# 第十三章 光的波粒二象性

## 本章学习提要

1．理解光的干涉、光的衍射。

2．知道光的电磁说，\*光的偏振。

3．知道光电效应、光子说。

4．知道光的波粒二象性，知道人们对光的认识历程。

\*5．知道物质波。

本章的重点内容是认识光的波粒二象性，对光的本性的学习，基于对机械波的学习，又比机械波更抽象更深入。通过对光的干涉、衍射、光的偏振等波所特有的现象的学习，认识光具有波动性；通过对光电效应、爱因斯坦用光子模型解释光电效应现象等的学习，认识光具有粒子性。本章关于光的本性的学习，是学习近代物理的切入点，对今后进一步认识微观物理现象有重要意义。通过人们对光的本性的认识历程的了解，认识人们探究微观物质世界的曲折历程和不断深化的认识方法，感悟科学发展是曲折的、辩证的，而且是永无止境的。在本章有许多有关光的创造发明的生动事例，它们会使我们深刻感受科学的价值。

# A 光的干涉和衍射

## 一、学习要求

知道光的干涉现象及其产生的条件；知道光的衍射现象以及观察到明显衍射现象的条件。在学生实验“观察光的干涉、衍射现象”中，会把观察到的光的干涉现象和衍射现象描述和记录下来；理解光的干涉、衍射是说明光具有波动性的重要科学依据。

通过实践，体验获得清晰、稳定的干涉图样的关键所在——寻找“相干光源”，体验“杨氏双缝干涉实验”所蕴涵的巧妙的科学思想方法。

通过探究，发现干涉图样和衍射图样的区别以及与图样变化有关的因素，并总结出干涉和衍射图样各自具有的特点。

通过本节学习，感悟物理实验在科学发现中的重要作用。在实验中提高认真细致、善于观察的科学素养。

## 二、要点辨析

### 1．与杨氏双缝干涉实验有关的几个问题

（1）托马斯·杨在光的干涉实验中的突破。

光的干涉实验的关键是寻找到满足干涉条件的相干光源，托马斯·杨巧妙地利用如图13 -1所示的装置，使光束通过单孔屏形成很细的一束光，被双孔屏分成“同出一源”的两束相干光，实现了光的干涉。在此实验的基础上，托马斯·杨又用狭缝代替小孔得到既清晰又明亮得多的干涉图样。

用狭缝代替小孔，狭缝成为线光源，而线光源可以认为由许多个发光点沿一条线排列组成的，每个点光漂分别产生自己的干涉图样，在屏上的干涉条纹则是各个点光源的干涉图样的叠加，由于这些点光源与双缝的相对位置完全一样，产生的干涉图样完全相同，它们叠加起来形成清晰的线状图样，易于观察。

（2）在双缝干涉实验中，如果用红色滤光片遮住一个狭缝S1，再用绿滤光片遮住另一个狭缝S2，当用白光入射时，屏上会产生双缝干涉图样吗？

这时在屏上将会出现红光单缝衍射光振动和绿光单缝衍射光振动的叠加。由于红光和绿光的频率不同，因此它们在屏上叠加时不能产生干涉，此时屏上将出现混合色两单缝衍射图样。

（3）在双缝干涉实验中，如果遮闭其中一条缝，则在屏上出现的条纹有何变化？原来亮的地方会不会变暗？

如果遮住双缝其中的一条缝，在屏上将由双缝干涉条纹演变为单缝衍射条纹，与干涉条纹相比，这时单缝衍射条纹亮度要减弱，而且中央明纹的宽度要增大。

（4）双缝干涉的亮条纹或暗条纹是两列光波在光屏处叠加后加强或抵消而产生的，这是否违反了能量守恒定律？

暗条纹处的光能量几乎是零，表明两列光波叠加，彼此相互抵消，这是按照光的传播规律，暗条纹处是没有光能量传到该处的原因，不是光能量损耗了或转变成了其他形式的能量。同样，亮条纹处的光能量比较强，光能量增加，也不是光的干涉可以产生能量，而是按照波的传播规律到达该处的光能量比较集中，双缝干涉现象不违反能量守恒定律。

### 2．干涉现象以及产生稳定干涉的条件

两列振动情况完全相同的光波在空间相遇时发生叠加，在某些区域总加强，在另外一些区域总减弱。出现明暗相间的条纹或者彩色条纹的现象叫做光的干涉。

只有两列光波的频率相同，振动方向一致的相干光源，才能产生稳定的光的干涉图样。

由两个普通独立光源发出的光，不可能达到频率和振动情况完全相同，不能成为相干光源，因此，不能产生干涉现象。

### 3．光的衍射现象以及产生明显衍射现象的条件

光绕过障碍物偏离直线传播路径而进入阴影区里的现象，叫光的衍射。图13 -2为演示衍射现象的典型实验装置。光屏上出现明暗相间的条纹（用白光照射时为彩色条纹）的原因是：入射光照射缝时，缝中各点都可看作一个点光源，由它们发出的光在屏上互相叠加，在几何阴影区内形成明暗相间条纹。

任何障碍物都可以使光发生衍射现象，但发生明显衍射现象的条件是“苛刻”的。当障碍物的尺寸远大于光波的波长时，光可看成沿直线传播，注意，光的直线传播只是一种近似的规律，当光的波长比孔或障碍物小得多时，光可看成沿直线传播；在孔或障碍物可以跟光的波长相比拟，甚至比它还要小时，衍射就十分明显。由于可见光波长范围为3. 84×10-7～7.69×10-7 m之间，所以日常生活中很少见到明显的光的衍射现象。光的衍射和光的干涉都证明了光具有波动性。

### 4．双缝干涉和单缝衍射的比较

双缝干涉和单缝衍射都是波叠加的结果，通常我们将有限的几束光的叠加叫做干涉；而衍射是极多且复杂的相干光的叠加，一般现象中既有干涉又有衍射，在研究双缝干涉时也会涉及衍射现象。

在双缝干涉中，屏上出现明暗条纹的位置和宽度与两缝间距离、缝到屏的距离以及光波的波长有关，且相邻两明条纹和相邻两暗条纹之间的距离是相等的。实验表明：两缝间距离越小、缝到屏的距离越大，光波的波长越大，条纹的宽度就越大，当实验装置一定，红光的条纹间距最大，紫光的条纹间距最小。

让激光发出的单色光照射到狭缝上，当狭缝很宽时，缝的宽度远远大于光的波长，衍射现象极不明显，光沿直线传播，在屏上产生一条跟缝宽度相当的亮线；但当缝的宽度调到很窄，可以跟光波波长相比拟时，光通过缝后就明显偏离了直线传播方向，照射到屏上相当宽的区域，并且出现了明暗相间的衍射条纹。狭缝越小，衍射范围越大，衍射条纹越宽，但亮度越来越暗。

干涉和衍射的图样相类似，都是明暗相间的条纹。双缝干涉中各明纹或暗纹的宽度基本相等，各明纹亮度基本相同；而衍射条纹宽度不等，中央明纹最宽，各明纹亮度也不同，中央明纹最亮。

## 三、例题分析

**示例1** 一束平行光照射在双缝上，在缝后屏上得到干涉条纹，下列判断正确的是（ ）

（A）改变双缝到屏的距离，条纹间距不变

（B）入射光波长变短，光强不变，条纹间距不变

（C）入射光频率变化时条纹间距跟着变化

（D）在水里做双缝干涉实验，同样条件下的条纹间距会变小

**分析** 双缝干涉实验表明：双缝到屏的距离越大、入射光波长越长，干涉条纹间距越大；干涉条纹的间距与入射光的强度无关。由此可见，（A）、（B）不正确，（C）是对的。

在水中做干涉实验，入射光频率一定时，由于光在水中的速度减小，波长减小，所以同样条件下的条纹间距会变小，D也正确。

**解答** （C）、（D）。

**示例2** 如图13-3所示，P、Q是两个相干光源，由它们发出的光在图中平面内产生干涉。那么，能表示相干结果相同点的轨迹的图线是（ ）



**分析** “相干结果相同”是指都是振动加强或都是振动减弱的情况，我们利用波的干涉的图样（图13－4）进行类比分析，可以得出光的干涉结论。图13－4中各条a线（振动加强，峰与峰、谷与谷相遇点连成的线）或b线（振动减弱，波峰、波谷相遇点连成的线）上各点到两波（光）源S1、S2的距离之差一定，由圆锥曲线的知识可知，到两定点的距离之差等于定长的点的轨迹为双曲线，所以相干结果相同的点的轨迹是一簇双曲线。各相干结果相同的点的连线是对称的两条双曲线。



**解答** （B）。

**示例3** 在白炽灯的照射下能从两块捏紧的玻璃板的表面看到彩色条纹，通过狭缝观察发光的白炽灯也会看到彩色条纹。这两种现象（ ）

（A）都是光的衍射现象

（B）前者是光的色散，后者是光的衍射

（C）前者是光的干涉现象，后者是光的衍射现象

（D）都是光的波动性的表现

**分析** 由于玻璃表面并不十分平整，在两块捏紧的玻璃板之间会形成一层厚度不一致的空气薄层，在白炽灯照射下，不同的色光在厚度不同的地方，从空气层的上、下表面反射的光会产生干涉现象，互相叠加的结果形成彩色条纹。

通过狭缝观察发光的白炽灯，不同的色光产生衍射，互相叠加也形成彩色条纹，所以（C）正确，（A）、（B）都错。

干涉和衍射都是光的波动性的表现，（D）正确。

**解答** （C）、（D）。

**示例4** 如图13－5所示的刀片的影的轮廓为什么模糊不清？



**分析** 如图13－5所示现象为光的衍射现象，与产生“泊松亮斑”的原因相同。

**解答** 各种不同形状的物体都能使光发生衍射，刮胡须刀片的阴影模糊不清，是光通过刀片边缘发生衍射的结果。“泊松亮斑”（图13－6）的形成也是小圆板边缘衍射的结果。当我们用刀片制成0.1 mm的狭缝时，虽然缝宽为光波波长的几百倍，仍然能看到明显的衍射条纹，也是由于光在刀片的边缘发生衍射的结果。



## 四、基本训练

1. 两列\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的光波相遇时会出现干涉现象，光的干涉现象说明光具有\_\_\_\_\_\_\_性。
2. 薄膜干涉是由于光照射到薄膜上时，从膜的\_\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_\_分别反射，形成\_\_\_\_\_\_\_\_\_相同的两列波，发生干涉现象。
3. 双缝干涉实验装置中，单缝的作用是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，双缝的作用是\_\_\_\_\_\_\_\_\_，屏上观察到的现象是\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
4. 红光和紫光通过双缝干涉装置所成的干涉条纹的相同处是\_\_\_\_\_\_\_\_\_，不同处是\_\_\_\_\_\_\_\_\_。白光形成的双缝干涉条纹的中央是\_\_\_\_\_\_\_\_\_，外侧是\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
5. 肥皂泡在太阳光照射下呈现的彩色是\_\_\_\_\_\_\_\_\_现象；露珠在太阳光照射下呈现的彩色是\_\_\_\_\_\_\_\_\_现象；通过狭缝观看烛光时呈现的彩色是\_\_\_\_\_\_\_\_\_现象。
6. 凡是波都具有衍射现象，而把光看做直进的条件是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；要使光产生明显的衍射条件是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
7. 下列情况中，能产生明显衍射的是（ ）

（A）光的波长比孔或障碍物的尺寸大得多

（B）光的波长与孔或障碍物的尺寸可相比

（C）光的波长等于孔或障碍物的大小

（D）光的波长比孔或障碍物的尺寸小得多

1. 下列有关泊松亮斑的说法正确的是（ ）

（A）泊松亮斑只能在实验中看到，无法用波动理论解释

（B）泊松亮斑既可以在实验中看到，又可以用波动理论证明

（C）泊松亮斑只是一种理论假设，没有被实验证明

（D）泊松亮斑是指用光照射不透明的圆盘时阴影的中心出现一个亮斑

1. 在双缝干涉实验中，屏上出现的条纹情况是（ ）

（A）中心处的明条纹宽度比两侧的明条纹宽度大

（B）各种不同色光的明条纹间距一样大

（C）相同装置中红光的明条纹间距比紫光的明条纹间距大

（D）相同装置中紫光的明条纹间距比红光的明条纹间距大

1. 由两个不同光源所发出的两束白光照在同一点上，不会产生干涉现象，这是因为（ ）

（A）白光是由很多不同波长的光所组成的

（B）两个光源发出的光，其光强不相同

（C）不同波长的光的速度不同，

（D）两个光源是彼此独立、不相干的光源

1. 一束白光通过双缝后在屏上观察到的干涉条纹，除中央白色条纹外，两侧还有彩色条纹，其原因是（ ）

（A）各色光的波长不同，因而各色光分别产生的干涉条纹间距不同

（B）各色光的速度不同，造成条纹间距不同

（C）各色光的强度不同

（D）各色光通过双缝的距离不同

1. 用单色光做双缝干涉实验，P从中央O点开始计数，光屏上某点P恰处于第三条亮纹。现改用频率较高的单色光照射，装置的其他条件不变，那么（ ）

（A）P处仍为第三条亮纹

（B）P处可能是第四条亮纹

（C）P处可能是第二条亮纹

（D）若将光屏向双缝移近一些，在P处可能看到第二条亮纹

1. 用单色平行光照射单缝，观察单缝衍射现象，下列说法中正确的是（ ）

（A）缝越窄，衍射现象越显著

（B）缝越宽，衍射现象越显著

（C）照射光的波长越长，衍射现象越显著

（D）照射光的波长越短，衍射现象越显著

1. 下列对衍射现象的定性分析，不正确的是（ ）

（A）光的衍射是光在传播过程中绕过障碍物发生弯曲传播的现象

（B）障碍物的宽度与光的波长相差不多时有明显衍射现象

（C）光的衍射现象为光的波动说提供了有力的证据

（D）光的衍射现象完全否定了光的直线传播结论

1. 下列关于衍射的说法中，正确的是（ ）

（A）衍射现象中衍射花样的明暗条纹的出现是光干涉的结果

（B）双缝干涉中也存在着光衍射现象

（C）影的存在是一个与衍射相矛盾的客观事实

（D）一切波都可以产生衍射

## 五、学生实验

**观察光的干涉和衍射现象**

1．实验目的

利用自制的双缱，观察光的干涉条纹的间距随双缝的间隙、光屏到缝的距离变化的情况。

利用自制的双缝和可调节间隙的狭缝，观察光的衍射条纹的间距随狭缝间隙宽度变化的情况。

2．实验器材

激光，自制的双缝屏，自制的狭缝屏，光屏。

3．实验原理

当激光通过双缝时，被分为两束振动情况相同的两束光，照射到光屏上产生叠加形成光的干涉现象，当激光通过狭缝时，光离开直线路径绕到障碍物阴影里去，形成光的衍射现象。

4．实验步骤

（1）自制双缝屏。将两片刀片合在一起，在涂有墨汁的玻璃片上划出有很小间隙（约0.1 mm）的双缝，再在两刀片间夹上纸片，在涂有墨汁的玻璃片上划出不同间隙的双缝。

（2）自制狭缝。用两片中央有孔的硬纸片夹住两片刀片，形成一个可以调节缝宽的狭缝。

（3）按图13 -5所示的方法，让激光束通过自制的双缝屏，观察在光屏上出现的现象；换用不同间隙的双缝，保持缝到光屏的距离不变，记录下观察到的现象；

保持双缝的间隙不变，改变光屏到缝的距离，记录下观察到的现象。

观察结果：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

（4）按图13 -5所示的方法，让激光束通过自制的狭缝屏，观察在光屏上出现的现象；保持缝到光屏的距离不变，调节狭缝的缝宽，记录下观察到的现象。

观察结果：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

5．实验结论

结论1：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；

结论2：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

6．问题讨论

（1）用白光做双缝干涉实验或单缝衍射实验时，将观察到怎样的现象？为什么？

（2）比较双缝干涉图样与单缝衍射图样，它们有何相似与不同？

# B 光的电磁波说 \*光的偏振

## 一、学习要求

知道光在本质上是一种电磁波；记住光在真空中的速度c＝3.00×108 m/s。知道不同色光的频率不同，会用公式*c*＝*λν*（式中：*ν*为光的频率，*λ*为光的波长）计算光的波长；知道无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线和γ射线在传播过程中的共同特点。

通过电磁波说的形成过程认识类比推理方法，通过光的偏振实验认识归纳推理方法。

通过本节学习感悟光的理论发展有一个逐步深化的过程。并从本节中了解偏振在技术中的应用价值。

## 二、要点辨析

### 波长和频率的关系：

（1）光的颜色由光的频率决定，与光的波长和波速无关。

（2）各种色光在真空中的速度都相同，都是3.00×108 m/s，光从真空中进入其他介质时，光的传播速度将减小。

（3）光从一种介质进入到另一种介质，其频率不变，波长和波速将改变。真空中各种色光满足*c*＝*λ*0*ν*（*λ*0为此种光在真空中的波长）；光在其他介质中满足*v*＝*λν*（*v*为此种光在该介质中的速度，*λ*为此种光在该介质中的波长）。

（4）在同种均匀介质中，可见光从红光到紫光的各种光学性质如下表所示。

|  |
| --- |
| 红光→紫光 |
| 频率 | 低→高 |
| 折射率 | 小→大 |
| 光速 | 大→小 |
| 波长 | 长→短 |

## 三、例题分析

\***示例** 关于电磁波的产生，下列说法中正确的是（ ）

（A）X射线是原子的内层电子受激发而产生的

（B）红外线与无线电波产生的机理相同

（C）紫外线与X射线产生的机理相同

（D）所有的电磁波都是由原子的内、外层电子受激发产生的

**分析** 电磁波按照产生的原因不同，赋予不同的名称，它们的本质是相同的。自由电子的周期性振荡产生无线电波，原子的外层电子受到激发后产生红外线和可见光，原子的内层电子受到激发后产生紫外线和X射线，原子核受到激发后产生γ射线。

**解答** 正确选项为（A）、（C）。

## 四、基本训练

1. 下列有关电磁波的特性和应用，说法正确的是（ ）

（A）红外线和X射线都有很高的穿透本领，常用来在医学上做人体透视

（B）过强的紫外线照射有利于人的皮肤健康

（C）电磁波中频率最大的γ射线，最容易用来观察衍射现象

（D）紫外线和X射线都可以使感光底片感光

1. 将光波与声波比较，下列说法中，错误的是（ ）

（A）光波是电磁波，能在真空中传播；声波是机械波，不能在真空中传播

（B）光波是横波，声波是纵波

（C）光波与声波都有反射、折射、干涉和衍射现象

（D）当光波和声波由空气进入水中以后，它们各自的频率都不变，波速和波长都减小

1. 认为光波和无线电波都是电磁波的理由有以下几种说法，不正确的理由是（ ）

（A）真空中传播速度相同

（B）都能发生反射、衍射、折射等现象

（C）传播都不依靠别的介质

（D）都是由振荡电路中自由电子的运动产生的

1. 下列各组电磁波，按波长由长到短正确排列的是（ ）

（A）γ射线、红外线、紫外线、可见光

（B）红外线、可见光、紫外线、γ射线

（C）可见光、红外线、紫外线、γ射线

（D）紫外线、可见光、红外线、γ射线

1. 对红外线的作用和来源，正确的叙述有（ ）

（A）一切物体都在不停地辐射红外线

（B）红外线有很强的荧光效应

（C）红外线最显著的作用是热作用

（D）红外线容易穿过云雾烟尘

1. 关于光的偏振，下列说法正确的是（ ）

（A）所有的波都具有偏振现象

（B）横波具有偏振现象，纵波没有偏振现象

（C）垂直于波传播方向的狭缝能使横波产生偏振

（D）偏振是横波的特性之一

1. 各种电磁波按波长由小到大排列的次序是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，其中可见光的频率范围是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。具有显著热作用的是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；具有显著化学作用的是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；穿透本领特别强的是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 在垂直于光传播方向的平面内包含\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的光，叫做自然光。经过起偏器后，在垂直传播方向的平面内的光只沿\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_振动，这种光叫做偏振光。
3. 广播收音机中波段的接收频率是535～1605 kHz，可见光的波长范围是400～770 nm，则可见光的频率范围是无线电波中波段频率范围的多少倍？（提示：根据波长、波速的关系，算出可见光的频率范围，两者相比即得。）
4. “……研究表明，从无线电波到了射线，本质上都是电磁波，光是一种电磁波，……”请你简要回答有哪些研究能证实以上结论。为什么说光是一种电磁波？

# C 光电效应 光子说

## 一、学习要求

知道光电效应现象和光电效应的主要规律，知道爱因斯坦“光子说”的主要观点，了解光电管的应用和光电技术的发展。

通过“光子说’’的形成过程认识科学假说。

通过本节学习进一步感悟光的理论发展是一个不断深化的过程，并从本节中了解光电效应在技术中的应用价值。

## 二、要点辨析

### 1．光电效应有哪些主要规律？

在光电效应实验中，人们发现光电效应的主要规律是：对任何一种金属，都存在一极限频率，入射光的频率必须大于这个极限频率，才能产生光电效应，低于这个频率的光不能产生光电效应；入射光照到金属上时，光电子的发射几乎是瞬时的，一般不超过10-9 s。

此外，光电效应还有两条重要的规律：光电子的最大初动能与入射光的强度无关，只随着入射光频率的增大而增大；当入射光的频率大于极限频率时，单位时间内发射出的光电子数与入射光的强度成正比。

### 2．波动理论在解释光电效应中遇到的主要困难是什么？

波动理论认为，光的能量是由光的强度决定，而光的强度又是由光波的振幅决定，与频率无关。因此，无论光的频率如何，只要光的强度足够大或照射时间足够长都能使电子获得足够的能量产生光电效应，然而这跟光电效应实验结果是直接矛盾的。极限频率的存在，即频率低于某一数值的光不论强度如何都不能产生光电效应，这是波动理论不能解释的，同样，波动理论也不能解释光电子的最大初动能只与光的频率有关而与光的强度无关。产生光电效应的时间之短，也跟波动理论尖锐矛盾，按波动理论，一束很弱的光波照射到物体上时，它的能量将分布到大量的原子上，不可能在极短的时间里把足够的能量集中到一个电子上面使它从物体中飞出来。

### 3．光电子和光子

赫兹在研究电磁波时发现：在光的照射下，从物体表面会发射出电子来（光电效应）。这一现象无法用光的波动理论加以解释。从物体表面发出的电子叫做光电子，它实质还是电子。注意，在光电效应中，一个电子只能吸收一个光子的能量，不然将违反极限频率存在这一规律。

1900年，普朗克提出了电磁波的能量是一份一份的，每一份能量*E*＝*hν*，*ν*是电磁波的频率，*h*叫普朗克常量，其数值为6.63×10-34 J·s。在普朗克学说的启发下，爱因斯坦提出了光子说，即空间传播的光是不连续的，是一份一份的，每一份叫做一个光子，一个光子的能量为*E*＝*hν*，*ν*为光的频率，光子说能很好地解释光电效应。

### 4．极限频率和光强

能够使金属发生光电效应的入射光的最低频率叫做极限频率，金属表面上的电子，吸收光子能量后，克服原子核的束缚，从金属表面逃逸出来成为“光电子”，金属表面上的电子克服原子核束缚逃逸出来所需做功的最小值叫做逸出功。若逸出功为*W*，极限频率为*ν*0，则*ν*0＝。

光强是指单位时间内入射到金属表面单位面积上的光子的总能量，若单位时间垂直射到单位面积的光子数为*n*，每个光子能量为*hν*，则光强为*nhν*。注意：光强相同的两束光，频率越高，光子数越少；频率越低，光子数越多。

## 三、例题分析

**示例1** 在演示光电效应的实验中，把某种金属板连在验电器上。第一次，用弧光灯直接照射金属板，验电器的指针张开一个角度。第二次，在弧光灯和金属板之间，插入一块普通的玻璃板，再用弧光灯照射，验电器指针不张开。由此可以判定，使金属板产生光电效应的是弧光中的（ ）

（A）可见光成分 （B）紫外光成分

（C）红外光成分 （D）无线电波成分

**分析** 用弧光灯直接照射金属板，金属板逸出光电子后带正电，使验电器的指针张开。插入普通玻璃板后，因为玻璃板能吸收紫外线，而可见光依然能通过玻璃板照到金属板上，验电器指针不张开，所以，可以判定，使金属板产生光电效应的是弧光中的紫外线成分。

**解答** （B）。

**示例2** 简要说说爱因斯坦是如何用“光子说”解释光电效应现象的。

**解答** 当光子照射到金属上时，它的能量可以被金属中的某个电子全部吸收。电子吸收光子能量后，动能立刻就增加了。如果电子动能足够大，能够克服内部原子核对它的引力，就可以离开金属表面逃逸出来，成为光电子，这就是光电效应。金属表面上的电子，只有获得足够的能量，才能克服金属原子核的引力从金属中逃逸出来。光子频率小于某个值时，电子获得的能量不足以克服金属原子核的束缚从金属中逃逸出来，则不会发生光电效应，因此存在极限频率，光照射金属时，一个光子的能量全部被某个电子吸收，该电子的动能立即增大，不需要有一个积累能量的过程，因此，光电子的产生都几乎是瞬时的。

## 四、基本训练

1. 当用紫外线照射锌板时，锌板会带\_\_\_\_\_\_\_电，说明锌板\_\_\_\_\_\_\_电子，这种现象叫做\_\_\_\_\_\_\_。为了解释上述现象的规律，著名科学家\_\_\_\_\_\_\_提出了“光子说”。
2. “光子说”指出，在空间传播的光不是连续的，而是\_\_\_\_\_\_\_，每一份叫做一个\_\_\_\_\_\_\_，它的能量等于\_\_\_\_\_\_\_，其中*h*称为普朗克常量，*h*＝6.63×10-34 J·s。在某种介质中，光子的能量为4.4×10-19 J，波长为3×10-7 m，则该光的频率为\_\_\_\_\_\_\_Hz。
3. 从光的\_\_\_\_\_\_\_现象以及光的\_\_\_\_\_\_\_说，我们认识了光的波动性；而从光的\_\_\_\_\_\_\_现象，认识了光还具有\_\_\_\_\_\_\_，物理学家的研究成果告诉我们光具有\_\_\_\_\_\_\_。
4. 对于光电效应的研究结果，下列叙述中不正确的是（ ）

（A）入射光的频率必须大于极限频率时才能产生光电效应

（B）光电子的发射几乎是瞬时的

（C）发生光电效应时，单位时间里照射到金属表面的光子数目越多，则单位时间内从金属表面逸出的光电子数会越多

（D）发生光电效应时，从金属表面逸出的光电子的速度大小均相等

1. 可见光、无线电波和X射线所对应的每个光子的能量最大的和最小的分别是（ ）

（A）X射线和可见光 （B）X射线和无线电波

（C）可见光和X射线 （D）可见光和无线电波

1. 可见光光子能量的数量级为（ ）

（A）10-13 J （B）10-16 J （C）10-19 J （D）10-22 J

1. 用一束紫外线照射某金属时不能产生光电效应，采用下列措施，可能产生光电效应的是（ ）

（A）换用强度更大的紫外线照射 （B）换用X射线照射

（C）换用极限频率较大的金属 （D）换用极限波长较大的金属

1. 光电管问世后不久，工程师把它应用到电影技术中，发明了有声电影，如图所示是电影放映机的原理示意图。请你简要说明有声电影的制作和放映过程。



1. 当用一束紫外线照射安装在原不带电的验电器金属球上的锌板时，发生了光电效应，这时发生的现象是（ ）

（A）验电器内的金属箔带正电 （B）有电子从锌板上飞出来

（C）有正离子从锌板上飞出来 （D）锌板吸收空气中的正离子

1. 三种不同的入射光A、B、C分别射在三种不同的金属a、b、c表面，均恰能使金属中逸出光电子，若三种入射光的波长*λ*A＞*λ*B＞*λ*C，则（ ）

（A）用入射光A照射金属b和c，金属b和c均可发出光电效应现象

（B）用入射光A和B照射金属c，金属c可发生光电效应现象

（C）用入射光C照射金属a与b，金属a、b均可发生光电效应现象

（D）用入射光B和C照射金属a，均可使金属a发生光电效应现象

1. 下列关于光子的说法中，正确的是（ ）

（A）在空间传播的光不是连续的，而是一份一份的，每一份叫做一个光子

（B）光子的能量由光强决定，光强大，每份光子的能量一定大

（C）光子的能量由光的频率决定，其能量与它的频率成正比

（D）光子可以被电场加速

1. 光电管是一种把\_\_\_\_\_\_\_信号转换成\_\_\_\_\_\_\_信号的器件，它主要用于自动化装置及\_\_\_\_\_\_\_等技术装置里。
2. 在水中，波长为400 nm的光子的能量为\_\_\_\_\_\_\_J（已知光在真空中的速度与在水中的速度之比为1.33，普朗克常量*h*＝6.63×10-34 J·s）。
3. 能使金属钠产生光电效应的单色光的极限频率是6.0×1014 Hz。根据能量守恒定律，用频率是7.0×1014 Hz的紫光照射金属钠，产生光电子的最大初动能是\_\_\_\_\_\_\_J。

# D 光的波粒二象性 \*物质波

## 一、学习要求

知道光既有波动性又有粒子性，光是具有波粒二象性的微观物质。

通过提出问题，阅读、交流，讨论总结等过程认识光的本性。并能运用建模方法对光现象进行解释。

回顾人类对光本性认识的历程，感悟科学发现的曲折艰辛。

## 二、要点辨析

### 1．牛顿的微粒说与惠更斯的波动说

（1）牛顿的微粒说

基本观点：认为光是像弹性小球一样的微粒流，人的视觉是光粒子进入人的眼睛引起的，事实基础：光的直线传播、光的反射现象。

困难问题：无法解释在两种介质界面上同时发生的反射现象、折射现象，以及几束光交叉相遇后会毫无妨碍地继续向前传播（光的独立传播规律）等。

（2）惠更斯的波动说

基本观点：认为光是某种振动所激起的波（机械波）。

事实基础：光的反射和折射、光的独立传播现象跟水波、声波相似。

困难问题：难以解释光的直进现象、光能在真空中传播等。

### 2．微粒说和波动说的争论

微粒说是把光的直线传播作为主要论据的，认为光是微粒流，从光源发出，在均匀介质中遵守力学规律做匀速直线运动，牛顿用弹性小球撞击平面时发生反弹来类比光的反射；用介质对光微粒的吸引来解释光的折射，根据牛顿的分析，由于介质对微粒的引力将使微粒速度改变，由空气进入介质时，速度要增大。牛顿还对色散、衍射等现象作了解释，尽管有的是十分牵强的。

惠更斯是光的波动说的代表。他于1678年写成并于1690年出版的《关于光的专题论文》一书中提出了“光同声一样，是以球形波面传播的”。他认为必须把光振动看作是在一种特殊的介质——一“以太”中传播的弹性脉动，而“以太”这种特殊的介质充满了宇宙的全部空间，惠更斯指出：光的一切特性以及属于光的反射和折射的一切问题，都能用这种方法在原则上加以说明。惠更斯根据他的波动说，解释了反射、折射等现象，但惠更斯的波动说是很不完善的，没有建立起波的周期性的概念，甚至可以说他否认波具有一定的周期性，在他描述波动的基本要素中没有提出波长的概念，因而，利用惠更斯原理说明光的直线传播时就很勉强，有许多光的现象无法得到解释；当时也还没弄懂光的颜色跟光波的频率之间的联系，因此波动说也很难解释牛顿发现的光的色散问题。

光的微粒说和波动说几乎是同一时代形成的，但是为什么在19世纪以前的100多年时间里一直是微粒说占主导地位呢？其原因可能有这么几点：①17世纪到18世纪经典力学已经建立，并且在各方面取得了巨大的成就，这就容易使人们用经典力学的机械论观点去理解光的本性；②当时的实验条件还不足以证明哪种学说是错误的，而牛顿的威望比惠更斯高，容易为人们所迷信；③惠更斯提出的波动说本身还很粗糙，很不完善。

### 3．如何用物理建模的思想方法正确理解光的本性？

我们在思考物理概念或者物理规律时，往往在头脑中产生一个模型，用它代表不能直接看到的东西。例如，讲到气体分子的热运动时，我们把气体分子想像成一个个刚性小球，在容器中做无规则运动；当我们讲到电流时我们想到水流，带电微糙在导体里的流动就像水流一样，当我们观察到光的波动性时，就会联想到水波；观察到光的粒子性时又会联想到飞行着的子弹。光既表现出波动性又表现出粒子性，这时就为难了，因为在我们的经验中找不到既是波，又是粒子的东西。

为什么会产生这种困难呢？因为我们的经验局限于宏观物体的运动，微观世界的某些属性与宏观世界不同，我们从来没有过类似的经历。随着人类的认识范围不断扩展，不可能直接感知的事物出现在我们面前，在这种情况下我们就要设想一种模型，尽管以日常经验来衡量，这个模型的行为十分古怪，但是只要能与实验结果一致，它就能够在一定范围内正确代表所研究的对象。

## 三、例题分析

**示例1** 下列关于光的波粒二象性的说法中，正确的是（ ）

（A）有的光是波，有的光是粒子

（B）光子与电子是同样的一种粒子

（C）光的波长越长，其波动性越显著；波长越短，其粒子性越显著

（D）大量光子产生的效果往往显示出粒子性

**分析** 既不能认为光是宏观的机械波，也不能认为是宏观的粒子。在某些条件下我们可以观察到它的波动性，在某些条件下我们可以观察到它的粒子性，所以说光是一种具有波粒二象性的微观物质。

**解答** （C）。

**示例2** 为了说明光的本性，牛顿和惠更斯分别将光比作什么？这两种学说在解释光现象上各有哪些成功之处和不足之处？

**解答** 牛顿将光比作沿直线前进的“弹丸”，惠更斯把光比作和“水波”一样的机械波。牛顿的微粒说可以解释光的直线传播、反射规律以及光在障碍物后形成的影等现象，但在解释光的折射、独立传播现象时遇到困难，惠更斯的波动说可以解释光的折射、独立传播等现象，无法说明为什么光能在真空中传播，而机械波的传播是需要介质的。

**示例3** 牛顿通过跟弹性粒子的类比提出光的微粒说；惠更斯通过跟水波、声波的类比提出光的波动说。谈谈如何认识类比法的成功与不足。

**解答** 大家都知道，类比法是古今中外的科学家常用的一种思想方法，由这种思想方法得出的结论虽然不一定可靠，但在逻辑思维中却很富有创造性。例如，库仑把静电相互作用与万有引力类比；磁又与电类比等等，惠更斯也是利用类比法的思想来研究光的本性的。惠更斯说：“我们对声音在空气中传播所知道的一切，可能会导致我们理解光的传播方式。”惠更斯正是应用具有创造性的思维方式——类比法，才确信光也“像声音一样”，是以“波的形式来传播的”。

但需要注意，类比法是一种由特殊到特殊的逻辑思维方法，所以由类比法推出的结论往往带有一定的局限性。这是因为进行类比的两个对象除了有相似的一面以外，还有差异的一面，正足这种差异，限制了类比法的作用，惠更斯的光的波动说之所以没有战胜牛顿的微粒说，除了有许多其他方面的原因外，其中一个重要的原因就是他在应用类比法时没有充分注意到光与声的不同点，以至于使他自己陷入困境。

## 四、基本训练

1. 17世纪荷兰物理学家\_\_\_\_\_\_\_提出光的波动说，认为光是\_\_\_\_\_\_\_。
2. 著名物理学家牛顿提出光的\_\_\_\_\_\_\_说，认为光是\_\_\_\_\_\_\_。
3. 有下列几种光现象：

（A）光的直线传播；

（B）光的反射；

（C）光在两种介质界面同时发生反射和折射；

（D）几束光相遇后彼此毫无妨碍地继续向前传播。

在上述光现象中，光的微粒说能够解释的有\_\_\_\_\_\_\_，光的波动说能够解释的有\_\_\_\_\_\_\_。

1. 19世纪末，人们终于认识到光既具有\_\_\_\_\_\_\_性，又具有\_\_\_\_\_\_\_性，即光具有\_\_\_\_\_\_\_性。
2. 以下说法中正确的是（ ）

（A）牛顿用微粒说可成功地解释光的直进和反射

（B）惠更斯的波动说可以成功地解释光的反射、折射、叠加等现象

（C）微粒说可以很好地解释光的叠加、干涉现象

（D）波动说可以很好地解释光的直线传播产生影等现象

1. 有关光的波粒二象性，下列说法中不正确的是（ ）

（A）光子既有粒子性也有波动性

（B）个别光子表现为粒子性，大量光子表现为波动性

（C）光直线传播时表现为粒子性，发生干涉时表现为波动性

（D）干涉条纹中，明条纹处是光子能到达的，暗条纹处是光子不能到达的

1. 下列说法不正确的是（ ）

（A）光是一种机械波 （B）光是一种电磁波

（C）光子相当于高速运动的质点 （D）光的直线传播只是宏观近似规律

1. 介质中某光子的能量是*E*，波长是*λ*，则此光子在真空中的速度与在该介质中的速度之比为（ ）

（A） （B） （C） （D）

1. 红光在玻璃中的波长与绿光在真空中的波长相等，若红光在真空中和玻璃中的速度之比是7∶5，则红光与绿光在真空中的波长之比为\_\_\_\_\_\_\_，红光与绿光的频率之比是\_\_\_\_\_\_。
2. 在光电效应中，能否产生光电效应由\_\_\_\_\_\_\_决定，用波长为 0.490 μm 的绿光去照射下表中各种金属，能发生光电效应的是\_\_\_\_\_\_\_；从\_\_\_\_\_\_\_金属表面逸出的光电子的初动能最大。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 金属名称 | 铯 | 钠 | 锌 | 银 | 铂 |
| 极限波长*λ*0 /μm | 0.660 0 | 0.500 0 | 0.372 0 | 0.260 0 | 0.196 2 |