

关于“光在介质中传播是波长还是频率发生改变”的对话

翁怡然¹ 翁羽翔^{2†}

(1 北京 101 中学 北京 100091)

(2 中国科学院物理研究所 北京 100190)

在对自然的探索和学习活动中，智慧和知识是一个相互作用和转化的过程。当智慧变成知识的时候，宛若鲜花变成干花，生机尽失；而当把知识还原成智慧的时候，便让过去的先贤再活了一回。学习的目的不光是要传承知识，更重要的是汲取智慧，智慧才是创新的源泉。本文试图以对话的方式展示一个中学生在物理学习过程中对知识与智慧的认识。

孩子在高一的物理课上学到了光在介质中传播的知识，知道了光在介质中传播的速度会低于真空中的光速，并且光在介质中的传播速度可以表达成真空中的光速除以折射率。有一天，她忽然联想到真空中的光速等于光的频率乘以波长，这样一来，介质中的光速就等于真空中的频率乘以波长，再除以折射率，于是乎，就展开了如下的对话：

女：“爸爸，光在水中传播速度变慢，是波长发生改变还是频率发生改变？”

父：“然然，你可问了一个很好的问题！你看，在数学上，频率和波长的乘积除以折射率满足除法的分配律，也就是说，在数学上，频率或波长的改变都能够引起光速相同的变化。在物理上，波长除以折射率就意味着波长变短，而在频率上就意味着频率变小，瞧，你提的问题正好揭示了数学上的正确性不等于物理上的正确性，这也就是数学和物理的区别所在。”

女：“嗯，的确是这样……但你

还是没有回答我的问题。”

父：“那你怎么看呢？”

女：“不是说不同的颜色对应于不同波长的光吗？既然我们都是以波长来界定色光，并且也没有出现过同一物体在不同介质中呈不同颜色的现象——譬如说，一个游泳的人在潜水和浮出水面时绝不会被看到泳衣颜色的改变。那么这是不是可以说明在传播过程中光的波长并没有变化，而变化的是频率？”

父：“唔，听起来很有道理。那我们就来做一個假想的实验吧。光的频率就相当于每秒钟内波振动的次数，打个比方说，我在空气中放一支手电，让它每秒钟一明一暗地闪10次，可以认为光源闪光的频率为10Hz。如果我们在水下看空气中的手电，你觉得闪光的频率会变化吗？”

女：“不会，因为手电的闪光频率是不变的，跟在空气还是水中传播无关。”

父：“对了，那么我们就把太阳比做闪光的手电吧，所有的光在发出的那一时刻，不同颜色的光频率就已

经确定了，你说还会因你观测的介质不同而改变吗？”

女：“当然不会！……可这就说不通了，水到底是改变光的频率还是波长？”

父：“看来我现在说哪种情况都不能够让你相信，我们还是用实验来回答你的问题吧。你们学过光的杨氏双缝干涉实验吗？”

女：“知道一些，课上刚讲过，大概是当点光源发出的光穿过两条狭缝时会在狭缝后的光屏上显示出互相交错的水波状的干涉图像。”

父：“是的，你去网上查查杨氏双缝干涉实验，看看干涉条纹和介质的折射率有什么关系吧。”

过些天，学校正好要求同学们开展研究型学习，于是父亲就建议孩子以上述问题作为研究型学习的研究内容。孩子们在开题报告中提出了解决问题的方案，以下便是开题报告的部分内容：实验通过杨氏双缝干涉实验测定一段玻璃管中分别以空气为介质和以水为介质时，干涉条纹的间距 e ，再根据 $e = D\lambda/d$ (D 为狭缝到干涉

条纹检测屏之间的距离， d 为狭缝间距)，确定光的波长 λ 在水中有没有发生变化，变化多少¹⁾。实验准备工作并不难，制作长度为1.2m的玻璃管，两端用胶封上厚度为1mm的玻璃片做窗口，玻璃管侧面连接液体导入和导出口。在玻璃管的其中一玻璃端面贴上双狭缝，缝宽约200 μm ，间距1mm。只是手工制作双狭缝费了不少功夫。孩子在黑纸上刻制双狭缝过程中显然已经对托马斯·杨产生了崇高的敬意，嘴上不住地说：“他是怎么想到的，怎么把狭缝刻出来的呀”。

实验中直接用氦氖激光照射狭缝，在远场处的白墙上拍摄干涉条纹，见图1。实验结果表明，以空气为介质测得的干涉条纹间距要大于以水为介质的测定值，证明了介质令光的波长发生了改变。接下来是定量比较变化量的相对大小。通过比较干涉条纹的间距的大小，就能够给出水的折射率。但是实验结果并没有给出空气中波长与水中的波长的比值等于预期的折射率1.33，而是1.21。对于这样的结果，孩子有些失望，于是便有了以下的对话：

女：“爸爸，折射率会不会分开去除频率和波长？比方说， λ/\sqrt{n}

和 ω/\sqrt{n} ”（父亲计算了一下， $\sqrt{1.33} = 1.153 \approx 1.2$ ，一时语塞……！）

父：“然然，你想想我们的实验能够给出精确值1.33吗？你看，我们在空气中测量干涉条纹时，光线已经穿过了前后两个玻璃窗片（透明玻璃的折射率约为1.5），这样测到的条纹间距肯定要比期望值要小，当然玻璃窗片对光在水中传播的干涉条纹间距也会有影响，因此我们偏小的结果应该是合理的。如果设计更理想的实验，使得测量结果十分接近或等于1.33，你还会认为折射率分开去除波长和频率吗？”

女：“当然不会”。

父：“那好，我现在可以负责任地告诉你：我们的测量结果偏小，是因为实验设计还不够精密”。

女：“那么我们还有什么办法能把测量精度提高？实验中都有什么干扰因素导致了误差？”

父：“有啊，首先在测量空气中的干涉条纹时不需要经过玻璃片，而是在固定长度的两个纸屏之间进行；其次是找一种折射率和水接近的材料替代玻璃，或者是找一种折射率接近玻璃的透明液体介质替代水，就能够有效地提高测量精度”。

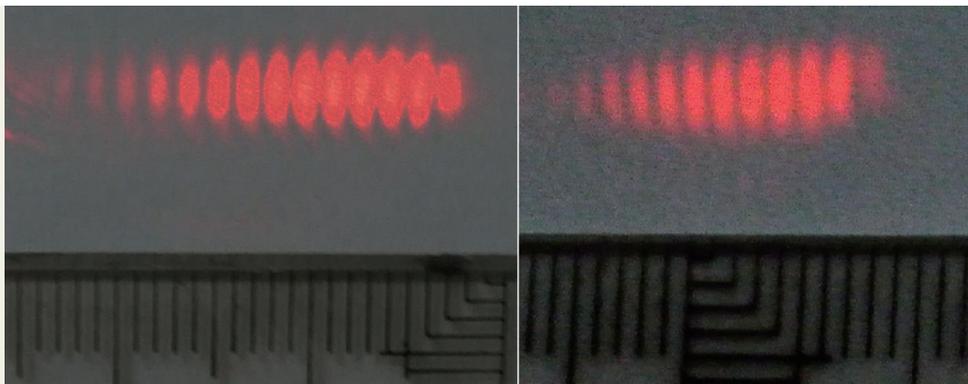
女：“好主意，现在我明白了光在介质中传播只是波长发生了改变。那人眼为什么不会对波长的变化做出反应呢？”

父：“要回答这个问题，就要借助一点量子力学的知识。根据量子力学理论，光子携带的能量等于普朗克常数乘以光子的频率，也就是说，光子的能量是由其频率所确定的。人眼中的感光分子只对一定能量范围的光子产生感光反应，就像跨过一条壕沟一样，只有水平初速度（动能）大于某一最小速度才能够跨过去。因此人眼只对光的频率发生响应，如赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫光，人眼响应的是它们所对应的频率”。

女：“那么为什么平时讲光的颜色的时候总是提它们的波长，而不是频率呢？”

父：“首先是因为光的频率难以像波长那样容易被直接测量，因而波长更容易被大众所接受；其次我们日常所说的什么颜色的光对应于什么样的波长，只是对空气介质而言的，我们对光的颜色的认识是在空气中获得的。常识不等于严格的科学定义，因而常识往往会有科学的误区”。

图1 封闭玻璃管中分别以空气(左)和水(右)为介质的杨氏双缝干涉条纹，光源为氦氖激光



1) 引自：翁怡然、田婉莹、梁飒、郝思淳、何雨蒙、郭梦婷、徐子寒(指导老师：周革润). 光在不同介质中传播时波长与频率的变化(北京101中学高二(3班)研究型学习开题和结题报告)(未发表). 2012