学风朋辈引领行动中心

期末复习资料-大物

编写：潘雅茹、安澍、白文轩
刘佳洋、刘文豪、刘嘉晖

审校：王晓宇、杨威威、严啸

学风朋辈的全称为：北京化工大学学风朋辈引领行动中心，英文名称为：Student Peer Center of Beijing University of Chemical Technology（简称“SPC”）。

学风朋辈隶属于北京化工大学学生工作办公室，接受指导教师管理。对所辖二级学生组织进行管理，对院级学业辅导组织进行指导。学风朋辈的二级学生组织包括化学工程学院学业指导中心、信息科学与技术学院学业指导中心、生命学院学业指导中心、理学院学业指导中心、英国皇家化学会北京化工大学分会等，共同为全体学生服务。

学风朋辈的主要工作是按照学校学风建设的总体要求，开展包括朋辈学业辅导、学业咨询、资源共享、难点解答、学风营造等与学生学业发展相关的工作。

学风朋辈的宗旨是服务我校学生学业发展，致力于营造积极向上、你争我赶、公平竞争的校园学习文化氛围，定时更新学习资源和有效信息，秉承我校校训“宏德博学，化育天工”，用热情及责任进一步推动我校学风建设工作。

按照学习学风建设的总体目标，学风朋辈在发展过程中不断寻求自身的改革创新，根据自身发展需求，现下设朋辈辅导部、发展咨询部、推广宣传部、秘书处、人事部、事务拓展部共六大职能部门。

学风朋辈自成立已开展了多项精品活动：“朋辈学业辅导”、“学业咨询工作坊”、“学习资料发放”、“学霸答疑”、“学霸经验分享会”。同时，本着强化我校学生专业知识技能，提高学生学习主动性和积极性的服务宗旨，学风朋辈已承办了多次学业发展辅导中心“团体工作坊”活动、“学业·职业规划大赛”等特色活动。学风朋辈正以更加积极的姿态协助我校不断完善教学过程中教与学的环节。

为了及时有效地为我校学子进行学业辅导，分享学习资源。学风朋辈创建了学委网，并拥有自己的微信公众平台（BUCTSPC），定时更新学习资源和有效信息，方便广大学生的学习和生活。

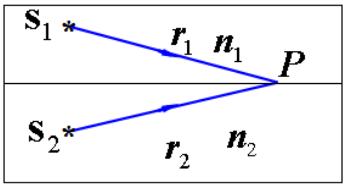
十一、光学

1、光程

【必备知识点】

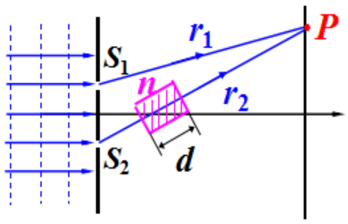
（1）概念：光在折射率为n的介质中通过几何路程L所发生的相位变化，相当于光在真空中通过nL的路程所发生的相位变化，nL即为光程。

（2）光程差与相位差



光程差：$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$

相位差：$\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\delta$



双缝干涉中插入介质：

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}[(r_2 - r_1) + (n-1)d]$$

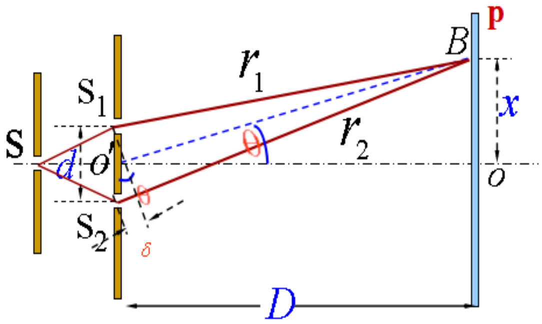
附加光程差：

$$\Delta\delta = (n-1)d$$

（3）透镜不产生附件光程差

2、杨氏双缝干涉

【必备知识点】



（1）干涉规律

a、几何关系：$\sin\theta \approx \tan\theta = \dfrac{x}{D}$

b、光程差：$\delta = r_2 - r_1 = d\sin\theta = d\dfrac{x}{D}$

相位差：$\Delta\varphi = \dfrac{\delta}{\lambda}2\pi$

c、条纹中心位置：

明纹：$x = \pm k\dfrac{D}{d}\lambda$（k = 0、1、2⋯）

暗纹：$x=\pm\frac{D}{d}(2k+1)\frac{\lambda}{2}$（k = 0、1、2 ···）

d、相邻明（暗）纹中心间距：$\Delta x=\frac{D}{d}\lambda$

e、光强（当$I_1=I_2=I_0$时）：$I=4I_0\cos^2\frac{\Delta\varphi}{2}$（干涉最大光强为 4 I_0）

（2）变量的关系问题

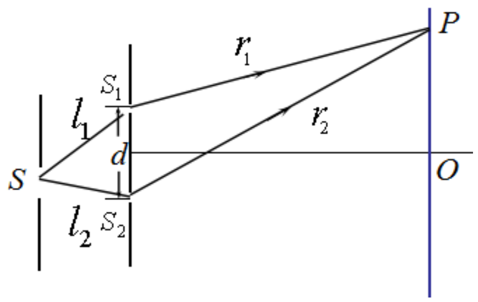
a、其中一缝宽度略变窄，干涉条纹间距不变，但原极小处光强不再为 0；

b、d、D一定时，x与λ成正比，用白光做光源时，除中央明纹是白光外，其它各级条纹是彩色的，紫在内红在外；不同级次的条纹可能发生重叠；

c、要使相邻条纹间距Δx变大，可通过减小d和增大D和λ的方法（$\Delta x=\frac{D}{d}\lambda$）；

d、将介质覆盖在一缝上，中央明纹向同方向移动。

【常见题型与详解】



在双缝干涉实验中，单色光源S_0到两缝S_1和S_2的距离分别为l_1、l_2，且$l_1-l_2=3\lambda$，λ为入射波波长，双缝间距为d，双缝到屏的距离为$D(D>>d)$。求：①零级明纹到屏中央O的距离；②相邻明纹的间距。

解题思路：中央明纹$\delta=(r_2+l_2)-(r_1+l_1)=0$，由$\theta=\frac{r_2-r_1}{d}=\frac{x}{D}$求出$x$

解：

①$l_1+r_1=l_2+r_2$

得$r_2-r_1=l_1-l_2=3\lambda$

$\frac{x}{D}=\tan\theta\approx\sin\theta=\frac{r_2-r_1}{d}$

得$x=\frac{3D}{d}\lambda$

②条纹间距仍为$\Delta x=\frac{D}{d}\lambda$

【例题】

在双缝干涉实验中，波长$\lambda=550nm$的单色平行光垂直入射到缝间距$a=2\times10^{-4}m$的双缝上，屏到双缝的距离$D=2m$。求：

①中央明纹两侧的两条第 10 级明纹中心的间距；

②用一厚度为$e=6.6\times10^{-5}m$、折射率为$n=1.58$的玻璃片覆盖一缝后，零级明纹将移到原来的第几级明纹处？

（解题思路：根据原$\delta=r_2-r_1=0$，覆盖介质后$\delta^{'}=r_2-r_1+(n-1)e=k\lambda$求解）

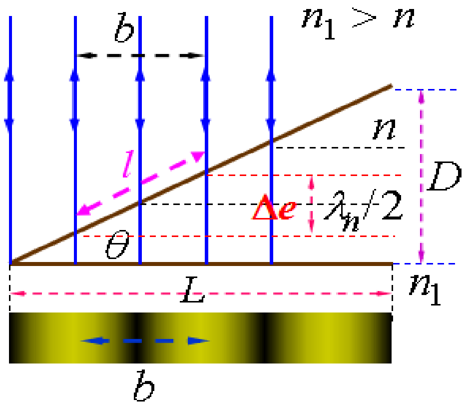
答案：①$0.11m$ ②70

3、薄膜等厚干涉

【必备知识点】

（1）劈尖

（以$n_1 > n$为例，考虑半波损失，顶点处为暗纹）



a、明纹：$2ne+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \qquad k=1,2,3\cdots$

暗纹：$2ne+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\lambda \qquad k=0,1,2,\cdots$

b、相邻明（暗）纹中心间距：$b=\frac{\lambda}{2n\theta}$

c、相邻明（暗）纹间的厚度差：$\Delta e=\frac{\lambda}{2n}$

d、干涉条纹的移动（利用 b、c 两式分析）：

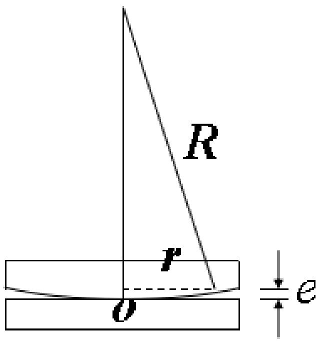
上面的玻璃板略向上平移（向棱边平移/间距不变）；

上面的玻璃板绕左侧边略微转动，增大劈尖角度（间距变小/条纹向棱密集）；

两玻璃板之间注入水（条纹间距变小）；

下面的玻璃换成上表面有凹坑的玻璃（条纹向劈尖棱方向弯曲）。

（2）牛顿环



（以将牛顿环置于空气中为例，考虑半波损失，中心为暗斑）

a、几何关系：$r^2=R^2-(R-e)^2\approx 2eR(R>>e)$

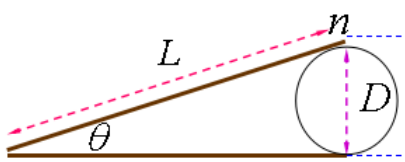
b、暗环：$2e+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\frac{\lambda}{2} \qquad k=0,1,2,\cdots$

暗环半径：$r_k=\sqrt{kR\lambda}\propto\sqrt{k}$ （环为内疏外密）

明环半径：$r_k=\sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}} \qquad k=1,2,3\cdots$

【常见题型与详解】

（1）劈尖条纹的移动问题



在两叠合的玻璃片的一端塞入可被加热膨胀的金属丝D使两玻璃片成一小角度，用波长为$589nm$的钠光照射，从图示之劈尖正上方的中点处（即$\frac{L}{2}$处）观察到干涉条纹移动了 10 条，求金属丝直径膨胀了多少？若在金属丝D的上方观察又可看到几条条纹移动？

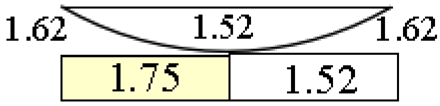
解题思路：利用相邻明（暗）纹的厚度差$\Delta e=\frac{\lambda}{2n}$与$\frac{L}{2}$与$L$处长度的比例关系求解

解：在$\frac{L}{2}$处条纹移动 10 条，则膜厚度增加$\Delta e = 10\frac{\lambda}{2n} = 5\lambda$

金属丝膨胀$\Delta D = 2\Delta e = 10\lambda = 5.89\times10^{-6}m$

在L处，条纹移动数$\Delta N = \frac{\Delta D}{\lambda/2n} = 20$

（2）牛顿环置于介质中的问题



a、牛顿环由图示三种材料构成，用单色光垂直照射，在反射光中看到干涉条纹，试分析接触点形成的圆斑图样。

解题思路：根据介质折射率关系分析是否有半波损失，列出光程差表达式

解：左侧：$\delta = 2ne$　　　　$e = 0$处$\delta = 0$形成亮斑

右侧：$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$　　　　$e = 0$处$\delta = \frac{\lambda}{2}$形成暗斑

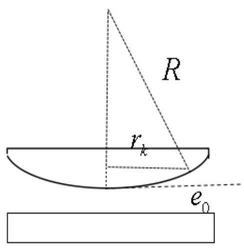
b、将牛顿环置于空气中，测得第k级暗环半径为r_1，现将透镜与玻璃板之间的空气换成某种液体（其折射率小于玻璃的折射率），第k级暗环半径为r_2，则液体的折射率为?

解题思路：先推导出置于液体中暗环半径表达式（方法同将牛顿环置于空气中，将折射率1换为n），根据半径关系求折射率。

解：介质中暗环半径公式为$r_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}$

则$n = \frac{kR\lambda}{r_k^2}$　　　　得$n_2 = \frac{n_2}{1} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$

（3）牛顿环透镜与玻璃间出现缝隙的问题



如图，牛顿环装置的平凸透镜与平面玻璃有一小缝隙e_0。现用波长为λ的单色光垂直照射，已知平凸透镜的曲率半径为R，求反射光形成的牛顿环各暗环半径。

解题思路：利用几何关系表示出光程差，进而根据干涉条件求暗环半径。

解：设某暗环半径为r，根据几何关系有$r^2 = R^2 - (R-e)^2 \approx 2eR(R >> e)$

根据干涉减弱条件有：$2e + 2e_0 + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

得$r = \sqrt{R(k\lambda - 2e_0)}$　　（k为整数，且$k > \frac{2e_0}{\lambda}$）

【例题】

（1）用波长为λ的单色光垂直照射到空气劈尖上，从反射光中观察干涉条纹，距顶点为L处是暗条纹，使劈尖角度θ连续变大，直到该点再次出现暗条纹为止，则劈尖角的改变

量Δθ为多少？

答案：$\Delta\theta=\frac{\lambda}{2L}$

（2）两块平玻璃构成空气劈形膜，左边为棱边，用单色平行光垂直入射，若上面的平玻璃以棱边为轴，沿逆时针方向作微小转动，则干涉条纹的（　）

A、间隔变小，并向棱边方向平移　　　　B、间隔变大，并向远离棱边方向平移

C、间隔不变，并向棱边方向平移　　　　D、间隔变小，并向远离棱边方向平移

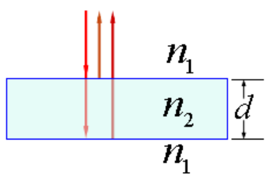
答案：A

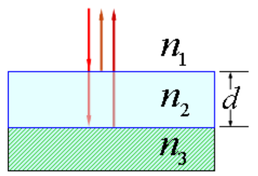
（3）在牛顿环实验装置中，曲率半径为 R 的平凸透镜与平玻璃板在中心恰好接触，它们之间充满折射率为 n 的透明介质，垂直入射到装置上的单色平行光在真空中波长为 λ，则反射光形成的干涉条纹中暗环半径 r_k 的表达式为（　）

答案：$r_k=\sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}$

4、薄膜等倾干涉

【必备知识点】





（1）平行平面膜干涉

a、光程差：$\delta=2d\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}+\frac{\lambda}{2}$

b、垂直入射时：

若 $n_2>n_1$：$\delta=2n_2d+\frac{\lambda}{2}$

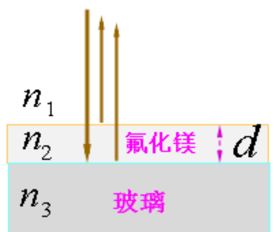
若 $n_3>n_2>n_1$：$\delta=2n_2d$

c、等倾干涉的应用：

镀增透膜、增反膜

【常见题型与详解】

增透膜/增反膜问题：



在玻璃（折射率 $n_3=1.60$）表面镀一层 MgF_2（$n_2=1.38$）薄膜作为增透膜，为了使波长为 $500nm$ 的光从空气（$n_1=1.00$）正入射时尽可能少反射，MgF_2 薄膜的最少厚度应是（　）

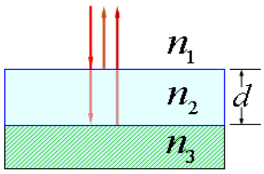
解题思路：计算光程差结合干涉减弱条件求解

解：$\delta=2n_2d=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$

取 $k=0$ 得 $d_{\min}=90.6nm$

【例题】

单色光垂直入射问题：



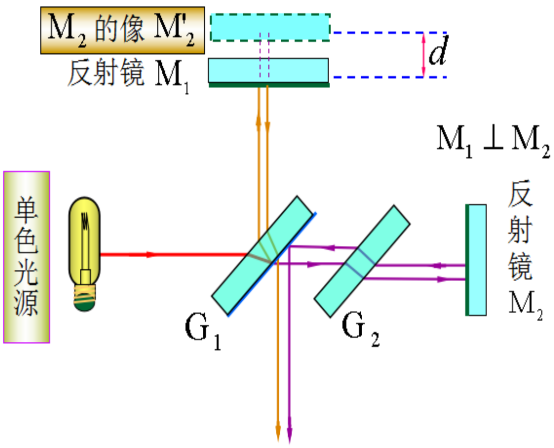
如图，平行单色光垂直照射到薄膜上，经上下两表面反射的两束光发生干涉，若薄膜厚度为d，并且$n_1 < n_2 > n_3$，λ_1为入射光在折射率为n_1的介质中的波长，求两束反射光在相遇点的相位差。

（提示：$\Delta\varphi=\dfrac{2\pi}{\lambda}\delta$，将真空中的波长与$n_1$介质中的波长进行换算）

答案：$\dfrac{4\pi n_2 e}{n_1\lambda_1}-\pi$ 或 $\dfrac{4\pi n_2 e}{n_1\lambda_1}+\pi$

5、迈克耳孙干涉仪

【必备知识点】



a、光程差：$\delta=2d$

b、应用：测介质折射率：

附加光程差：$\delta=2(n-1)l$

若相应移过N个条纹：$\delta=N\lambda$

由此可测折射率n

测量微小位移：

$$\Delta d=\Delta k\frac{\lambda}{2}$$

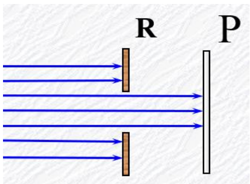
c、补偿板G_2的作用：使两条光路都能3次穿过厚薄相同的平玻璃，避免出现额外光程差。

6、光的衍射

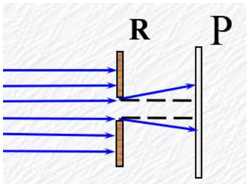
【必备知识点】

（1）光的衍射现象：光在传播中若遇到尺寸比光的波长大得不多的障碍物时，它就不再遵循直线传播的规律，而会传到障碍物的阴影区并形成明暗变化的光强分布。

1. 缝宽比波长大得多时，光可看作是直线传播，如



2. 缝宽可与波长相比拟时，出现衍射条纹，如



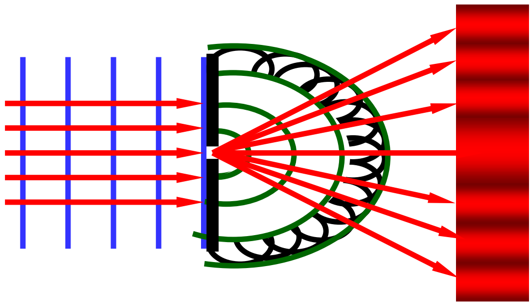
（光线不仅在通过细缝时产生衍射现象，在通过方孔或多边形孔时也会衍射）

（2）惠更斯—菲涅耳原理：从同一波阵面上各点发出的子波是相干波。衍射时波场中各点

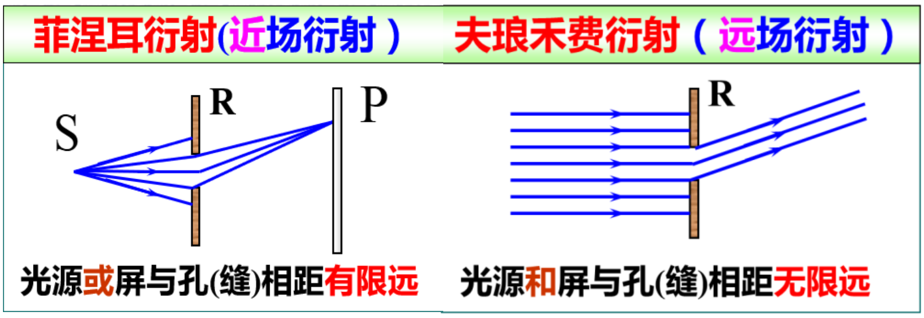
的强度有各子波在该点的相干叠加决定。

a、同一波阵面上的各点发出的都是相干子波。

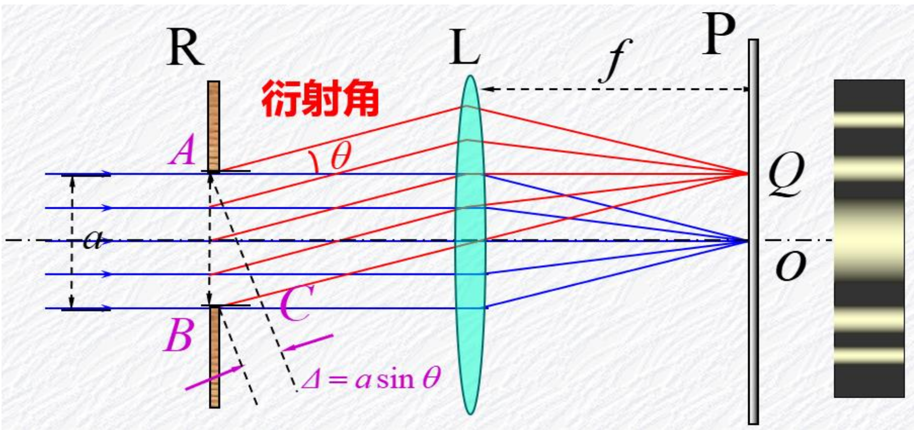
b、各子波在空间某点相干叠加，决定了该点波的强度。



（3）菲涅耳衍射(近场衍射）和夫琅禾费衍射（远场衍射）



7、夫琅禾费单缝衍射



（衍射角θ：向上为正，向下为负）

缝的边缘 A、B 两点发出的到达点 Q 的光程差为：$\Delta = BC = a\sin\theta$

$\theta = 0$，$\Delta = 0$ 时，— 中央明纹（中心）

【必备知识点】

（1）半波带法

由图-7，$a\sin\theta = 0$时，是中央明纹中心

$a\sin\theta = \pm 2k\dfrac{\lambda}{2} = \pm k\lambda$ 时，暗纹

$a\sin\theta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$ 时，明纹

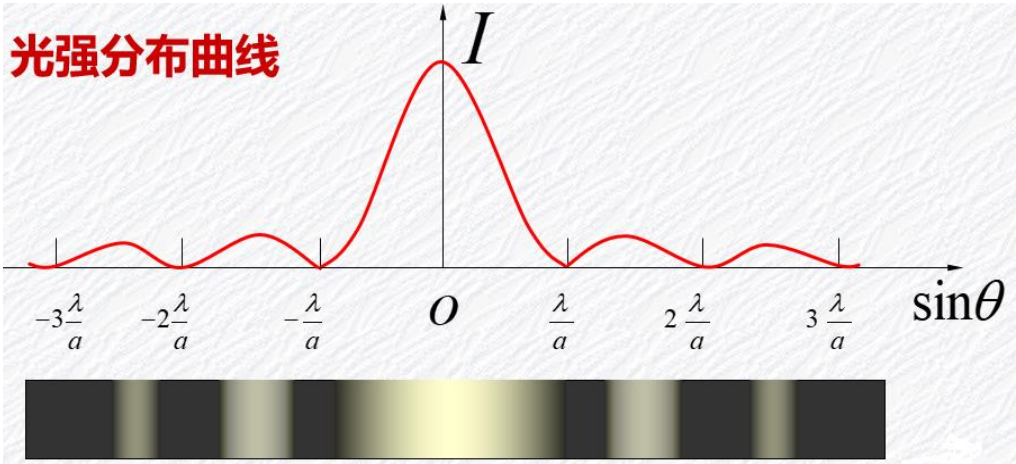
$a\sin\theta \neq k\dfrac{\lambda}{2}$ 时，介于明纹和暗纹之间

（2）单缝夫琅禾费衍射的几点讨论

a、明暗条纹以中央明纹为中心两边对称分布。k = 1、2……，分别对应第一、二……级明纹

b、半波带数 $N = \dfrac{a\sin\theta}{\lambda/2} = (2k+1)$

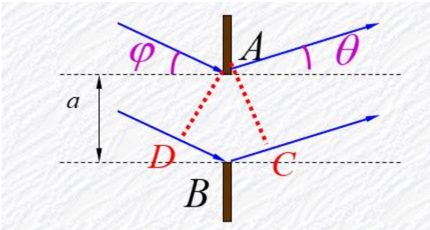
c、明纹光强随衍射级次的增大而减小。

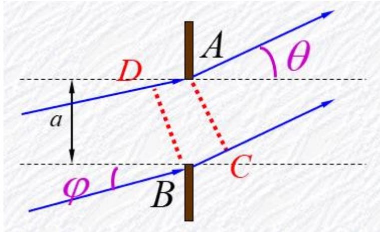


d、因为衍射角很小，所以，$\theta \approx \sin\theta \approx \tan\theta$。于是条纹在屏上距中心 0 的距离 x 可写为：$x = f\tan\theta$，第一级暗纹距中心 0 的距离：$x_1 = f\tan\theta_1$，所以中央明纹的宽度为 $\Delta x_0 = 2x_1 \approx 2\dfrac{\lambda}{a}f$ 。任意两相邻暗纹之间的距离（即其他明纹的宽度）：$\Delta x = \theta_{k+1}f - \theta_k f = \left[\dfrac{(k+1)\lambda}{a} - \dfrac{k\lambda}{a}\right]f = \dfrac{\lambda f}{a}$，可见，所有其他明纹具有相同的宽度

e、当入射波长 λ 变小时，由第一级暗纹距中心 0 的距离：$x_1 = f\tan\theta_1 = \dfrac{\lambda f}{a}$ 可知，θ_1 会变小

f、入射光非垂直入射时光程差的计算





$\varDelta = DB + BC = a(\sin\theta + \sin\varphi)$　　　　$\varDelta = BC - DA = a(\sin\theta - \sin\varphi)$

（中央明纹向下移动）　　　　（中央明纹向上移动）

【常见题型与详解】

1、已知单缝宽 a=0.5mm，透镜焦距 f=50cm。今以白光垂直照射狭缝，在观察屏上 x=1.5mm 处看到明纹极大，求：

（1）入射光的波长及衍射级数；

（2）单缝所在处的波阵面被分成的波带数目。

解：（1）由明纹条件：$a\sin\theta = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$

又，明纹所在处 x 满足：$\dfrac{x}{f} = \tan\theta = \dfrac{1.5}{500} = 0.003$　　$\sin\theta \approx \tan\theta = \dfrac{x}{f}$

所以，$\lambda = \dfrac{2ax/f}{2k+1} = \dfrac{2\times0.5\times1.5}{(2k+1)\times500}\times10^7\ \text{nm} = \dfrac{3\times10^3}{2k+1}\ \text{nm}$

白光波长范围 400～700nm，满足上式的波长值即为所求：

k=1 时，λ_1=1000nm；

k=2 时，λ_2=600nm，符合题意；

k=3 时，λ_3=428.6nm，符合题意；

k=4 时，λ_4=333.3nm。

（2）可分成的波带数：

k=2 时，$N = \dfrac{a\sin\theta}{\lambda/2}$=2k+1=5；　k=3 时，$N = \dfrac{a\sin\theta}{\lambda/2}$=2k+1=7。

2、一单缝，宽度 b=0.1mm，缝后有一个焦距为 50cm 的会聚透镜，用波长为 λ=546.1nm 的平行光垂直照射单缝，求：(1) 中央明纹宽度和中央明纹两侧任意俩相邻暗纹中心之间的距离。(2) 如果将单缝位置上下小距离移动，衍射条纹如何变化？

解：（1）中央明纹宽度

$$\varDelta x_0 = 2x_1 \approx 2\frac{\lambda}{a}f = \frac{2\times546.1\text{nm}\times50\text{cm}}{0.1\text{mm}} = 5.46\text{mm}$$

任意俩相邻暗纹中心之间的距离

$$\varDelta x = \frac{\lambda f}{a} = \frac{546.1\text{nm}\times50\text{cm}}{0.1\text{mm}} = 2.73\text{mm}$$

（2）如果将单缝位置上下小距离移动，衍射条纹和形状均无改变。因为单缝夫琅禾费衍射，

垂直照射到会聚透镜上的光是平行光，通过透镜会聚到屏上产生衍射条纹，而只要是平行光，透镜都会会聚到同一个位置，所以中央明纹一定是在透镜的焦点上，和缝位置关系不大。

注意：杨氏双缝干涉，是非平行光，两条出射光线直接相交于中央明纹的位置，如果改变了缝的位置，两条光线的光程差就变化了，中央明纹位置就会变化。

【例题】在单缝夫琅和费衍射实验中，垂直入射的光有两种波长，λ_1=400nm，λ_2=760nm。已知单缝宽度 a=1.0×10-2cm，透镜焦距 f=50cm。求两种光第二级衍射明纹之间的距离。

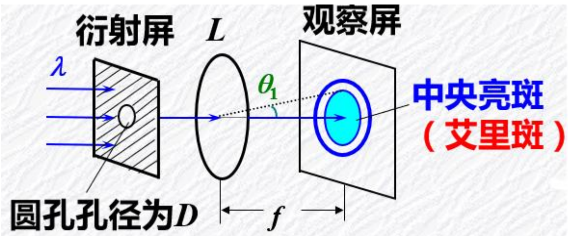
答案：$\Delta x = 0.45\ \mathrm{cm}$

8、夫琅禾费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领

【必备知识点】

（1）艾里斑：单射平行光通过小圆孔时，在透镜 L 的焦平面处的屏幕上将出现中央为亮圆斑，周围为明暗交替的环形的衍射图样，中央光斑较亮，叫做艾里斑

满足关系式：$D \cdot \sin\theta_1 \approx 1.22\lambda$



（2）光学仪器中的透镜、光阑都相当于一个透光的小圆孔，从几何光学的观点来说，物体通过光学仪器成像时，每一物点有一个对应的像点，但是由于光的衍射，像点不是一个几何的点，而是有一定大小的艾里斑。可见，由于光的衍射，光学仪器的分辨本领受到了限制。

（3）光学仪器的分辨本领与哪些因素有关？

a 两点光源 S_1、S_2 相距较远。两个艾里斑的中心距离大于艾里斑的半径（D/2）。这时，重叠部分的光强较艾里斑中心处的光强较小，因此，两个物点的象能够分辨。

b 两点光源 S_1、S_2 相距较近，这是两个衍射图像混为一体，两物点的象就不能够被分辨出来。

c 两点光源 S_1、S_2 的距离恰好使两个艾里斑中心的距离等于每一个艾里斑的半径，即一个艾里斑的中心恰好落在另一艾里斑的边缘。这时，此两物点被认为是刚好能被人眼或光学仪器分辨的临界情形。此条也称为**瑞利判据。**

（4）$\theta_0 = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$ θ_0是最小分辨角（角分辨率），$R = \dfrac{1}{\theta_0} = \dfrac{D}{1.22\lambda}$ 则是分辨本领（分辨率）。在天文观察上，常用可见光观察，故采用直径很大的透镜，目的就是为了提高分辨本领

【常见题型与详解】

1、某一望远镜的主镜镜面直径 10m，试估算分辨本领。

解：由于天文望远镜用可见光观察，所以光波的波长量级为 10^{-7}m

所以分辨本领 $R = \dfrac{1}{\theta_0} = \dfrac{D}{1.22\lambda} \approx \dfrac{10\mathrm{m}}{10^{-7}\mathrm{m}} = 10^{8}\mathrm{rad}^{-1}$。

9、衍射光栅

【必备知识点】

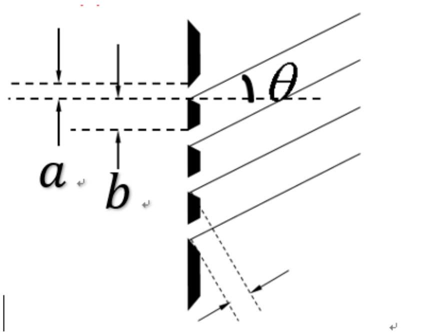
（1）光栅的概念

光栅由大量等宽等间距的平行狭缝（或反射面）构成的光学元件

（2）光栅常数：$d = a + b$

a 为透光部分宽度

b 为不透过部分宽度



$$(a+b) * \sin\theta$$

（3）光栅衍射

光栅的衍射的衍射和多光束干涉的总效果

a、当光垂直入射时，产生明纹的条件为 $(a+b)\sin\theta = \pm k\lambda \qquad k = 0,1,2\ldots$

产生暗纹的条件为 $(a+b)\sin\theta = \frac{\pm k'}{N}\lambda \qquad k' \neq Nk\ ,k' \neq 0$

相邻主极大条纹间有$N-1$个暗条纹和$N-2$个次级大条纹

b、缺级现象

根据光的干涉明纹位置$d\sin\theta = \pm k\lambda$

光的衍射暗纹位置$a\sin\theta' = \pm k'\lambda$

可知，有的时候在本应该加强的位置上，却并没有衍射光到达，因此造成了缺级现象

干涉明纹缺级级次 $k = \pm\frac{d}{a}k' \quad k = 1,2\ldots \qquad \frac{d}{a}$ 化成整数倍的时候，出现明纹缺级

中央明纹范围内干涉条纹数由 $\frac{d}{a}$ 决定，明纹数=$2\left(\frac{d}{a}-1\right)+1$

c、以入射角φ斜入射时，产生明纹的条件为 $(a+b)(\sin\theta+\sin\varphi) = \pm k\lambda \qquad k = 0,1,2\ldots$

d、观测到的最高级明纹级数，就是$\theta = \frac{\pi}{2}$时

垂直入射：$k = \frac{a+b}{\lambda}$　　斜入射时：$k = \frac{(a+b)(1+\sin\varphi)}{\lambda}$

所以斜入射时，能看到的明纹级数变大

【常见题型与详解】

明纹重叠问题：

题目中经常给出两种光的波长，并求出谱线重叠级次问题

解题思路：首先要清楚重叠的谱线为θ角相同时的点，所以联立明纹位置公式

$(a+b)\sin\theta = \pm k\lambda$，根据波长比，算出级次比，求出对应级次

【例题】

某元素的特征光谱中含有波长分别为$\lambda_1 = 450nm$和$\lambda_2 = 750nm$光谱线。在光谱光栅中，这两种波长的谱线有重叠现象，重叠处λ_2的谱线的级数将是（ ）

因为谱线重叠，所以$k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2$

将$\lambda_1 = 450nm$和$\lambda_2 = 750nm$ 代入

可得$\frac{k_1}{k_2} = \frac{5}{3}$，所以$k_2$应为 3 的整数倍，所以答案为 3，6, 9, 12⋯

10、光的偏振性 马吕斯定律

【必备知识点】

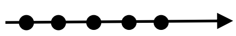
（1）光的偏振现象证明了光是横波

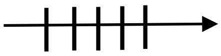
光栅由大量等宽等间距的平行狭缝（或反射面）构成的光学元件

（2）自然光：包含有各个方向的光矢量, 在所有可能的方向上的振幅都相等，这样的光叫自然光 . 一般光源发出的光为自然光。自然光的光矢量可以用两个振幅相等、振动方向相互垂直的分振动来表示。

（3）偏振光：光振动只在某一固定方向上的光 .

（4）线偏振光的表示方法


光振动垂直板面

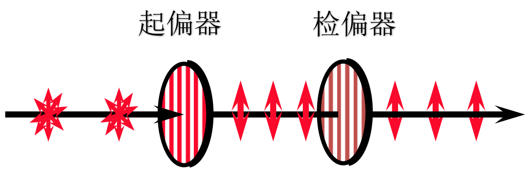

光振动平行板面

（5）完全偏振光：线、圆和椭圆偏振光

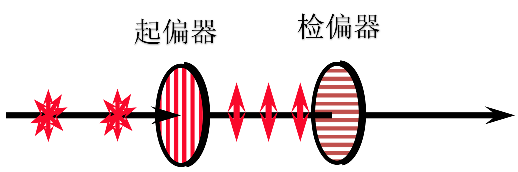
（6）部分偏振光：自然光和完全偏振光的混合

（7）起偏与检偏

a、偏振片：只让一个方向的光振动通过，这样的光学元件叫偏振片。这个方向叫偏振片的偏振化方向。



最亮



最暗

b、自然光经过起偏器变为单一方向的光，光强变为原来的一半

（8）马吕斯定律

起偏器和检偏器的偏振化方向，α 为它们之间的夹角，设投到检偏器和透过检偏器的光强分别为I_0和I，则 $I = I_0\cos^2\alpha$

当$\alpha = 0$ 或 π的时候，$I = I_0$光强最大

当$\alpha = \frac{\pi}{2}$或$\frac{3}{2}\pi$的时候，$I = 0$ 光强最小

【常见题型与详解】

（1）偏振片旋转问题

题目中会旋转偏振片，问光强度的变化情况

解题思路：用马吕斯定律所得出的结论来分析问题。

（2）利用马吕斯定律和自然光经过偏振片的性质来直接计算经过偏振片后的光强，或者计算混合光中自然光与线偏振光的比值。

解题思路：自然光经过起偏器变为单一方向的光，光强变为原来的一半

$$I = I_0\cos^2\alpha$$

【例题】

（1）两偏振片堆叠在一起，一束自然光垂直入射其上时没有光线通过，当其中一偏振片慢慢转动180°时，透射光强度发生的变化为：（ B ）

A、光强单调增加

B、光强先增加，后减小至零

C、光强先增加，后减小，再增加

D、光强先增加，然后减小，再增加，再减小至零

首先一开始没有光线通过，假设夹角为$\frac{\pi}{2}$，旋转180°的过程中，当夹角为π时，光强增加至最大，随后当夹角为$\frac{3}{2}\pi$的时候光强又减小至零。

（2）用相互平行的一束自然光和一束线偏振光构成的混合光垂直照射在一偏振片上，以光的传播方向为轴旋转偏振片时，发现透射光强的最大值为最小值的 5 倍。则入射光中自然光强与线偏振光光强之比为（$\frac{1}{2}$）

自然光经过偏振片光强变为$\frac{1}{2}I_{自}$

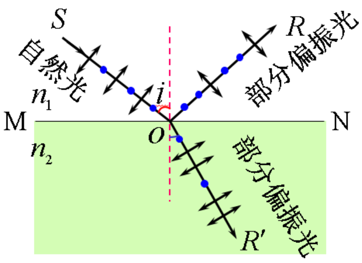
线偏振光经过偏振片后最大值为$I_{线}$最小值为 0

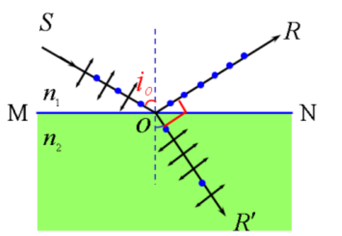
所以$\frac{1}{2}I_{自} + I_{线} = 5\left(\frac{1}{2}I_{自} + 0\right)$　　解出$\frac{I_{自}}{I_{线}} = \frac{1}{2}$

11、反射光和折射光的偏振

【必备知识点】

（1）布儒斯特角





反射光和折射光的偏振化程度与入射角i有关，当入射角等于某一特定值i_0,i_0满足：$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$，$i_0$ 叫布儒斯特角，或称为全偏振角。这时折射光的偏振化程度最大，即反射光线和折射光线垂直。

注：i_0为布儒斯特角时，反射光是线偏振光，且光振动垂直于入射面，而折射光仍为部分偏振光。

（2）临界角

刚好发生全反射的角，$\sin c = \frac{n_1}{n_2}$

【常见题型与详解】

（1）、求折射角问题

题目中会给出入射角，提示该入射角为布儒斯特角，然后让求解折射角。

解题思路：利用布儒斯特角的几何性质，即反射光线与折射光线垂直来进行求解。

（2）利用全反射角来计算布儒斯特角

解题思路：$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$ $\sin c = \frac{n_1}{n_2}$ 使用上述两个公式求解。

【例题】

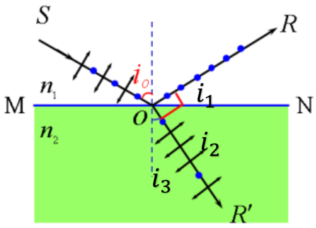
（1）自然光以$60°$的入射角照射到某两介质交界面时，反射光为完全线偏振光，则知折射光为 （ ）

A 完全偏振光且折射角是$30°$

B 部分偏振光且只是在该光由真空入射到折射率为$\sqrt{3}$的介质时，折射角是$30°$

C 部分偏振光，但须知两种介质的折射率才能确定折射角

D 部分偏振光且折射角是$30°$



解：因为入射光是自然光并且反射光为完全线偏振光，所以入射角为布儒斯特角，折射角为部分偏振光。

当$i_0 = 60°$时，$i_1 = 30°$

因为$OR \perp OR'$，所以$i_2 = 60°$ $i_3 = 30°$

因为已经确定了布儒斯特角，所以与介质种类没有关系，所以选 D。

（2）某种透明媒质对于空气的临界角（指全反射）等于$45°$，光从空气射向此媒质的布儒斯特角是 （ ）

$$\sin c = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{2}$$

$$i_0 = \tan^{-1}\sqrt{2} = 54.7°$$

12、双折射

【必备知识点】

（1）双折射的概念

一束光入射到各向异性介质时，折射光分成两束的现象。

（2）寻常光和非寻常光

遵从折射定律的是寻常光，一般不遵从折射定律的是非寻常光

（3）晶体的光轴

当光在晶体内沿某个特殊方向传播时不发生双折射，该方向称为晶体的光轴。

（4）主平面

寻常光的振动方向垂直于光的主平面。非寻常光的振动方向则在于光的主平面内。

【常见题型与详解】

此部分内容常考概念题，尤其是（2）（4）两个概念，要牢记！

十五、量子物理

1、黑体辐射 普朗克能量子假设

【必备知识点】

（1）黑体

a、黑体：能完全吸收投射于其上的所有电磁波的物体称为黑体λ

b、单色辐出度：在 T 的黑体的单位 *S*, 单位 t，在附近单位波长λ范围内所辐射的电磁波能量$M_\lambda(T)$

c、辐出度：在 T 的黑体的单位 S 上，辐射出的各种波长的电磁波的能量总和$M(T)$

$$M(T)=\int_0^\infty M_\lambda(T)d\lambda$$

（2）黑体辐射规律

a、斯特藩-玻尔兹曼定律

黑体的辐出度$M(T)$与黑体的温度T的四次方成正比，即$M(T)=\sigma T^4$

b、维恩位移定律

黑体单色辐出度$M_\lambda(T)$的最大值所对应的波长λ_m与黑体温度的乘积为一常量，即$\lambda_m T=b$

（3）普朗克假设

黑体空腔壁上的带电谐振子吸收或发射的能量是$h\nu$的整数倍，振子的能量是按量子数 n 阶梯式分布，不连续。即$\varepsilon=nh\nu$

n--量子数（正整数）

h—普朗克常量，数值为6.63×10^{-34}

ν—振子频率

其中，能量最小的基元$\varepsilon=h\nu$称为能量子（简称量子）

（4）电磁波波长和频率的关系 $\lambda\nu=c$

2、光电效应 光的波粒二象性

【必备知识点】

（1）光电效应

a、光电效应：光照射下，电子从金属表面逸出的现象。逸出的电子叫光电子。

遏止电势差U_0:此时电子恰好不能到达极板

截止频率ν_0：只有入射光频率大于ν_0，电子才从金属表面逸出

b、遏止电势差U_0与入射频率具有线性关系

c、光电流与光照射同时发生

d、单位时间内释放的电子数$\mathrm{N}=\frac{\mathrm{I}}{h\nu}$，I 为入射光强

e、饱和光电流：$i_m=Ne$

（2）光子的能量$\varepsilon=h\nu$，光子的静止能量为 0，它的总能量就是它的动能

（3）光电效应的爱因斯坦方程

a、光子：光束可以看成由微粒构成的粒子流，这些粒子叫光子

b、光电效应的爱因斯坦方程:

电子吸收一个光子后所获得的能量$h\nu$等于它克服从金属表面逸出所做的功W与它所获得的动能$\frac{1}{2}mv^2$之和，即$h\nu=\frac{1}{2}mv^2+W$或写成$h\nu=h\nu_0+\frac{1}{2}mv^2=h\nu_0+eU_0$

c、对截止频率ν_0来说，$h\nu_0 = 0 + W, \nu_0 = \frac{W}{h}$

（4）光的波粒二象性

即光既具有波动性，又具有粒子性

a、 光子的能量：$E = h\nu$

b、光子的动量：$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} = mc$ $m = \frac{h\nu}{c^2}$

3、康普顿效应

【必备知识点】

（1）康普顿效应：在散射 X 射线中除有与入射波长相同的射线外，还有波长比入射波长更长的射线

波长的偏移量：$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2}$

θ为散射角，λ为散射光的波长，λ_0为入射光的波长

（2）反冲电子动能

$$\Delta E_K = h\nu_0 - h\nu = mc^2 - m_0c^2 = h\frac{c}{\lambda_0} - h\frac{c}{\lambda}$$

光子损失的能量为反冲电子所获得的动能

4、氢原子的玻尔效应

【必备知识点】

（1）氢原子光谱的规律性

a、$\sigma = \frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}), n_f = 1、2、3 \ldots; , n_i = 2、3 \ldots$且$n_i > n_f$

b、λ为发射波的波长，R 为里德伯常量为$1.097 \times 10^7 m^{-1}$，根据谱线波段所处范围分为不同线系，常用莱曼系（紫外线段）$n_f = 1$即$\frac{1}{\lambda} = R(1 - \frac{1}{n_i^2})$, 及巴耳末线系（可见光段）$n_f = 2$

c、根据公式可得出$n_i = n_f + 1$时λ取得最大值，$n_i \to \infty$（游离状态）即$\frac{1}{\lambda} = R\frac{1}{n_f^2}$)时$\lambda$取得最小值代入不同线系可以求出具体数值。

（2）氢原子的玻尔理论三个假设

a、定态假设：电子在原子中只能处于一系列不连续的能量状态，相应为$E_1, E_2, E_3 \ldots.$

b、量子化假设：电子绕核运动时稳定状态需满足$\mathrm{L} = \mathrm{n}\frac{\mathrm{h}}{2\pi}, \mathrm{n} = 1,2,3 \ldots.$

c、频率条件假设：电子从高能态跃迁到低能量时发射的光子频率为$\upsilon = \frac{E_i - E_f}{h}$

（三个假设的具体内容不须逐字记忆，但要会表述清楚，同时二三条的公式要记得）

（3）能级公式

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0 h^2}\frac{1}{n^2} = \frac{E_1}{n^2}, \qquad E_1 = -13.6eV(-E_1 = hcR)$$

【常见题型与详解】

在玻尔氢原子理论中，当电子从第二轨道跃迁到第五轨道上时，对外辐射光波长为多少？

解题思路：代入$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2})$中$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}$），得$\lambda = 434nm$

【例题】

用 12.6eV 的电子轰击氢原子，将产生波长为多少的谱线？

氢原子基态$n = 1$将$\Delta E = E_1\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right)$取整后 $n = 3$ 代入$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2})$得

102.6nm、657.9nm、121.6nm（注意有 2-1，3-2，3-1 三种情况）

5、德布罗意波、实物粒子的二象性

【必备知识点】

德布罗意波：

对于实物粒子，$E = h\nu$，$p = \frac{h}{\lambda}, \lambda = \frac{h}{p}$即动量p运动的实物粒子有波长$\lambda = \frac{h}{p}$的波又称物质波或德布罗意波；其统计学解释为在某处的德布罗意波的强度与粒子在该处邻近出现的概率成正比

【常见题型与详解】

求动能为1.0eV的电子的德布罗意波波长

解题思路：由于电子动能远小于静能，故不考虑相对论，代入$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{(2m_0E_k)^{1/2}} = 1.23\text{nm}$

由于德布罗意波中涉入p的求解，故可能与之前运动学等牵扯，记得一些动量的求法即可

6、不确定关系

【必备知识点】

不确定关系指的是物体的动量和位置不能同时准确测定。其不确定量满足：

$$\Delta x \Delta p_x \geq h$$

不确定关系对于宏观物体也是适用的。但其不确定量相对于物体本身的长度而言，实在是太小了，因此一般不考虑宏观物体的不确定量。

7、量子力学简介

【必备知识点】

概率密度：概率密度只需要把之前求出的波函数进行平方，即$|\psi^2|$，表示该位置单位体积内出现电子的概率。而要想求出某个区域内出现电子的整体概率，只要对这个区域求积分就行，也就是：

$$P = \int |\psi^2| dV$$

另，当积分区域为整个空间时，*P=1*，因为电子必须要在空间内出现，叫做“归一化”条件。

【例题】

已知一维方势阱的波函数为$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} sin\frac{\pi}{a}x$，求电子在$(0, \frac{a}{2})$区间内出现的概率。

解：首先拿到波函数应该直接平方，因为波函数的平方才代表概率密度。

$$\psi^2(x) = \frac{2}{a} sin^2(\frac{\pi}{a}x)$$

然后题目给出了区间，所以我们对这个区间做积分：

$$\mathrm{P} = \frac{2}{a}\int_0^{\frac{a}{2}} sin^2(\frac{\pi}{a}x)dx = \frac{1}{2}$$

因此电子出现在这个区间的概率是 $\frac{1}{2}$

8、氢原子的量子理论简介

【必备知识点】

（1）主量子数n

决定电子能量占主要地位的物理量，代表电子所处的能级

氢原子中，电子所具有的能量与主量子数的关系：

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

其中$E_1 = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -13.6\text{eV}$（eV 为电子伏特，1eV=$1.6\times10^{-19}$ J）

（2）角量子数l

决定电子轨道角动量大小，次要地决定电子能量

氢原子中，电子角动量 L 与角量子数的关系：

$$L = \sqrt{l(l+1)}\frac{h}{2\pi}$$

（3）磁量子数m_l

决定电子轨道角动量的“方向”

氢原子中，角动量在 z 轴上的分量 L_z 与磁量子数的关系：

$$L_z = m_l \frac{h}{2\pi}$$

（4）自旋磁量子数m_s

决定电子是顺时针还是逆时针绕原子核旋转

自旋角动量 S 在 z 轴上的分量与自旋磁量子数的关系：

$$S_z = m_s \frac{h}{2\pi}$$

（5）四个量子数的关系

a、角量子数为整数，必须小于主量子数（l<n），且不能取负值

如主量子数 n=4 时，则角量子数 l 只能取 0,1,2,3

b、磁量子数为整数，其绝对值必须小于或等于角量子数

如角量子数 l=2 时，磁量子数只能取-2,-1,0,1,2

c、自旋磁量子数只能取$\frac{1}{2}$和- $\frac{1}{2}$，而应该取哪个不受其他三数的限制（怎么取都可以）

9、多电子原子中的电子分布

【必备知识点】

（1）泡利不相容原理：在一个原子中，不可能有两个或以上的电子具有完全相同的电子态。也就是说，在一个原子中，取不出四个量子数完全相同的两个电子。

（2）能量最小原理：在原子系统内，每个电子趋向于占有最低的能级。即电子会先抢占能量最低的能级，只有那个最低能级被其他电子占满的时候，电子才会去选择占能量第二低的能级，第三低、第四低同理。