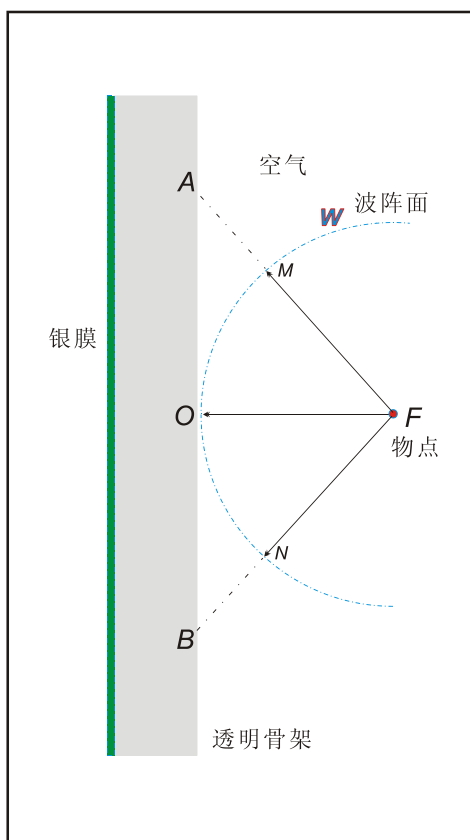


图 3. 镀膜镜体与物点光波示意图

3.3. 像点与镜中物

本文以上讨论的是一个“物点”经平面镜所成的像，其实，一个没有几何线度的“理想点”经镜面形成的虚像，人眼或照相机是根本“看不到”像点外貌的。因为物点光波经镜面反射（散射）后呈发散态，观察者或相机中只

能是一片光雾。——这一思想方法及研究结果，将在作者以后的光干涉、衍射论文中具体展现。诚然，现实实践中一个物体的表面是由若干点构成，在镜中形成若干个与物体对称的“像点”，若干像点构成了“镜中之物”。所以，观察者或相机从不同角度对镜中像的观察，跟对实物体的观察类同，如图4所示。图4中，弧面 ApB 似从像点 F' 发来的波面，其传播方向（波线）垂直波面，红色直线表示；同理，弧面 RsT 是像点 G' 发来的波面，紫色直线表示波线。当红、紫波线（或称光线）进入观察者眼睛或照相机，也就有了像的物质基础。

*注：本文中劣弧弧面均用三个字母表示是为了区分左、右弧面。

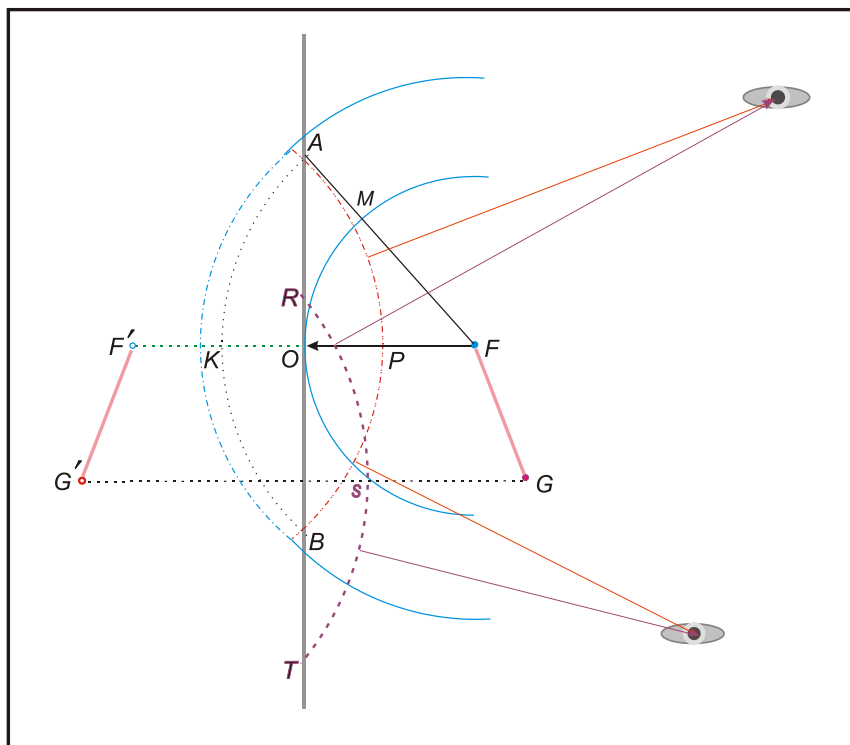


图4. 反射波与观察者成像示意图

4. 惠更斯原理及其改进

4.1. 惠更斯原理

波所到达的每一点都可以看作是新的波源，从这些点发出的波叫做子波；而新的波面就是这些子波在同一时刻所到达位置的包迹。

显然，这个原理适用于波源（点）向远处传播的介质波如声波、水波。这也是以往的文献著作^[3-7]中均有的描述。经实践考查，惠更斯原理可近似地用于解析光从真空或空气中进入密度较大的介质如玻璃、水中传播，其中，到达界面处有光的反射、折射及传播路径上的光散射，如图5所示。结合图2分析，入射波 W 被玻璃界面分解为反射波 W_2 、折射波 W_3 ，透射波 W_1 经界面以下（次外层、次次外层...等）作用后，起着对折射波强度增加、贡献的作用，且折射光线反方向有回波。以上分析与事实相符。可是，已往文献^[5-8]及惠更斯原理中并没有给出这个反射波 W_2 是如何生成的。所以，光在密度较大的介质如玻璃、水中传播跟声音在空气中传播以及水波传播方式还有所不同，——声波、水波等在同一介质里的传播过程中没有回波，除非遇到了障碍物。本文不做详述。

另外，当我们解析光在介质密度为零的“真空”中或均匀空气里传播时，假设惠更斯原理（“波所到达的每一点都可以看作是新的波源，...”）也适用，那么就应该在光传播反方向上有光线出现。但是，现实生活实践中，当用一束激光射向没有云层的天空，除了尘埃的零星散射，并没有反射回来的光线出现。众多的文献里也没有涉及到有反射光的相关描述，譬如师范课本《物理学》^[7]即是其中之一，如图 6 所示。

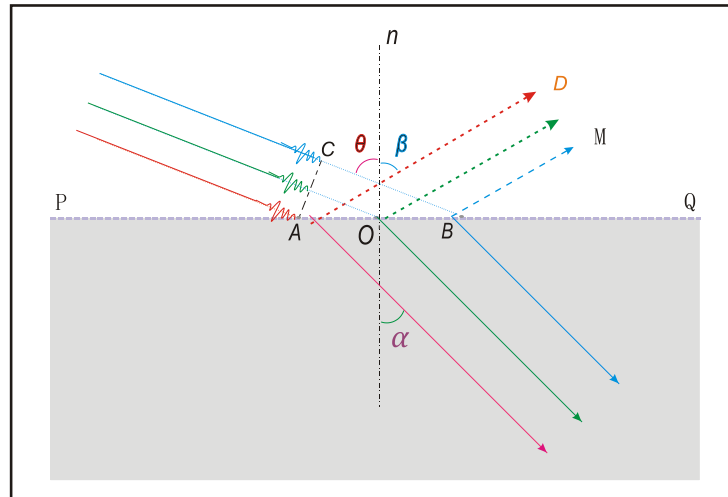


图 5.入射波、反射波及折射波图示

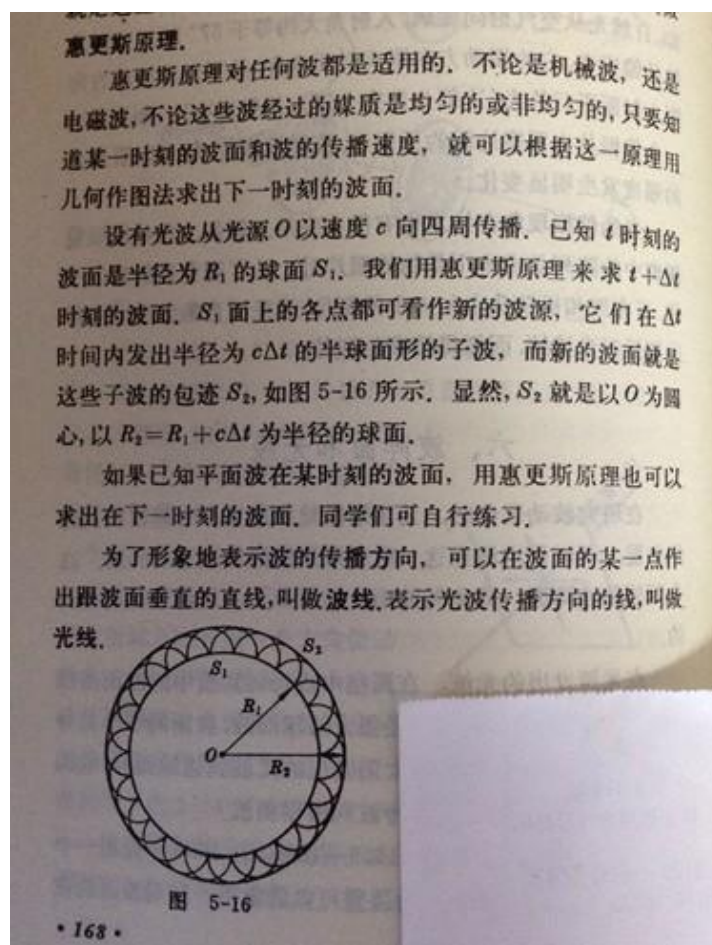


图 6. 惠更斯子波、包迹示意图

4.2. 修改后的惠更斯原理

波所到达的每一点都可以看作是新的波源，从这些点发出的波叫做子波；而新的波面就是这些子波在同一时刻所到达位置的包迹。这个原理适用于介质波如声波、水波。

真空中一光源，可以是一个几何的点或线或面；源上的每一点都可以看作是子波的波源，从这些点发出的球面波叫做子波；而新的波面就是这些子波在同一时刻所到达位置的包迹。解析如下：

真空中，光波波面上的任何点，都不存有能够使光产生扰动的物质基础，光在真空中“行走”更不能自我扰动^[10]。这一事实，量子力学、量子光学及中国量子卫星（墨子号）‘星-地’实践、海水量子通信实验等就足以说明。所以，惠更斯原理描述“光在真空中传播”方式跟事实不符。

如图 7 所示。在图 7 (a) 中， AB 是一面光源，平面上各点 a 、 b 、 c 、... 发出的子波分别为图示中红、绿、紫色圆圈（实线）表示。每一圆圈令其代表一个“子波”，它总是以（自身）源点为中心、半径为光速与时间乘积大小向外扩散；不同时刻，新的波面（子波在同一时刻所到达位置的包迹）分别是 $(W_2、W_3)$ 或 $(W_2'、W_3')$ ，图示中为虚线表示。图 7 (b) 中， $R_e = ce$ 、 $R_f = cf$ 、 $R_g = cg$ 、... 分别表示不同时刻 a 点子波的扩散半径。为了图示简洁，图中省去了诸多关联点如 b 点、 c 点、 d 点、... 等子波图线。

显然，惠更斯原理中是将波阵面上的每一点都可以看作是新的波源——子波；而本文是将波源的每一点都可以看作是子波。**题外话：以 AB 面上各点如 a、b、c、... 作为子波波源的思想方法，在“全息照相原理及再现”中得到具体应用。*

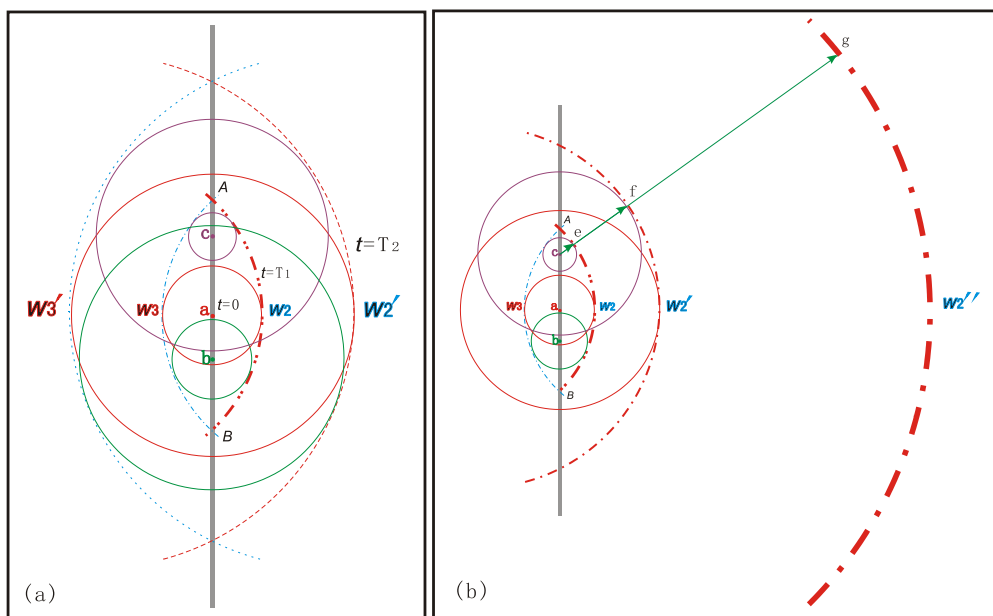


图 7. 扩散的子波及子波包迹示意图

5. 结束语

以光的波动性很好地解析了光的传播及镜像对称。本次探究虽是以波动论对几何光学的初浅解释，但从中亦反映出物质间的相互作用及运动规律并非想象的那么简单。同时应用修改后的惠更斯原理，光在真空中的行为得到了具体、客观的描述，亦表明几何光学是波动光学的一种近似或简要描写。

参考文献(References)

- [1] 王云飞, 吴谨, 刘世明, 汪训中, 王东蕾, 张阔海, 卢远添, 基于 Pulsar/sustainer 技术的可调谐长脉冲 TECO_2 激光器[J],中国激光 2007,34(9):1185-1189.
- [2] 谭维翰, 著 量子光学导论[M].北京: 科学出版社, 2009.
- [3] 马大猷, 著 现代声学理论基础[M].北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 赵凯华, 钟锡华, 光学(下册)[M].北京: 北京大学出版社, 1984.
- [5] 谢处方, 饶克谨 编, 电磁场与电磁波[M].北京: 高等教育出版社, 1987.
- [6] Max Born and Emil Wolf. *Principles of Optics*[M], Pergamon Press, 1975 .
- [7] 阎金铎, 张计怀, 窦国兴 编 物理学[M]北京: 人民教育出版社, 1998.
- [8] 张东壁, 谭树杰, 须和兴 编 普通物理简明教程[M]上海, 上海: 科学技术文献出版社, 1989.
- [9] 程守洵, 江之永 编 普通物理学[M]北京: 高等教育出版社, 1979.
- [10] 杨发成, 在胡克参考球观念下诞生的新理论[J],中国科技论文在线 2010-07-30.