# 50．为什么机械波的反射和折射比光波复杂？

机械波与电磁波本质不同，前者是机械振动在介质中的传播，后者是电磁场的传播。机械波必须依赖于介质，而介质是各式各样的，并且机械波有横波和纵波两种基本形式，而电磁波都是横波。

高中物理教学都是先讲机械波后讲电磁波和光波，在讲机械波时，对于它的反射和折射，都是只提到机械波也有反射和折射现象，却不讲机械波的反射定律和折射定律，这是因为机械波的反射与折射现象比光波的反射和折射要复杂得多，中学是基础教育，不涉及较为复杂和专业的问题。

## 一、机械波与电磁波本质不同

光波是电磁波，而电磁波是电磁场在空间的传播，它可以在介质中传播，但完全可以不依赖于介质而在真空中传播。机械波则不同，它是机械振动在介质中的传播，没有介质，就谈不上机械波。

传播机械波的介质多种多样，性质各不相同，传播的机械波也是多种多样的。一般把机械波分为两类：一类是质元振动方向与波传播方向垂直的，称为横波；另一类是质元振动方向与波传播方向在同一条直线上的，称为纵波。横波的传播靠的是介质各部分间的横向相互作用，只有相邻质元间发生剪切形变时才会产生切变力，只有固体物质才会发生剪切形变，因此只有固体才能传播横渡。纵波的传播靠的是介质各部分间纵向的相互作用，各种物质都可以发生体积的改变，从而产生纵向相互作用，因此固体以及液体和气体都能传播纵波。

其实机械波的形式远不是只用横波和纵波就可以完全概括的，以张紧的金属弦线为例，它除了能传播横波和纵波以外，还能传播扭转波。传播机械波的介质内各部分的相互作用力也不限于弹性力，例如，水面波是一种常见的机械波，它不是像声波那样的疏密波，更不是只有在固体物质中才能传播的横波，水面各部分间的相互作用是表面张力与重力的共同作用，其波形一般也不是正弦波的形状，特别是深水中的波浪，其波形与简谐波波形相差很远。

## 二、机械波的反射和折射与光波的反射和折射有什么不同？

机械波的反射和折射的规律，其实与光波的反射与折射的规律相同，都是斯涅耳定律，简单地说，就是反射时，反射角等于入射角，斜入射时，入射角的正弦与折射角的正弦之比等于波在两侧介质中的传播速度之比，即 = ，式中 *θ*1 和 *θ*2 分别是入射角和折射角，*v*1 和 *v*2 分别是波在两种介质中的传播速度。

如果一列平面声波从空气斜射到水面，会同时发生反射和折射，由于空气和水都是流体，只能传播纵波，因此入射波、反射波及折射波都是纵波，图 1 定性地画出了这三列波的传播方向，其中带箭头的射线称为波线，它表示波的传播方向。反射角 *θ*1ʹ 与入射角 *θ*1 相等，遵守反射定律，折射角 *θ*2 大于入射角 *θ*1，这是因为声波在水中的传播速度 *v*2 大于它在空气中的传播速度 *v*1。

反射波线

入射波线

图 1 声波在空气与水界面的反射与折射

空气

水

折射波线

*θ*2

*θ*1

*θ*1ʹ

如果声波是从空气射向某种固体表面，也要同时发生反射和折射，反射波回到空气中传播，仍然是纵波，而折射进入固体中的传播情况则有所不同：固体既可以传播纵波，也可以传播横波，因此折射波要分成纵波和横波两部分，并且在固体中横波与纵波的波速不同，从而波的折射率也不同，进入固体后的纵波与横波的传播方向就会不同。图 2 定性地画出了它们的传播方向，其中横波的折射角 *θ*2横 与纵波的折射角 *θ*2纵 都大于入射角 *θ*1，并且 *θ*2纵 > *θ*2横，这是因为在固体介质中，纵波的传播速度 *v*2纵 大于横波的传播速度 *v*2横，它们都大于声波在空气中的传播速度。

反射波线

入射波线

图 2 声波在空气与固体界面的反射与折射

空气

固体

纵波波线

*θ*2纵

*θ*1

*θ*1ʹ

*θ*2横

横波波线

如果逐渐增大入射角 *θ*1，折射角 *θ*2纵 和 *θ*2横 都要随之增大，当 *θ*2纵 增大到 90° 时，折射纵波消失，但这时还不能称为全反射，因为折射横波还存在，只有再增大入射角 *θ*1，当折射角 *θ*2横 达到 90° 时，折射波才全部消失，波的能量全部反射回了空气中。

显然，机械波的折射现象比起光波（电磁波）来说，要复杂得多，这大概就是我们在讲机械波时不讲折射定律的主要原因吧。

## 三、机械波的反射和折射现象难以直接观察到

在光学教学时讲光的反射和折射定律，有一个有利的条件，那就是可以直接用眼睛观察到“光线”，并且可以较方便地测量入射角、反射角和折射角，以便学生通过实验探究光的反射和折射规律。特别是现在有了激光笔，它射出的一细光束照射到两种介质的交界面上，会让人清楚地观察到反射光束和折射光束。虽然我们眼睛看到的细光束与表示传播方向的光线并不完全是同一个概念，但把这些细光束视为光线，对理解物理规律是有利的。

但机械波不同，我们前面所举的例子中的声波是看不见的，用眼睛可以直接看见的机械波，包括沿绳传播的横波、沿弹簧传播的纵波等，看到的都不是波线。另一种常见的机械波是水面波，一石激起千层浪，说的就是水面波，而水面波我们看见的是向外扩散的波形，同样看不到波线。因此，如果我们在力学教学中讲机械波的反射和折射的规律，是难以通过简单的实验让学生直接观察到波线并测量入射角、反射角、折射角的，也不能让学生通过简单的实验探究反射和折射的规律，这大概也是中学物理教学不在力学部分讲机械波的反射和折射规律的原因之一。

为此，在讲到机械波的反射和折射时，只定性地捉到机械波也有反射和折射现象，并不讲述其遵守的规律。至于机械波的反射和折射的例子，一般反射可举的例子较多，对于折射，一般只提到海湾处的波浪最后总是沿垂直于海岸的方向传播（所谓惊涛拍岸），至于更深入的原因及遵守的规律都不会涉及。