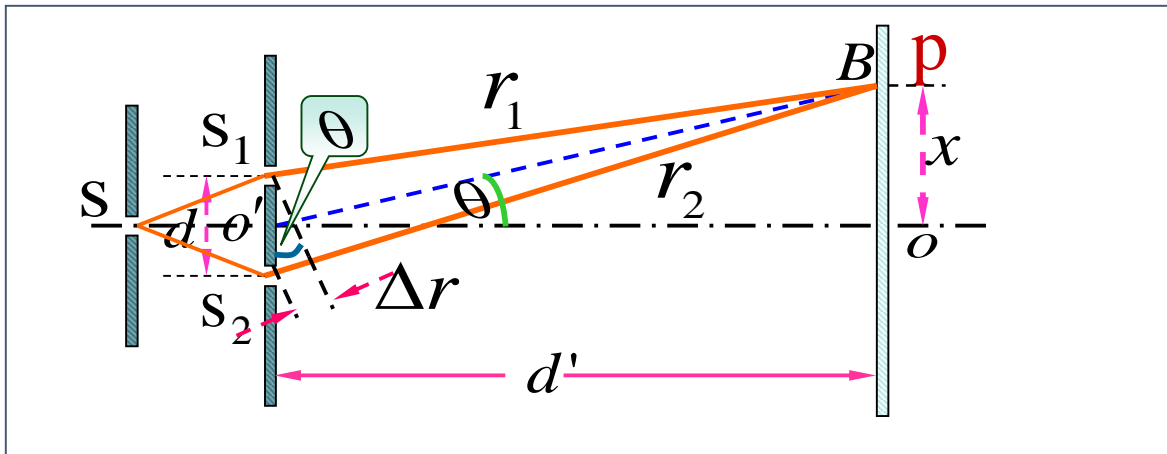




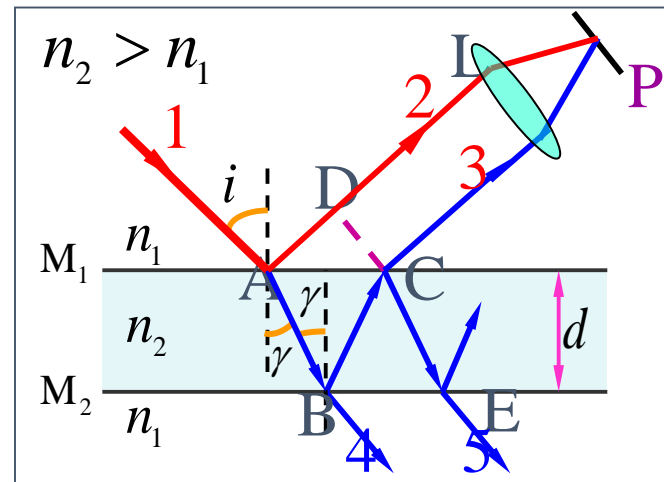
波动光学小结提纲：

一 光的干涉

1. 理解相干光的条件及获得相干光的方法。
2. 掌握光程的概念及光程差和相位差的关系，理解反射光的相位跃变（半波损失）。
3. 掌握双缝干涉和薄膜干涉（包括劈尖、牛顿环）的明暗纹条件和条纹特点。
4. 理解迈克耳孙干涉仪的结构，工作原理以及应用。

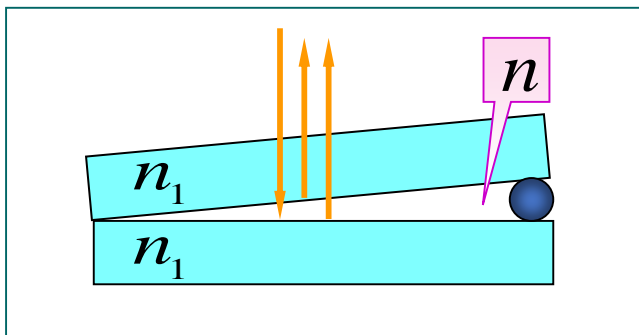


杨氏双缝实验

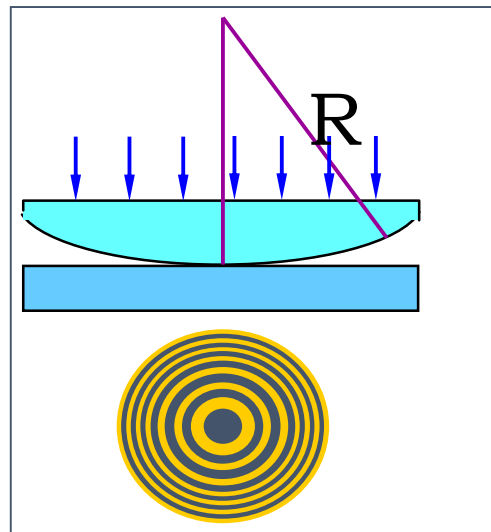


薄膜干涉

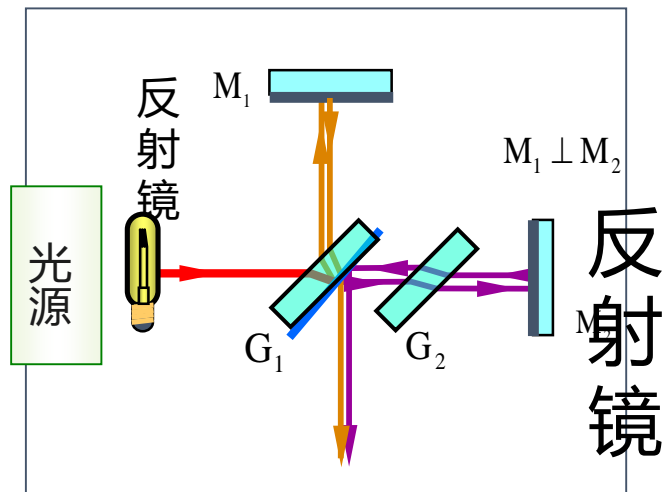
干涉



劈尖



牛顿环



迈克耳孙干涉仪

一 相干光

- 1) 相干条件：振动方向相同；频率相同；相位差恒定.
- 2) 相干光的产生：波阵面分割法；振幅分割法.

二 杨氏双缝干涉实验

用波阵面分割法产生两相干光源. 干涉条纹是等间距的直条纹.

条纹间距: $\Delta x = \frac{d'\lambda}{d} \quad (\Delta k = 1)$

三 光程: 媒质折射率与光的几何路程之积 = nr

- 1) 相位差和光程差的关系

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}$$

光程差

光在真空中波长

2) 透镜不引起附加的光程差

3) 光由光疏媒质射向光密媒质而在界面上反射时，发生半波损失，这损失相当于 $\lambda/2$ 的光程。

三 薄膜干涉

入射光在薄膜上表面由于反射和折射而“分振幅”，在上下表面反射的光为相干光。

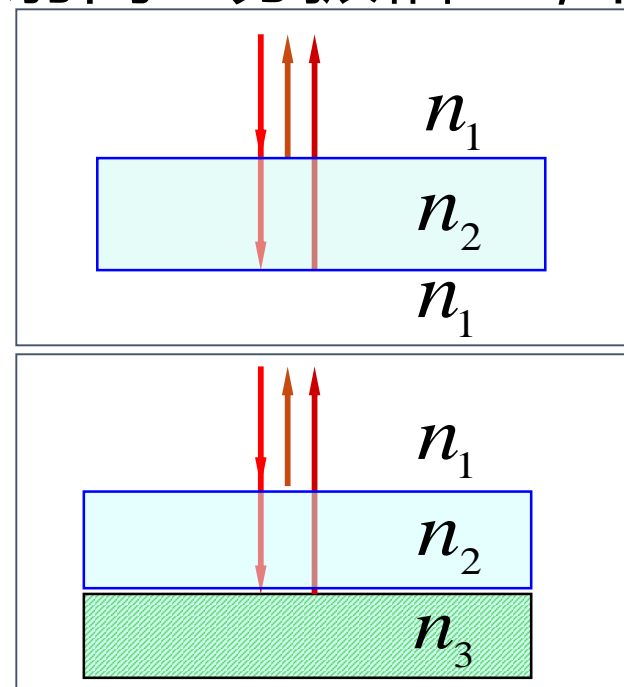
◆ 当光线垂直入射时 $i = 0^\circ$

当 $n_2 > n_1$ 时 $\Delta_r = 2dn_2 + \lambda/2$

$$\Delta_t = 2dn_2$$

当 $n_3 > n_2 > n_1$ 时

$$\Delta_r = 2dn_2 \quad \Delta_t = 2dn_2 + \lambda/2$$



等倾干涉

当 d 、 n_1 、 n_2 、 λ 一定时， $\Delta_{\text{反}}$ 由 i 决定。

$$\Delta_{\text{反}} = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2 \dots \text{加强} \\ (2k + 1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2 \dots \text{减弱} \end{cases}$$

凡是用相同倾角入射的光，其反射光束都有相同的光程差，对应干涉图样中的同一条纹，这种干涉称为等倾干涉。

$$\Delta_{\text{反}} = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \underline{k = 1, 2 \cdots} \text{ 加强} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2 \cdots \text{ 减弱} \end{cases}$$

当光线垂直入射 ($i = 0$) 时

$$\Delta_{\text{反}} = 2n_2d + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2, \cdots \text{ 加强} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \cdots \text{ 减弱} \end{cases}$$

◆ 等厚干涉

1) 干涉条纹为光程差相同的点的轨迹，即厚度相等的点的轨迹

$$\Delta k = 1 \quad \Delta d = \lambda / 2n$$

2) 厚度线性增长条纹等间距，厚度非线性增长条纹不等间距

3) 条纹的动态变化分析（ n, λ, θ 变化时）

4) 半波损失需具体问题具体分析

$$\Delta = 2nd + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda, & k = 1, 2, \dots \quad \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & k = 0, 1, \dots \quad \text{暗纹} \end{cases}$$

➤ 劈尖条纹间距 $b = \frac{\lambda}{2n\theta} = \frac{\lambda}{2nD} L$

➤ 牛顿环 { $\begin{cases} \text{明环半径 } r = \sqrt{(k - \frac{1}{2})R\lambda} & (k = 1, 2, 3, \dots) \\ \text{暗环半径 } r = \sqrt{kR\lambda} & (k = 0, 1, 2, \dots) \end{cases}$

四 迈克耳孙干涉仪

利用分振幅法垂直的平面镜形成一等效的空气薄膜使两相互相干光束在空间完全分开，并可用移动反射镜或在光路中加入介质片的方法改变两光束的光程差。

移动反射镜

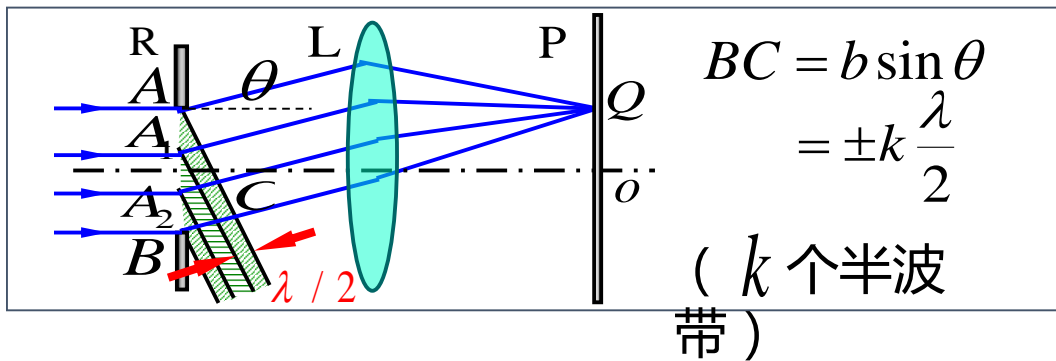
$$\Delta d = \Delta k \frac{\lambda}{2}$$

光路中加入介质片

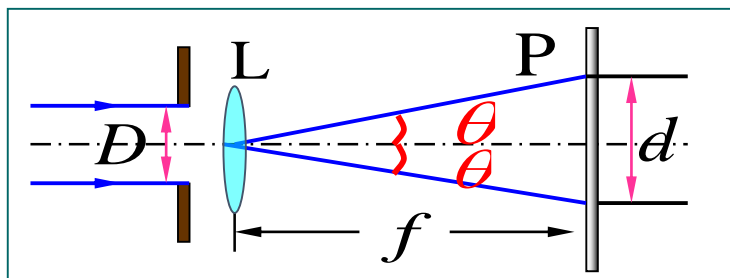
$$2(n - 1)e = \Delta k \lambda$$

二 光的衍射

- 1.了解惠更斯—菲涅耳原理及光衍射的定性解释。
- 2.理解半波带法分析单缝衍射规律，掌握单缝衍射的明暗纹公式。掌握光学仪器分辨率的概念。
- 3.掌握光栅方程及光栅衍射的条纹特点。

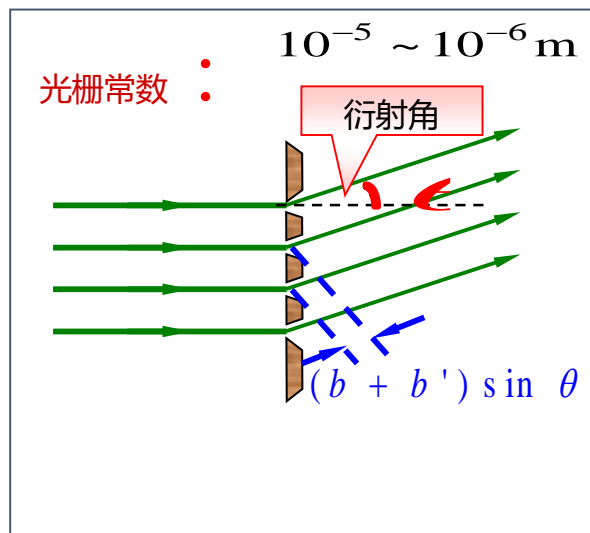


单缝衍射



圆孔衍射

衍射



光栅衍射

一 惠更斯-菲涅尔原理

波阵面上各点都可以当作子波波源，其后波场中各点波的强度由各子波在该点的相干叠加决定。

二 夫琅禾费衍射

➤ 单缝衍射：可用半波带法分析，单色光垂直入射时

$$\left\{ \begin{array}{ll} b \sin \theta = 0 & \text{中央明纹中心} \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \\ b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda & \text{暗纹中心} \quad \boxed{2k \text{ 个半波带}} \\ b \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & \text{明纹中心} \quad \boxed{2k + 1 \text{ 个半波带}} \end{array} \right.$$

➤ 圆孔衍射：单色光垂直入射时，中央亮斑的角半径 θ

$$D \sin \theta = 1.22\lambda \quad (\text{D 为圆孔直径})$$

三 光学仪器的分辨本领

根据圆孔衍射规律和瑞利判据,最小分辨角 $\theta_0 = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

$$\text{光学仪器分辨率} = \frac{1}{\theta_0} = \frac{D}{1.22\lambda} \propto D, \frac{1}{\lambda}$$

四 光栅衍射条纹的形成

光栅的衍射条纹是单缝衍射和多光束干涉的总效果.

$$(b + b') \sin \theta = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

◆ 谱线强度受单缝衍射的影响可产生缺级现象.

出现
缺级

$$\frac{b + b'}{b} = \frac{k}{k'}$$

三 光的偏振

- 1.理解自然光与线偏振光的区别及线偏振光的获得和检验方法。
- 2.掌握马吕斯定律和布儒斯特定律。
- 3.理解双折射现象。

一 光的偏振

光波是横波，电场矢量表示光矢量，光矢量方向和光传播方向构成振动面。

三类偏振态：自然光、偏振光、部分偏振光。

二 线偏振光：可用偏振片产生和检验。

马吕斯定律 强度为 I_0 的偏振光通过检偏振器后，出射光的强度为

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

三 光反射与折射时的偏振

布儒斯特定律：当入射角为布儒斯特角 i_0 时，反射光为完全偏振光，且振动面垂直入射面，折射光为部分偏振光。

$$\tan i_0 = n_2 / n_1$$

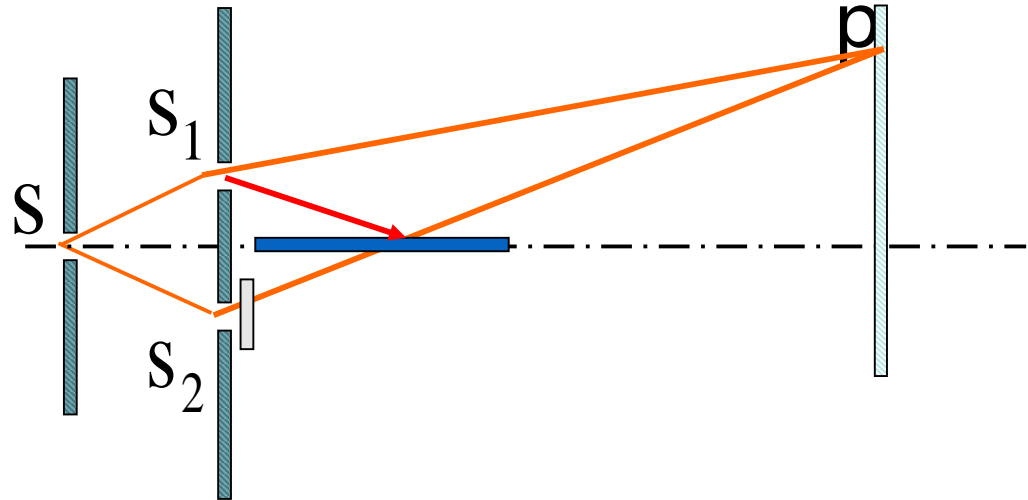
例 在双缝实验中，屏幕上的P点处是明条纹，若将 S_2 封盖住，并在 S_1S_2 连线的平分面处放一反射镜，则此时

(A) P点处仍为明纹

(B) P点处为暗纹

(D) 无干涉条纹

(C) 不能确定P点处是明纹还是暗纹



(B)

例 两个几何形状完全相同的劈尖：一个是由空气中玻璃形成；另一个是夹在玻璃中的空气形成，当用相同的单色光分别垂直照射它们时，产生干涉条纹间距大的是：

(1) 空气中的玻璃劈尖

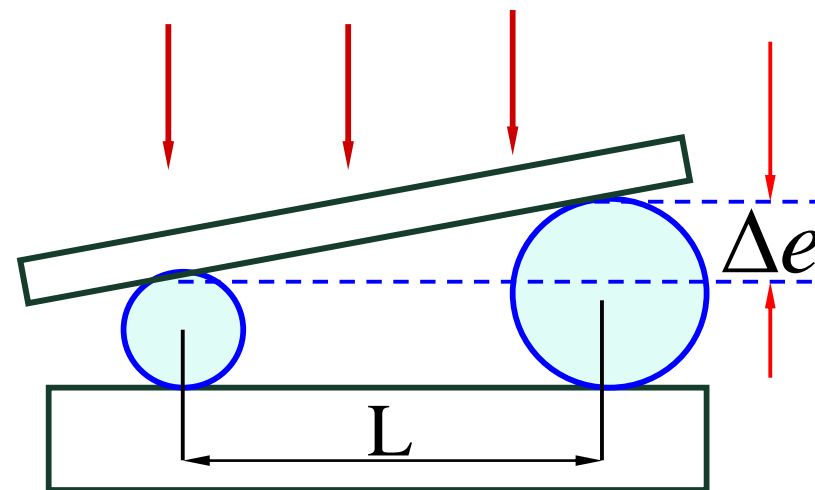
★(2) 玻璃夹层中的空气劈尖

(3) 两个劈尖干涉条纹间距相等

(4) 观察不到玻璃劈尖的干涉条纹

例 如图示两个直径有微小差别的彼此平行的滚柱之间的距离为 L ，夹在两块平晶的中间，形成空气劈尖，当单色光垂直入射时，产生等厚干涉条纹，如果滚柱之间的距离变小，则在 L 范围内干涉条纹的

- (1) 数目减少，间距变大
- ★(2) 数目不变，间距变小
- (3) 数目增加，间距变小
- (4) 数目减少，间距不变



滚柱之间的距离变小，劈间角变大； Δe 不变.

例 若在牛顿环装置的透镜和平板玻璃板间充满某种折射率大于透镜折射率而小于平板玻璃的某种液体，则从入射光方向所观察到的牛顿环的环心是

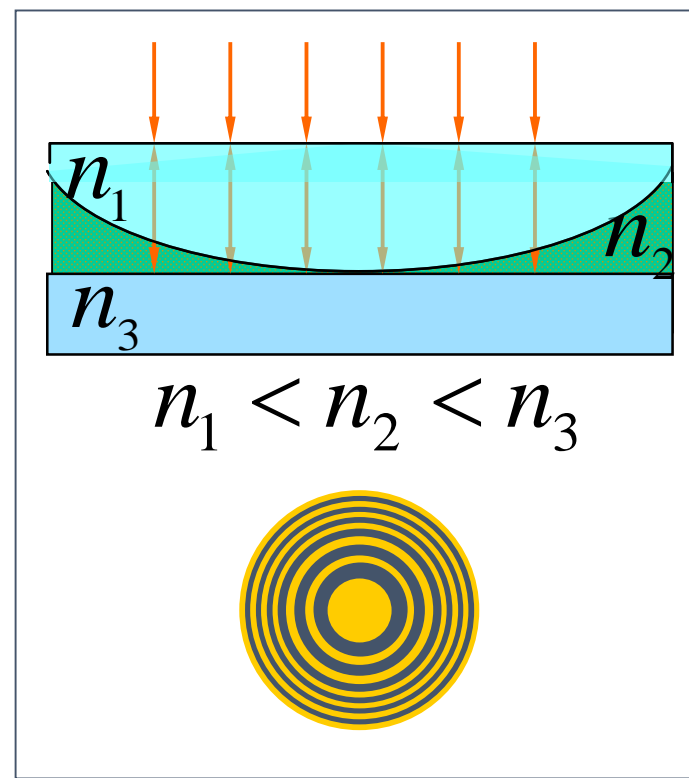
(1) 暗斑

★ (2) 明斑

(3) 半明半暗的斑

(4) 干涉现象消失

$$\Delta_r = 2n_2e \quad e = 0, \quad \Delta_r = 0$$



例 在迈克耳孙干涉仪的一条光路中，放入一折射率为 n 、厚度为 t 的透明薄片，放入后，这条光路的光程改变了(A)

- (A) $2(n-1)t$ (B) $2nt$ (C) $2(n-1)t + \frac{\lambda}{2}$
(D) $(n-1)t$ (E) nt

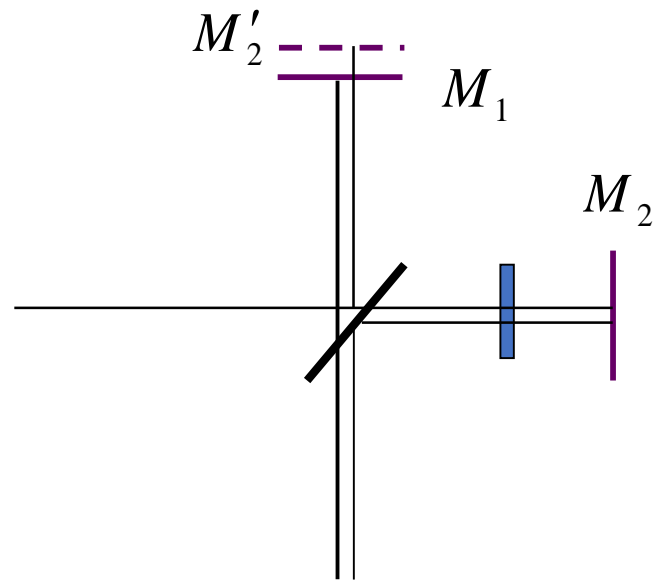
此时观察到干涉条纹移动了 N 条，则光波波长为(B)

- (A) $(n-1)t/N$ (C) $4(n-1)t/N$
(B) $2(n-1)t/N$ (D) $(n-1)t/2N$

光程差变化 $= 2(n-1)t$

$$2(n-1)t = \Delta k \lambda = N \lambda$$

$$\text{或 } \Delta d = (n-1)t = N \frac{\lambda}{2}$$



例 在单缝的夫琅和费衍射实验中，屏上第三级暗纹对应的单缝处波面可划分为 6 个半波带，若将缝宽缩小一半，原来第三级暗纹处将是第一级亮纹

$$\frac{1}{2}b \sin \theta = \frac{1}{2} 6 \frac{\lambda}{2} = 3 \frac{\lambda}{2}$$

例 一衍射光栅对某一定波长的垂直入射光,在屏幕上只能出现零级和一级主极大,欲使屏幕出现更高级次的主极大,应该 []

(1) 换一个光栅常数较小的光栅；



(2) 换一个光栅常数较大的光栅；

(3) 将光栅向靠近屏幕的方向移动；

(4) 将光栅向远离屏幕的方向移动.

在光栅光谱中，假设所有的偶数级次的主极大都恰好在每缝衍射的暗纹方向上，因而实际上出现暗纹. 那么光栅每个透光缝宽度 b 和相邻两缝间不透光部分宽度 b' 的关系[]

(A) $b = b'$

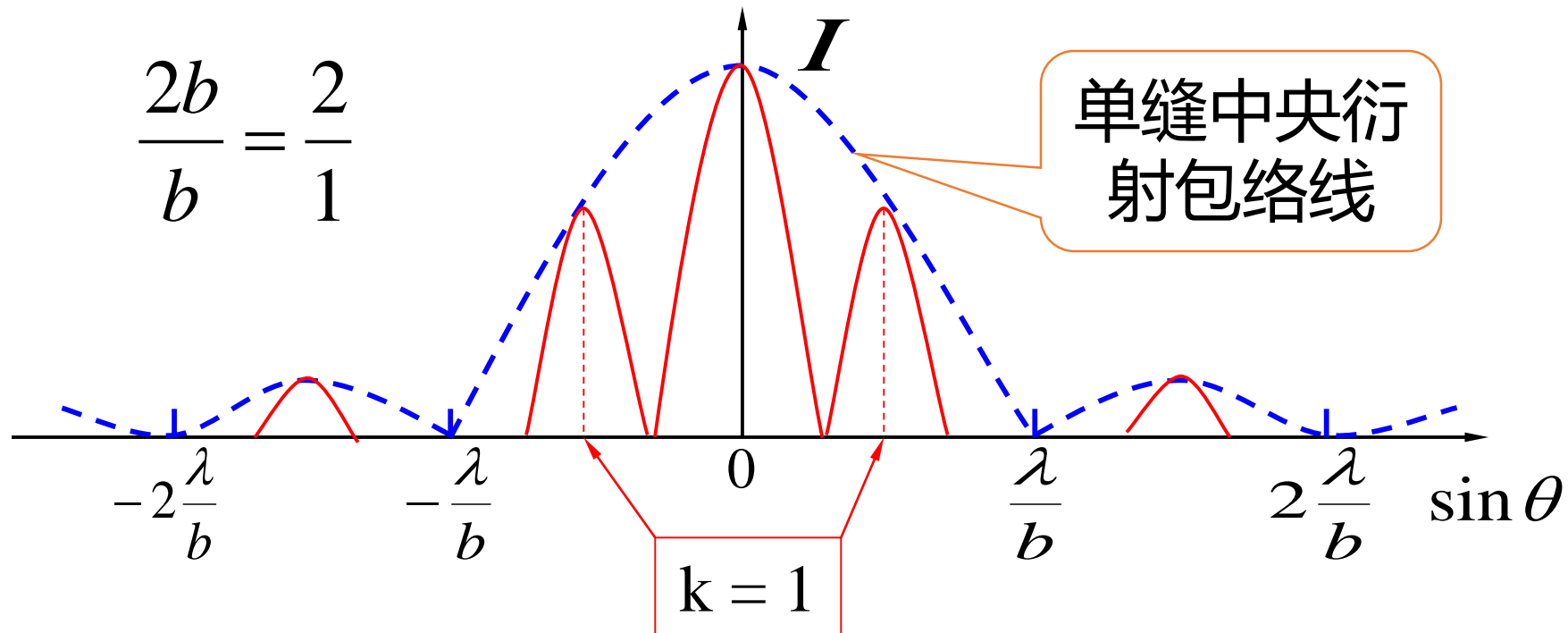
(B) $b = 2b'$

(C) $b = 3b'$

(D) $b' = 2b$

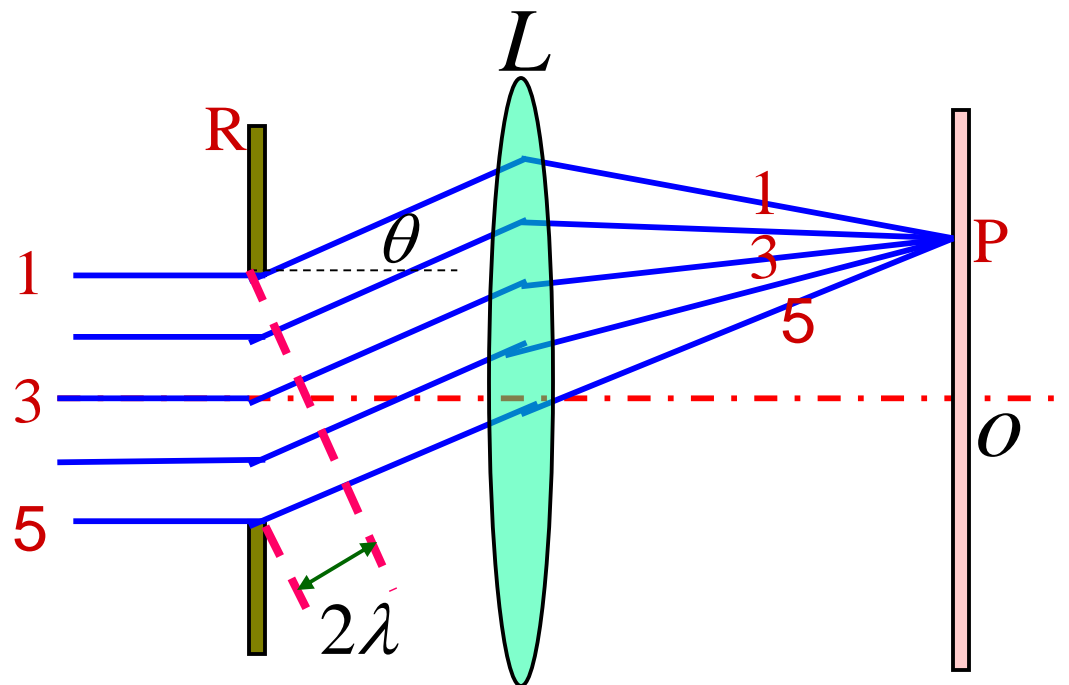
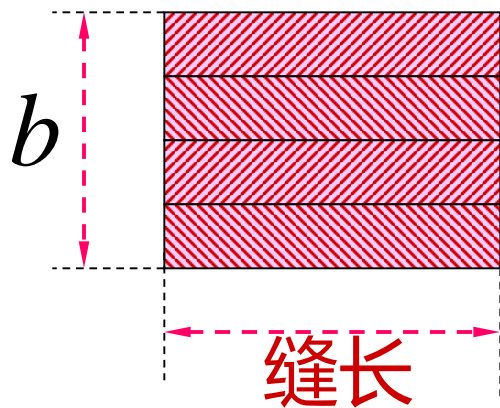
例 双缝的缝宽为 b ，缝间距为 $2b$ （缝的中心点的间隔），则单缝中央衍射包络线内明条纹有

(1) 1条； ★ (2) 3条； (3) 4条； (4) 5条

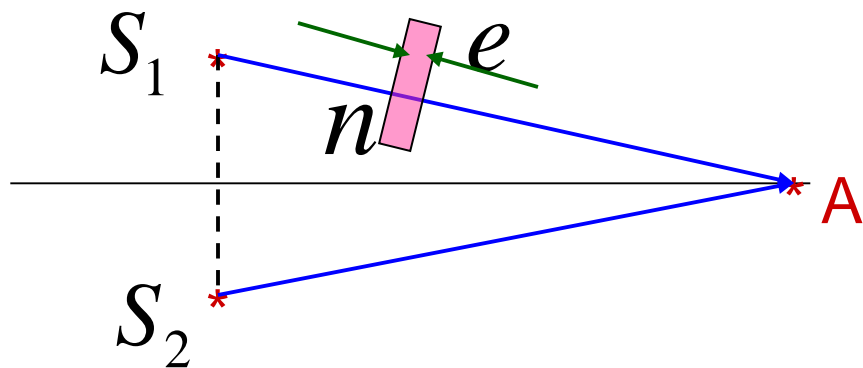


例：单缝衍射图中，各条入射光线间距相等，那么光线 1 与 3 在幕上 P 点相遇时的位相为 2π ，P 点应为 暗 点。

$$b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$$



例 如图两同相的相干点光源 S_1 和 S_2 ，发出波长为 λ 的光，A 是连线中垂线上的一点， S_1 与 A 间插入厚度为 e 的薄片，**求 1)** 两光源发出的光在 A 点的相位差；**2)** 已知 $\lambda = 500\text{nm}$ ， $n = 1.5$ ，A 为第四级明纹中心，求薄片厚度 e 的大小。



$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{(n-1)e}{\lambda}$$

$$(n-1)e = 4\lambda$$

$$e = \frac{4\lambda}{n-1} = \frac{4 \times 500}{1.5-1} \text{ nm} = 4 \times 10^3 \text{ nm}$$

8-11 如图所示, 将一折射率为 1.58 的云母片覆盖于杨氏双缝上的一条缝上, 使得屏上原中央极大的所在点 O 改变为第五级明纹, 假定 $\lambda=550\text{nm}$, 求: (1) 条纹向哪一侧移动?
(2) 云母片厚度 d 。

一光束由强度相同的自然光和线偏振光混合而成, 总光强为 I_0 , 此光束垂直入射到两个叠在一起的偏振片 P_1 、 P_2 上, P_1 与 P_2 的偏振化方向的夹角为 $\alpha=60^\circ$, 若最后出射光的光强为 $I_0/8$, 求入射光中线偏振光的振动方向与偏振片 P_1 的偏振化方向的夹角 θ 。

- 练习测验
- 作业
- 8-9、 11、 ,13、 15、 17、 18、 21
- 论述题
- 整个波动光学知识结构

第九章 近代物理

相对论



教学基本要求

- 一 理解伽利略变换及牛顿力学的绝对时空观.
- 二 了解迈克耳孙 - 莫雷实验.
- 三 理解狭义相对论的两条基本原理，掌握洛伦兹变换式.
- 四 理解同时的相对性，以及长度收缩和时间延缓的概念，掌握狭义相对论的时空观.

— 狭义相对论的基本原理

1 相对性原理

物理定律在所有惯性系中都具有相同的表达形式.

2 光速不变原理

真空中的光速是常量，沿各个方向都等于 c ，与光源或观测者的运动状态无关.

二 洛伦兹坐标变换式

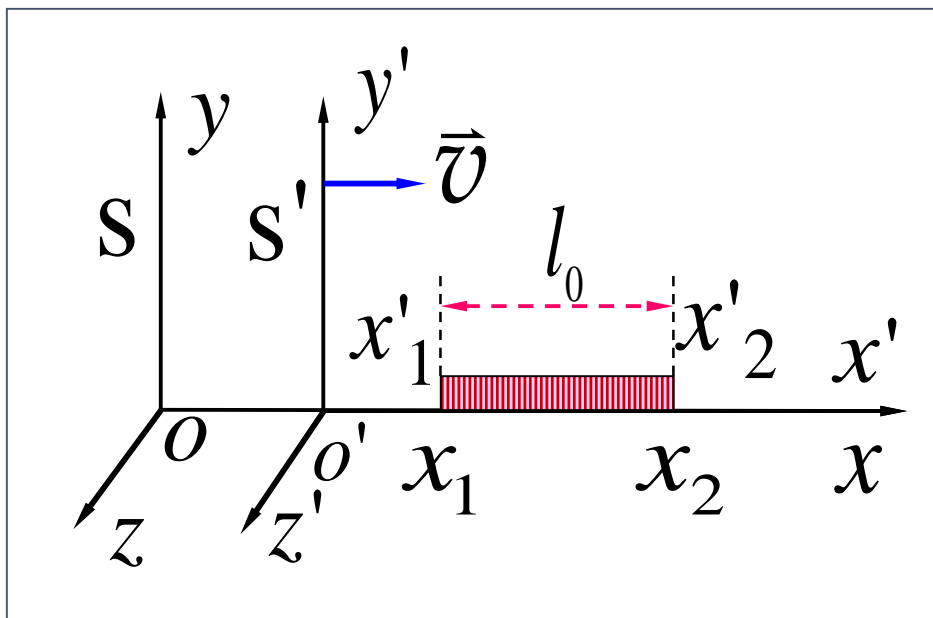
$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \end{array} \right.$$

$$\beta = v/c$$

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$$

三 长度的收缩(动尺变短)

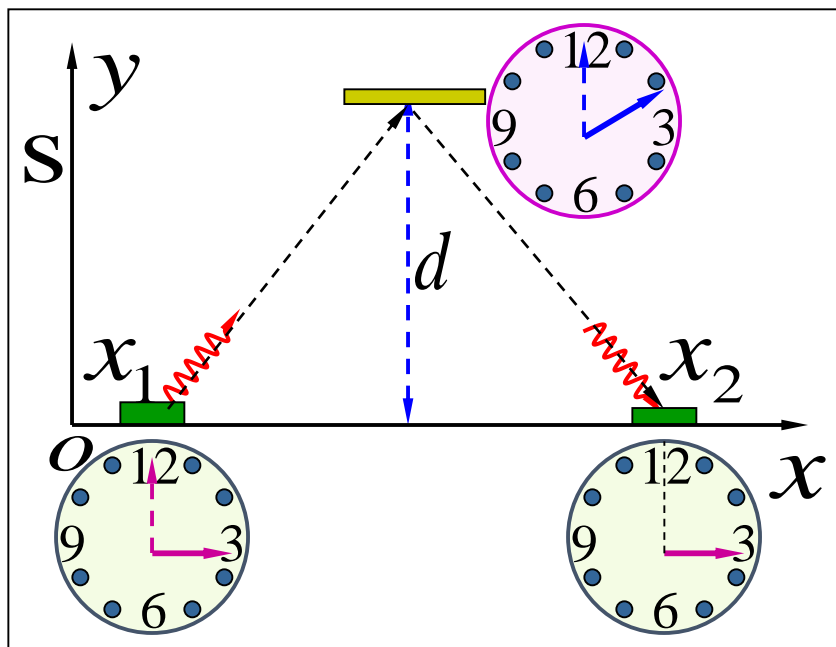
长度的测量和同时性概念密切相关。



t 同时测量

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

四 时间的延缓(动钟变慢)



$$\because \Delta x' = 0$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

4. 一宇航员要到离地球 5 光年的星球去航行, 如果宇航员希望把这路程缩短为 3 光年, 则他所乘的火箭相对于地球的速度应是[]

(A) $\frac{1}{2}c$

(B) $\frac{3}{5}c$

(C) $\frac{4}{5}c$

(D) $\frac{9}{10}c$

答案：C

在某地发生两事件，与该地相对静止的甲测得时间间隔为 4 s，若相对于甲作匀速运动的乙测得的时间间隔为 5 s，则乙相对于甲的运动速度为[]

(A) $\frac{4}{5}c$

(B) $\frac{3}{5}c$

(C) $\frac{1}{5}c$

(D) $\frac{2}{5}c$

答案：B

量子物理

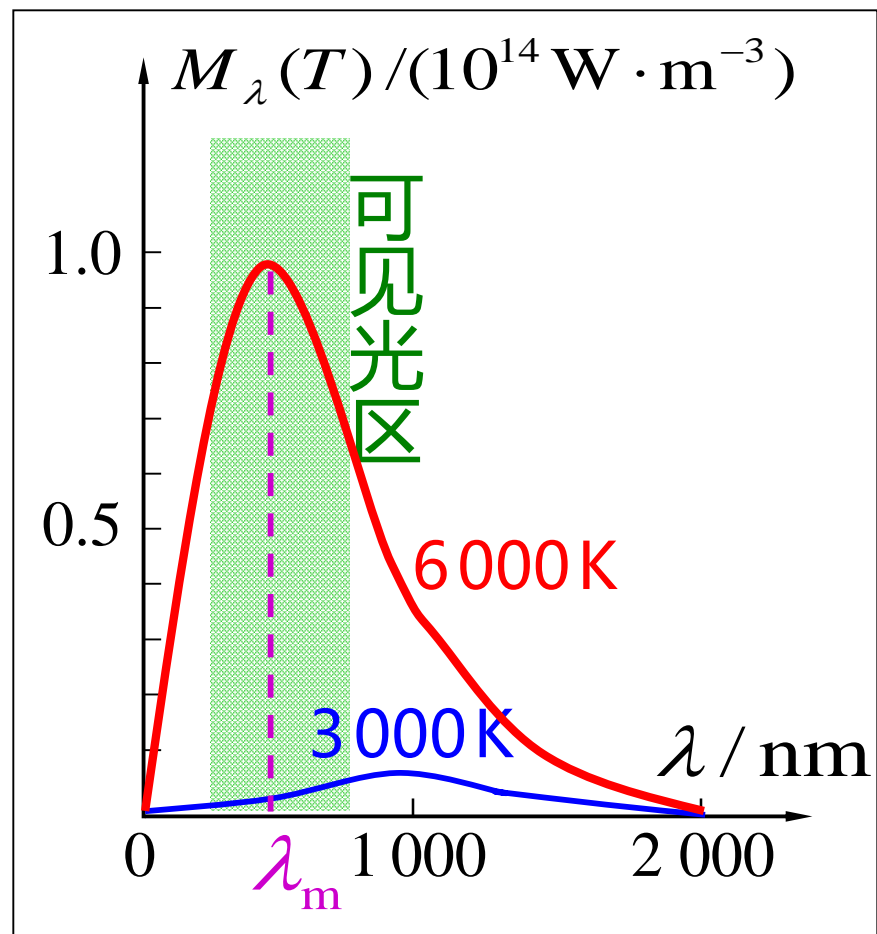


教学基本要求

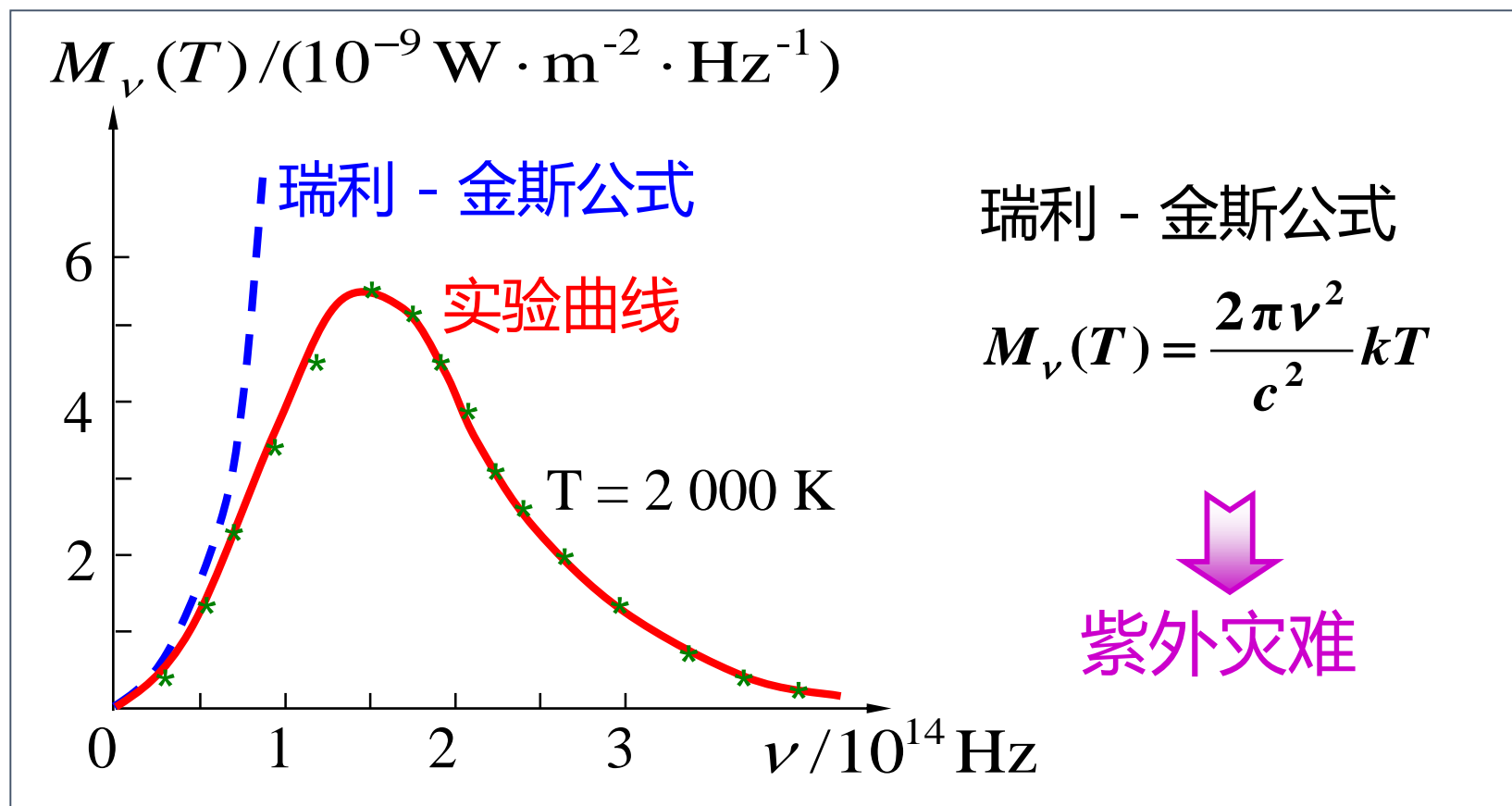
- 一 了解热辐射，以及经典物理理论在说明热辐射的能量按频率分布曲线时所遇到的困难. 理解普朗克量子假设.
- 二 了解经典物理理论在说明光电效应的实验规律时所遇到的困难. 理解爱因斯坦光量子假设，掌握爱因斯坦方程.
- 三 理解康普顿效应的实验规律，以及光子理论对这个效应的解释. 理解光的波粒二象性.
- 四 理解氢原子光谱的实验规律及玻尔氢原子理论.

黑体辐射的实验规律

黑体单色辐出度的实验曲线



瑞利 - 金斯公式 经典物理的困难



普朗克量子假设

黑体中的分子、原子的振动可看作谐振子，这些谐振子的能量状态是分立的，相应的能量是某一最小能量的整数倍，即 ε ， 2ε ， 3ε ，... $n\varepsilon$ ， ε 称为能量子， n 为量子数.

$$\varepsilon = nh\nu \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

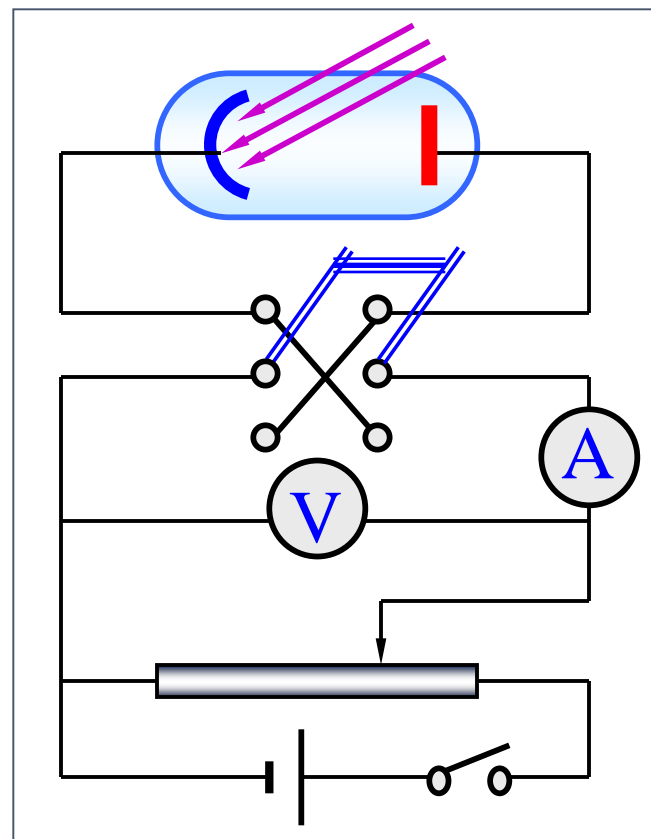
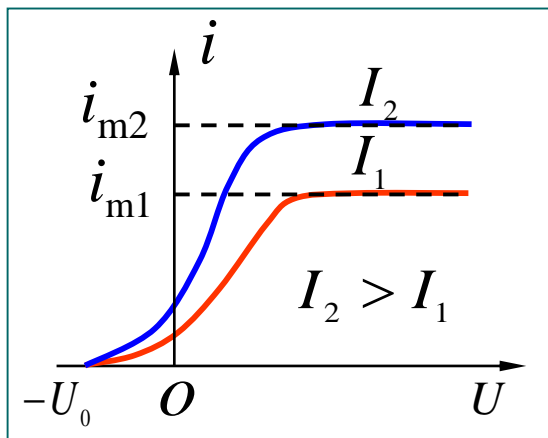
普朗克量子假设是量子力学的里程碑.

光电效应实验的规律

1 实验装置及现象

2 实验规律

(1) 光电流强度与入射光强成正比.



光子 爱因斯坦方程

1 “光量子” 假设

光可看成是由光子组成的粒子流，单个光子的能量为 $\varepsilon = h\nu$.

2 爱因斯坦光电效应方程

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

逸出功与
材料有关

3 普朗克常数的测定

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

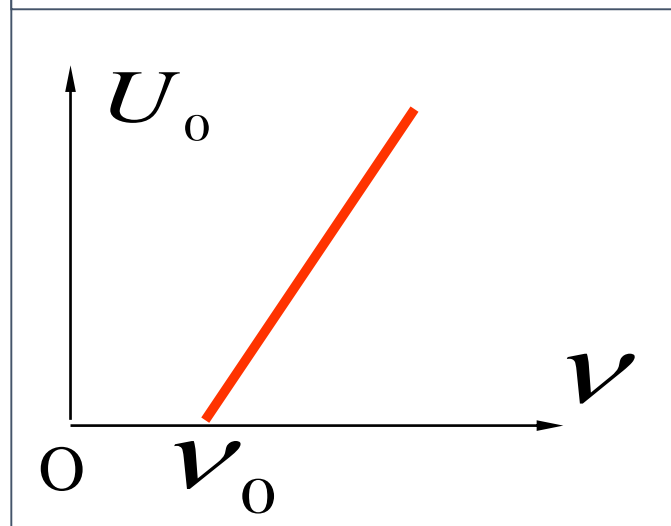
$$h\nu = eU_0 + W$$

$$U_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$$

$$\Delta U_0 / \Delta \nu = h/e$$

$$h = \frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} e$$

遏止电势差和入射
光频率的关系



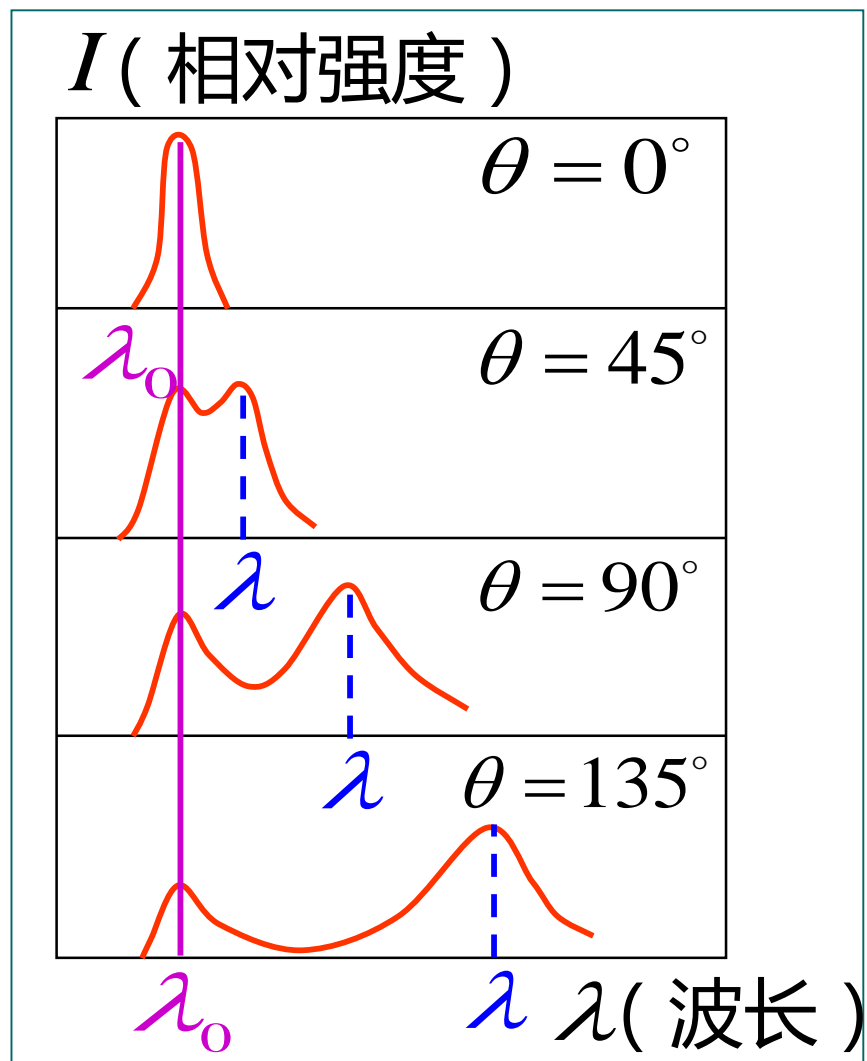
康普顿效应

实验结果

1 波长的偏移

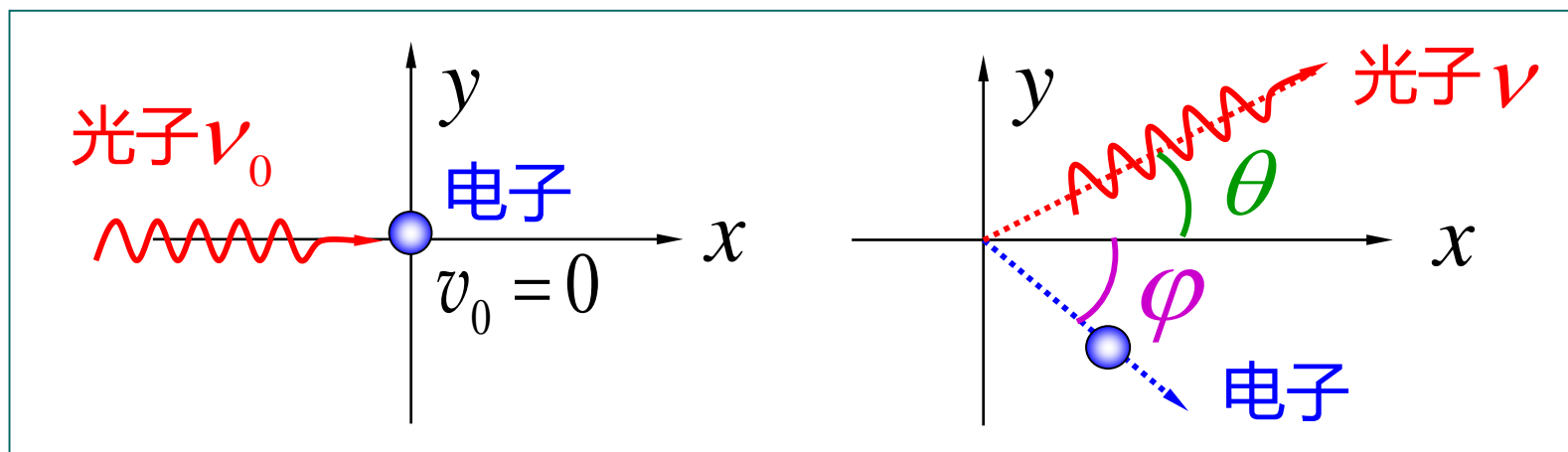
($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$) 与
散射角有关.

2 $\Delta\lambda$ 与散射物体
无关.



量子解释

物理模型



◆ 入射光子 (X 射线或 γ 射线) 能量大 .

$$E = h\nu \quad \text{范围为: } 10^4 \sim 10^5 \text{ eV}$$

氢原子光谱

1 氢原子光谱的实验规律

◆ 1885 年瑞士数学家巴耳末发现氢原子光谱可见光部分的规律:

$$\lambda = 365.46 \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \text{ nm}, \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

◆ 1890 年瑞典物理学家里德伯给出氢原子光谱公式

$$\text{波数 } \sigma = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\left[\begin{array}{l} n_f = 1, 2, 3, 4, \dots, n_i = n_f + 1, n_f + 2, n_f + 3, \dots \\ \text{里德伯常量 } R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \end{array} \right]$$

紫 外

莱曼系 $\sigma = \frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}), \quad n = 2, 3, \dots$

可见光

巴尔末系 $\sigma = \frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}), \quad n = 3, 4, \dots$

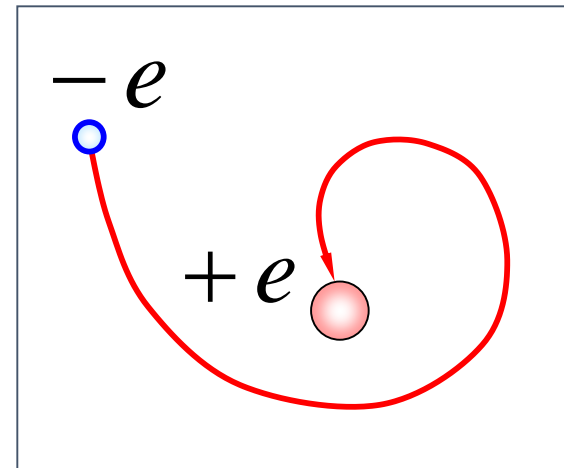
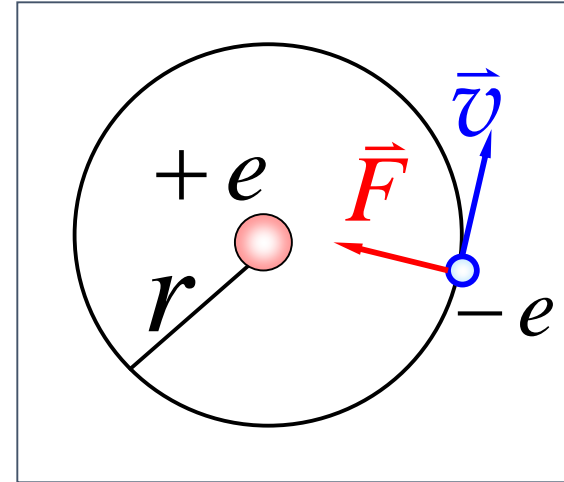
氢原子的玻尔理论

1 经典有核模型的困难

根据经典电磁理论，电子绕核作匀速圆周运动，作加速运动的电子将不断向外辐射电磁波。

◆ 原子不断向外辐射能量，能量逐渐减小，电子旋转的频率也逐渐改变，发射光谱应是连续谱；

◆ 由于原子总能量减小，电子将逐渐的接近原子核而后相遇，原子不稳定.



2 玻尔的氢原子理论

1913年玻尔在卢瑟福的原子结构模型的基础上，将量子化概念应用于原子系统，提出三条假设：

(1)定态假设

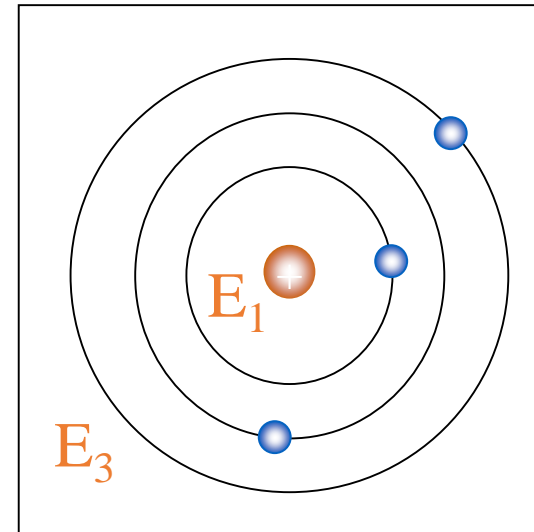
(2)频率条件

(3)量子化条件

(1)定态假设

电子在原子中可以在一些特定的圆轨道上运动而不辐射电磁波，这时，原子处于稳定状态，简称**定态**。

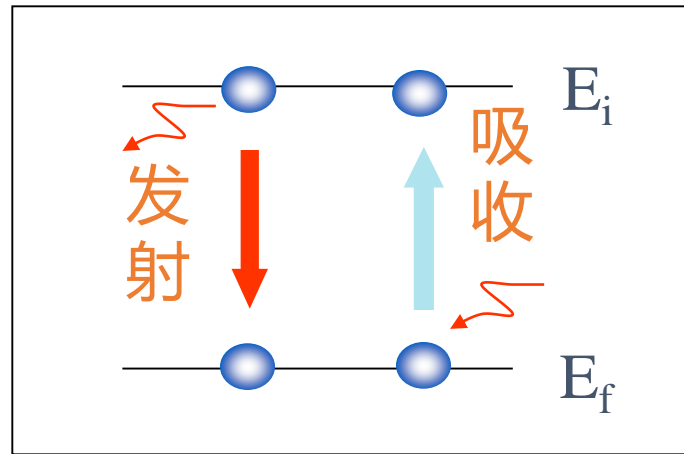
与定态相应的能量分别为 E_1, E_2, \dots , $E_1 < E_2 < E_3$



(2) 频率条件

$$h\nu = E_i - E_f$$

(3) 量子化条件



$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi}$$

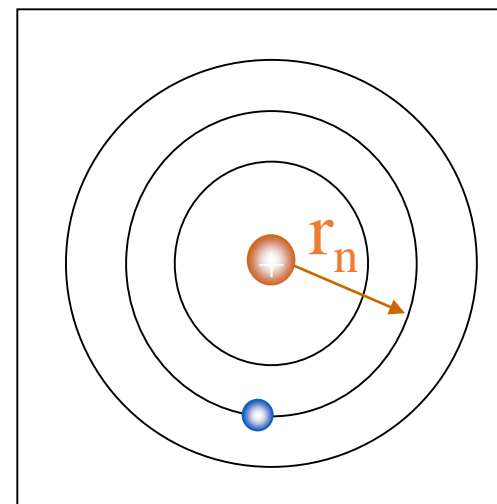
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

主量子数

3 氢原子轨道半径和能量的计算

(1) 轨道半径

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{经典力学: } \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n} \\ \text{量子化条件: } m v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \end{array} \right.$$



$$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} n^2 = r_1 n^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} n^2 = r_1 n^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$n = 1, \text{ 玻尔半径 } r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$$

(2) 能量

第 n 轨道电子总能量：

$$E_n = \frac{1}{2} m v_n^2 - \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 r_n}$$

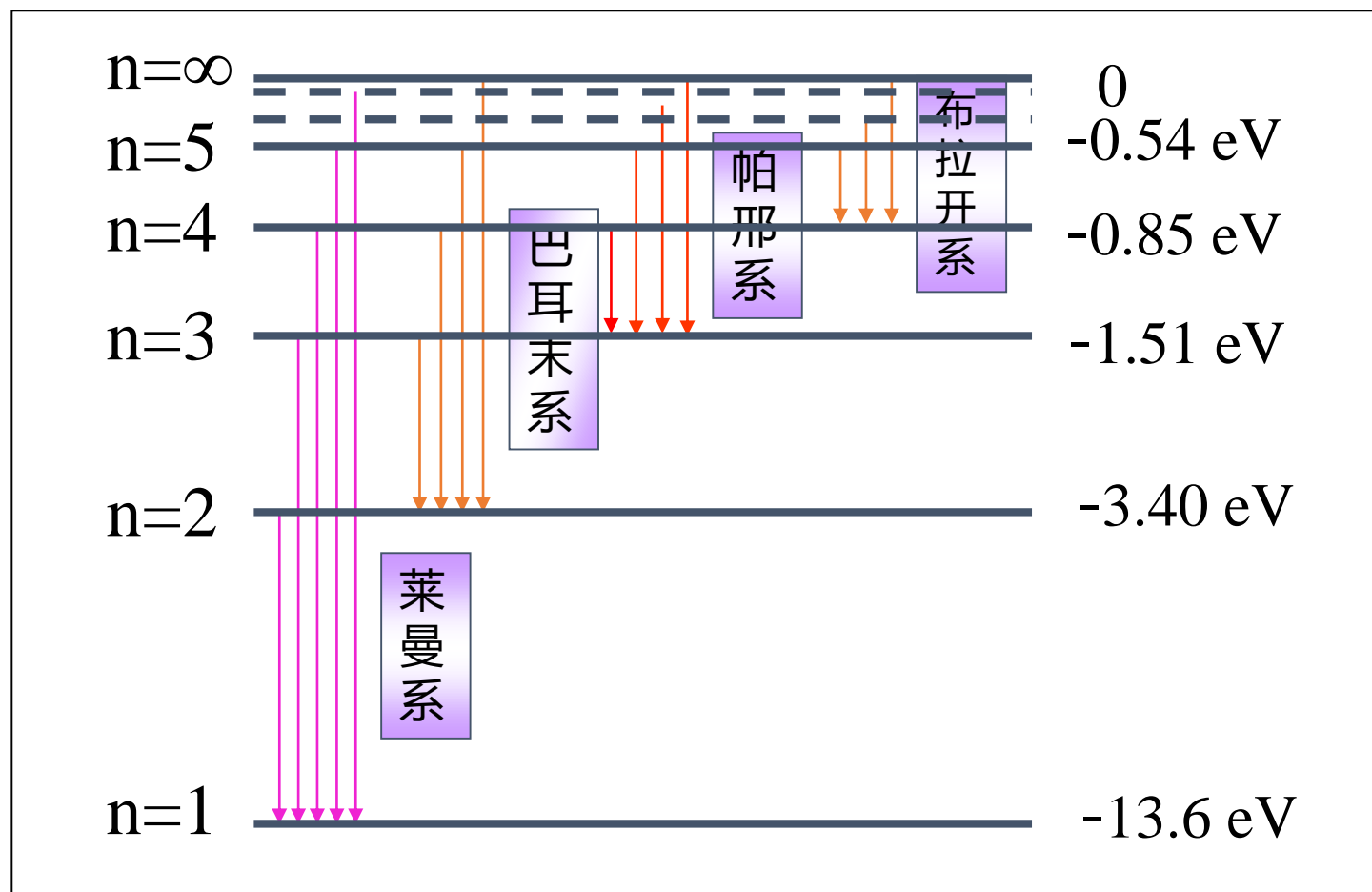
$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{E_1}{n^2}$$

基态能量 ($n = 1$)

$$E_1 = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -13.6 \text{ eV (电离能)}$$

激发态能量 ($n > 1$) $E_n = E_1 / n^2$

氢原子能级跃迁与光谱图



4 玻尔理论对氢原子光谱的解释

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad h\nu = E_i - E_f$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad n_i > n_f$$

$$\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \approx R \text{ (里德伯常量)}$$

氢原子玻尔理论的意义和困难

1 意义

- (1)正确地指出原子能级的存在(原子能量量子化).
- (2)正确地指出定态和角动量量子化的概念.
- (3)正确地解释了氢原子及类氢离子光谱规律.

2 缺陷

(1)无法解释比氢原子更复杂的原子.

(2)对谱线的强度、宽度、偏振等一系列问题无法处理.

(3)半经典半量子理论,既把微观粒子看成是遵守经典力学的质点,同时,又赋予它们量子化的特征.

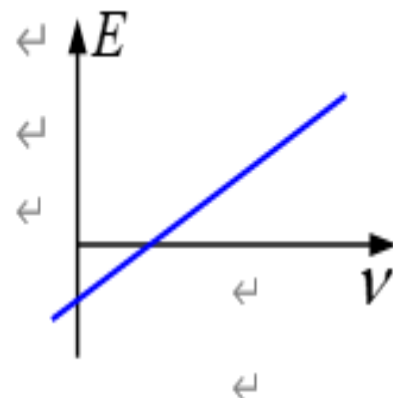
1. 以光电子的最大初动能 $E = \frac{1}{2}mv^2$ 为纵坐标, 入射光子的频率 ν 为横坐标, 可测得 E 、 ν 的关系是一直线. 该直线的斜率以及该直线与横轴的截距分别是[]

- (A) 红限频率 ν_0 和遏止电压 U_0
- (B) 普朗克常量 h 与红限频率 ν_0
- (C) 普朗克常量 h 与遏止电压 U_0
- (D) 斜率无意义, 截距是红限频率 ν_0

←

←

..



答案：B

3. 在康普顿散射中, 若散射光子与原来入射光子方向成 θ 角, 当 θ 等于什么时, 散射光子的频率减少最多? []

(A) $\theta = 0$

(B) $\theta = \frac{\pi}{2}$

(C) $\theta = \pi$

(D) $\theta = \frac{\pi}{4}$

答案：C

5. 根据玻尔氢原子理论，当大量氢原子处于 $n = 3$ 的激发态时，原子跃迁将发出[]

(A) 一种波长的光 ←

(B) 两种波长的光 ←

(C) 三种波长的光 ←

(D) 各种波长的光

答案：C