

第四章核能内容复习：

衰变规律及核反应方程

1. 衰变规律及实质

(1) 两种衰变的比较

衰变类型	α 衰变	β 衰变
衰变方程	${}_Z^AX \rightarrow {}_Z^AY + {}_2^4\text{He}$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$
衰变实质	2个质子和2个中子结合成一个整体射出	中子转化为质子和电子
	$2{}_1^1\text{H} + 2{}_0^1n \rightarrow {}_2^4\text{He}$	${}_0^1n \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0e$
衰变规律	电荷数守恒、质量数守恒	

(2) γ 射线： γ 射线经常是伴随着 α 衰变或 β 衰变同时产生的。其实质是放射性原子核在发生 α 衰变或 β 衰变的过程中，产生的新核由于具有过多的能量（核处于激发态）而辐射出光子。

2. 原子核的人工转变

用高能粒子轰击靶核，产生另一种新核的反应过程。|典型核反应：

(1) 卢瑟福发现质子的核反应方程为： ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ 。

(2) 查德威克发现中子的核反应方程为： ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ 。

(3) 居里夫妇发现放射性同位素和正电子的核反应方程为： ${}^{27}_{12}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{12}\text{P} + {}^1_0\text{n}$ ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}$ 。

3. 确定衰变次数的方法

(1) 设放射性元素 ${}^A_Z\text{X}$ 经过 n 次 α 衰变和 m 次 β 衰变后，变成稳定的新元素 ${}^{A'}_{Z'}\text{Y}$ ，则表示该核反应的方程为：
 ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A'}_{Z'}\text{Y} + n{}^4_2\text{He} + m{}^0_{-1}\text{e}$

根据电荷数守恒和质量数守恒可列方程： $A=A'+4n$ ， $Z=Z'+2n-m$

(2) 确定衰变次数，因为 β 衰变对质量数无影响，先由质量数的改变确定 α 衰变的次数，然后再根据衰变规律确定 β 衰变的次数。

4. 半衰期

(1) 公式： $N_{\text{余}} = N_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{t/\tau}$ ， $m_{\text{余}} = m_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{t/\tau}$

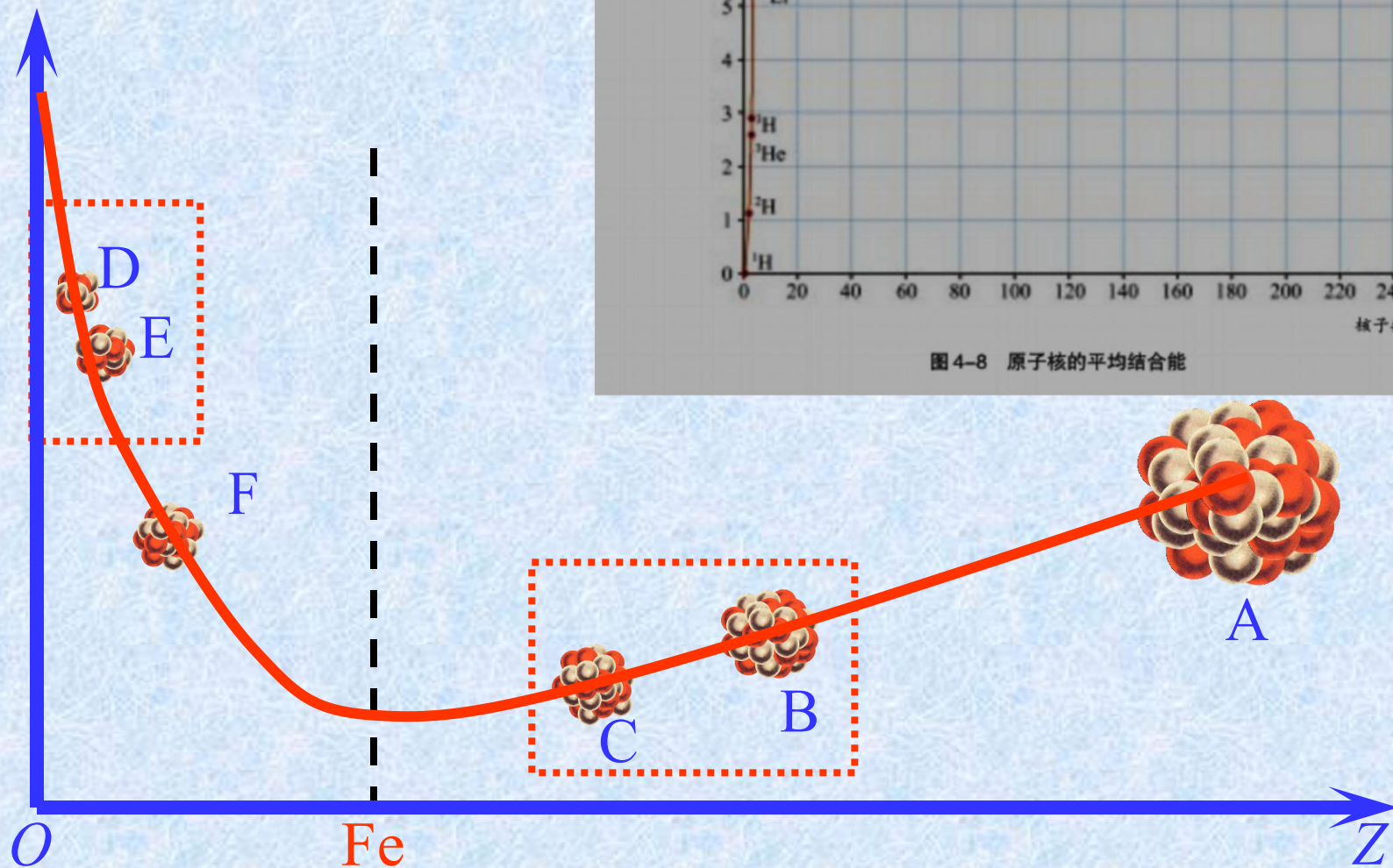
式中 $N_{\text{原}}$ 、 $m_{\text{原}}$ 表示衰变前的放射性元素的原子数和质量， $N_{\text{余}}$ 、 $m_{\text{余}}$ 表示衰变后尚未发生衰变的放射性元素的原子数和质量， t 表示衰变时间， τ 表示半衰期。

(2) 影响因素：放射性元素衰变的快慢是由原子核内部因素决定的，跟原子所处的物理状态（如温度、压强）或化学状态（如单质、化合物）无关。

核反应类型及核反应方程的书写

类 型		可控性	核反应方程典例	
衰变	α 衰变	自发	${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$	
	β 衰变	自发	${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + {}_{-1}^0\text{e}$	
人工转变		人工控制	${}_7^{14}\text{N} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$ (卢瑟福发现质子)	
			${}_2^4\text{He} + {}_4^9\text{Be} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$ (查德威克发现中子)	
			${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$	约里奥·居里夫妇发现放射性同位素，同时发现正电子
			${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_{+1}^0\text{e}$	
重核裂变		比较容易进行人工控制	${}_{90}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$	
			${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{136}\text{Xe} + {}_{38}^{90}\text{Sr} + 10{}_0^1\text{n}$	
轻核聚变		很难控制	${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$	

核子平均质量



核子的平均质量与原子序数之间的关系

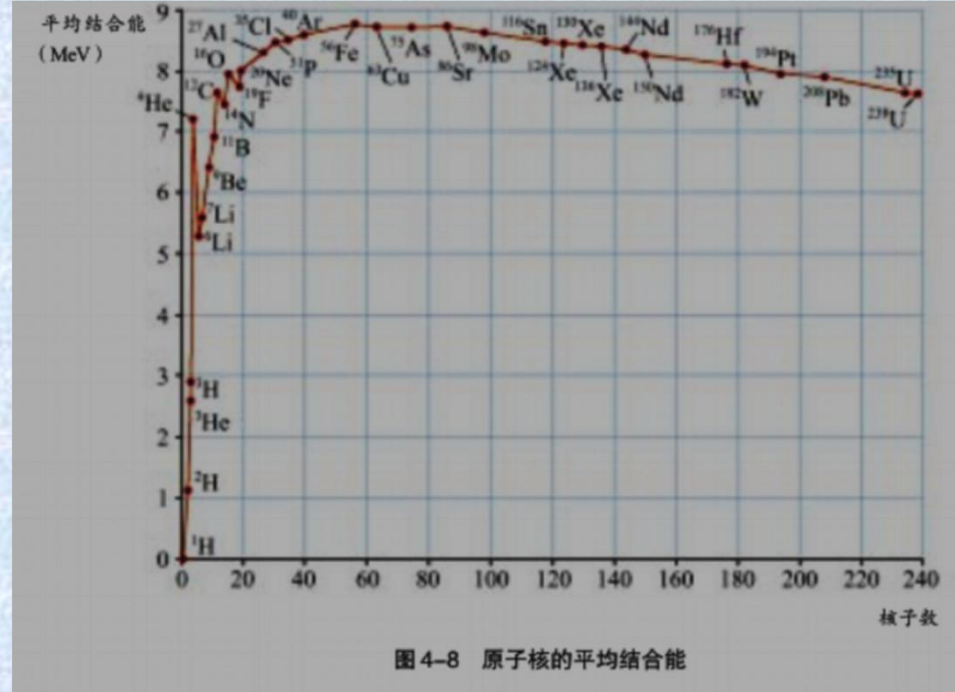


图 4-8 原子核的平均结合能

【跟踪训练】下列说法正确的是().

A. ${}^{15}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He}$ 是 α 衰变方程

✓ B. ${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma$ 是核聚变反应方程

C. ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ 是核裂变反应方程

✓ D. ${}^4_2\text{He} + {}^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$ 是原子核的人工转变方程

提示

核反应有以下类型:

α 衰变; β 衰变; 轻核聚变;
重核裂变; 原子核的人工
核转变

解析 核反应类型分四种, 方程特点各有不同, 衰变方程的左边只有一个原子核, 右边出现 α 或 β 粒子. 聚变方程的左边是两个轻核反应, 右边是中等原子核. 裂变方程的左边是重核与中子反应, 右边是中等原子核. 人工核转变方程的左边是氦核与常见元素的原子核反应, 右边也是常见元素的原子核, 由此可知B、D两选项正确.

答案 BD

解析显隐

选修3-5第五章波与粒子

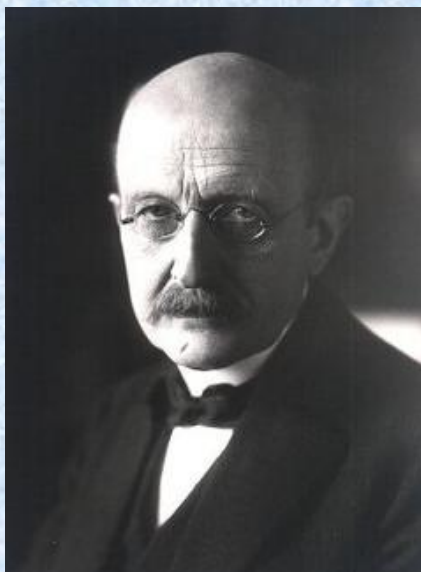
第一节 光电效应

连江一中 李平

2020、2、21

让大学物理系学生敬而远之的原子物理学家。





普朗克



爱因斯坦



康普顿



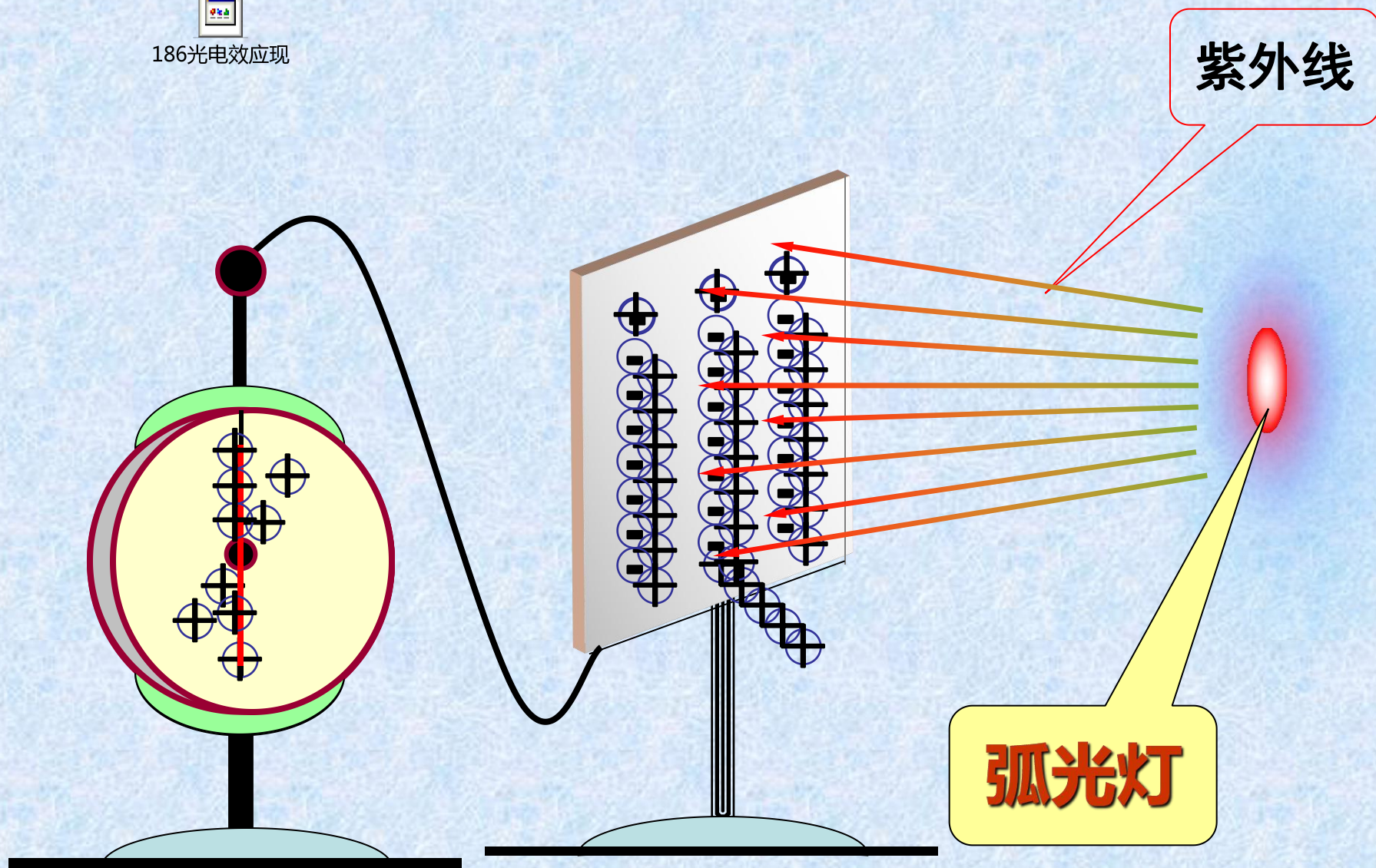
德布罗意

光的本性学说发展史

- 1、**牛顿的微粒说**：光是高速粒子流，解释了光的直线传播和反射
- 2、**惠更斯的波动说**：光是某种振动以波的形式向周围传播，解释了光的干涉、衍射、直进、反射
- 3、**麦克斯韦的电磁说**：光是一种电磁波，发展了光的波动理论
- 4、**爱因斯坦的光子说**：光具有粒子性，成功解释了光电效应
- 5、**德布罗意的波粒二象性学说**：光既具有粒子性又有波动性。



186光电效应现



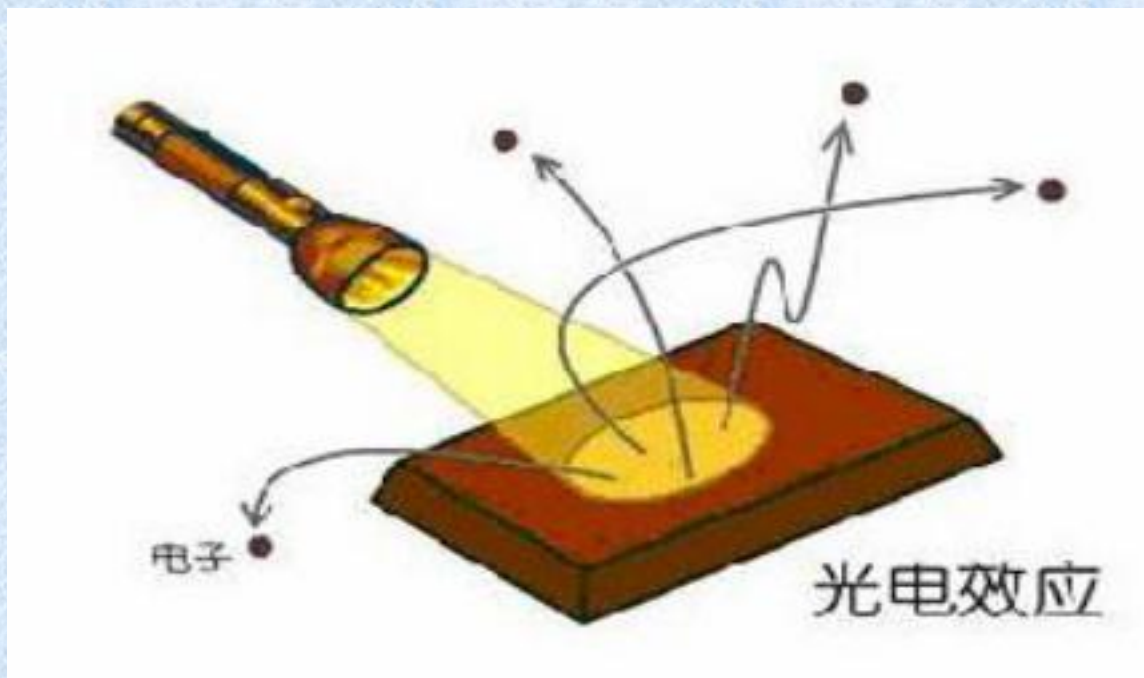
一. 光电效应

1. 光电效应

当光线（包括不可见光）照射在金属表面时，金属中有电子逸出的现象，称为**光电效应**。

2. **光电子**：吸收光子后发射出来的电子

3. **光电流**：光电子定向移动形成的电流



实验与探究

指针不偏转

白炽灯

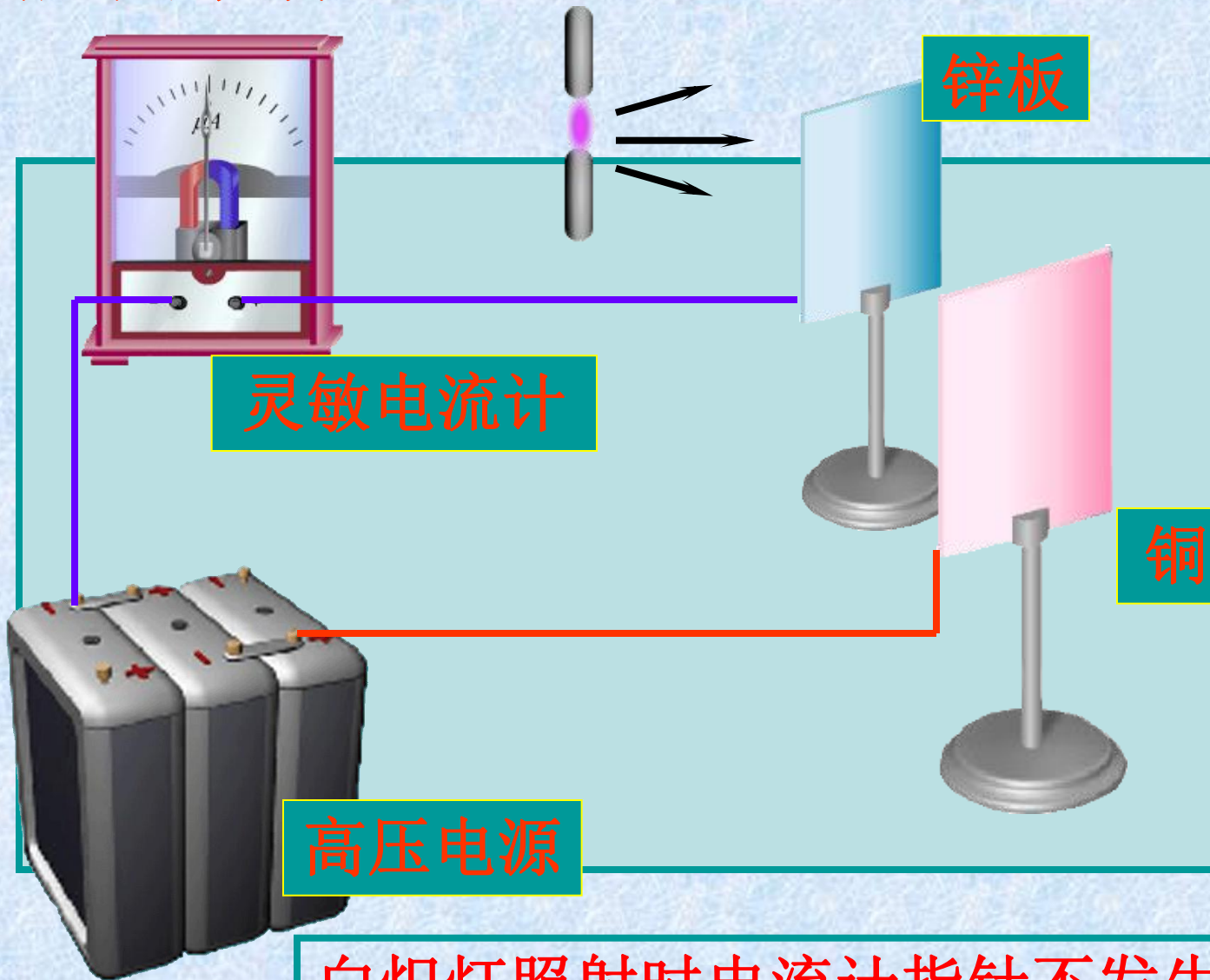
锌板

灵敏电流计

铜网

高压电源

白炽灯照射时电流计指针不发生偏转



实验与探究

指针偏转

紫外光

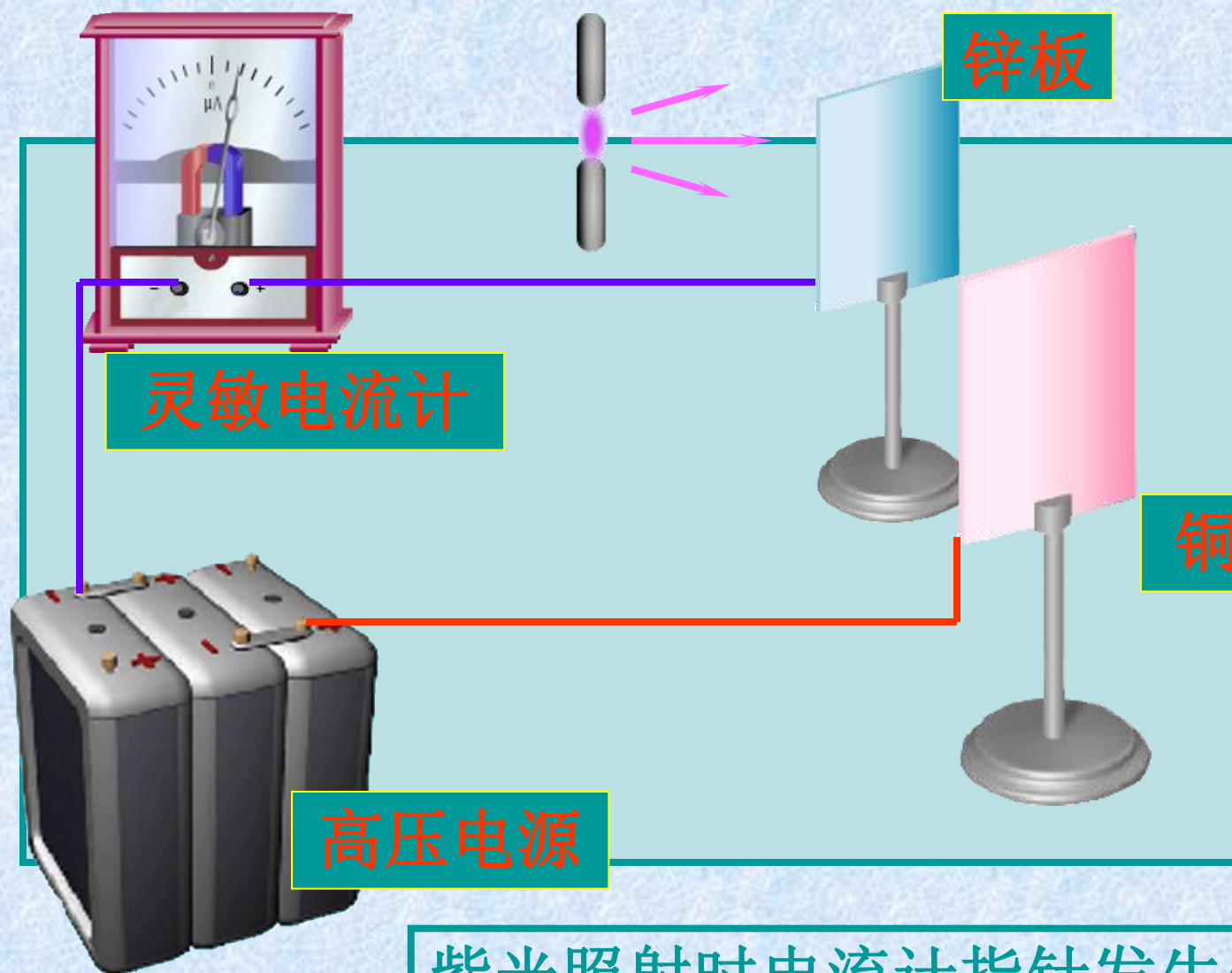
锌板

灵敏电流计

铜网

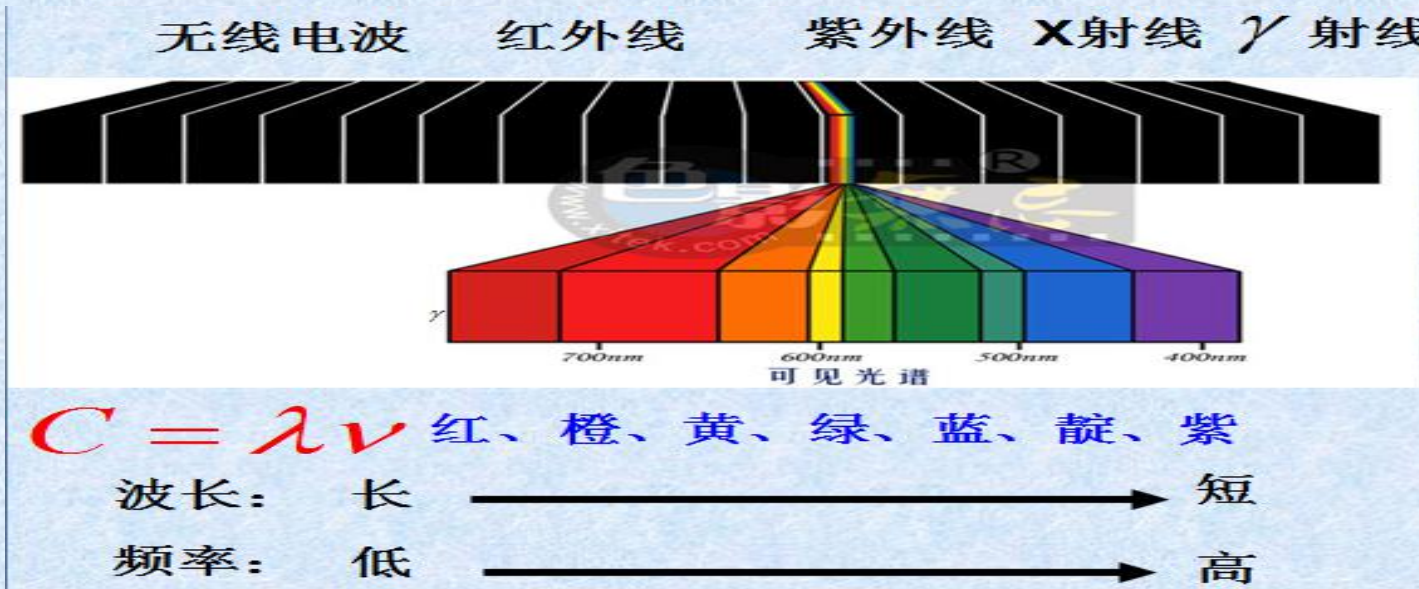
高压电源

紫光照射时电流计指针发生偏转



观察flash演示,从光的频率分析规律:

- 1) 白炽灯发出的光与紫外光的频率谁大? 波长呢?
- 2) 紫外光发生光电效应现象吗? 增加光照强度会怎样?
- 3) 白炽灯发生光电效应现象吗? 增加光照强度会怎样?
- 4) 如果能发生光电效应的光照临界频率是 ν_0 , 请总结出光电效应的规律



二.光电效应现象的规律

- 1、任何一种金属，都存在极限频率 ν_0 ，只有当入射光 $\nu > \nu_0$ ，才能发生光电效应。
- 2、产生光电效应时,电光流随入射光强度的增大而增大。光的强度越大，单位时间内逸出金属表面的电子数越多。
- 3、光电效应的发生时间几乎是瞬时的,通常可在 10^{-9}s 发生光电效应。
- 4、光电子的最大初动能 E 与入射光强度无关，只随入射光频率的增大而增大。

阅读课本，回答下列问题

几种金属的极限频率 ν_0 和极限波长 λ_0

	铯	钾	锌	银	铂
ν_0/Hz	4.55×10^{14}	5.38×10^{14}	8.07×10^{14}	11.5×10^{14}	15.3×10^{14}
λ_0/nm	660	558	372	260	196

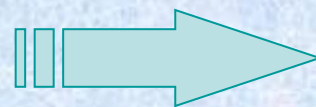
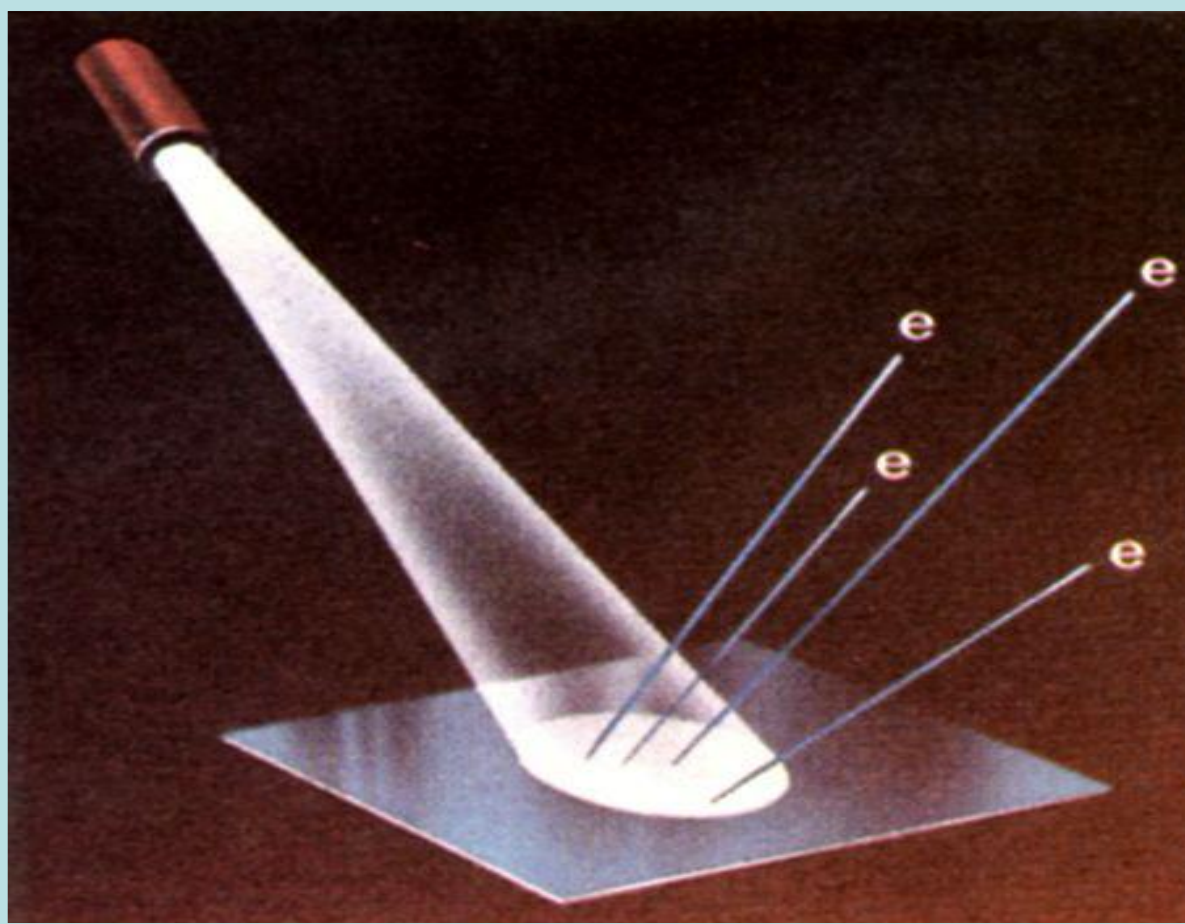
(1) 某光恰能使锌发生光电效应，那么能使表格内哪些金属发生光电效应？

(2) 表中哪种金属最易发生光电效应？



思考

为什么说光的波动理论无法解释光电效应的规律？



回想一下
光的波动理论
是怎样描述光
的能量的呢？

光的波动理论描述光的能量

- 1、能量是连续的。
- 2、振幅（光强）越大，光能越大，光的能量与频率无关。

1、极限频率

2、光电效应中的光强增大，光电流也增大

3、光电效应的瞬时性

4、光电效应出射光子的初动能与频率有关，与光强无关

波动理论在解释光电效应时的矛盾

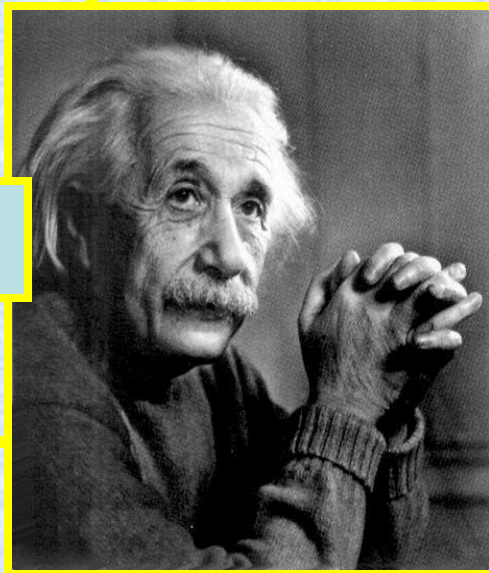
- 1、波动理论无法解释极限频率。
- 2、弱光照射时应有能量积累过程，不应瞬时发生。
- 3、光电子最大初动能 E 的大小应与光强有关，与无关。

光的波动理论在解释光电效应时遇到了巨大的困难。后来，爱因斯坦在普朗克量子化理论的启发下，提出了光子学说。



普朗克

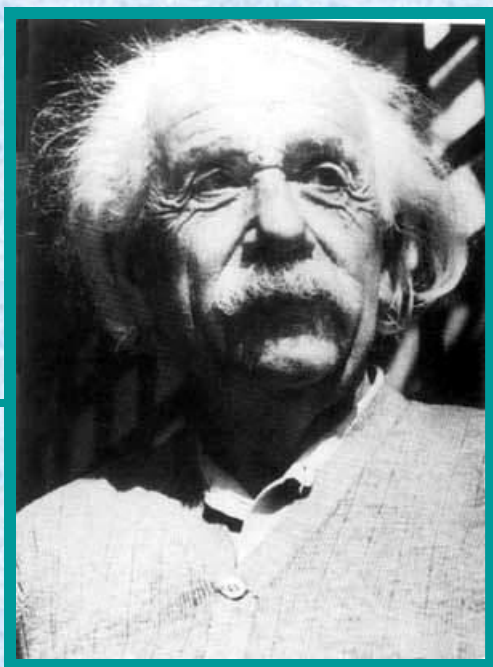
爱因斯坦



$$\varepsilon = h\nu$$

光子说

爱因斯坦在1905年提出，在空间中传播的光也不是连续的，而是一份一份的，每一份叫做一个光量子，简称光子。



光子的能量和频率成正比：

$$\varepsilon = h\nu$$



光子说

光子说的这两点实际上是针对波动理论的两大要害提出的。爱因斯坦当时在实验事实还不是很充分的时候，提出了光子说，是对科学的重大贡献。这也说明理论与新的实验事实不符时，要根据事实建立新的理论，因为实践是检验真理的唯一标准。

根据能量守恒原理，爱因斯坦认为：如果入射光的能量 $h\nu$ 大于一个电子从金属表面逸出而必须做的功——逸出功 W ，那么有些光电子在脱离金属表面后还有剩余能量，即有些光电子具有一定的动能，因为不同的电子脱离某种金属所需的功不一样，所以它们吸收了光子的能量并从这种金属逸出之后剩余的动能也不一样，由于逸出功 W 是使电子脱离金属所需做的最小功，所以电子吸收光子后能获得的最大初动能应满足：

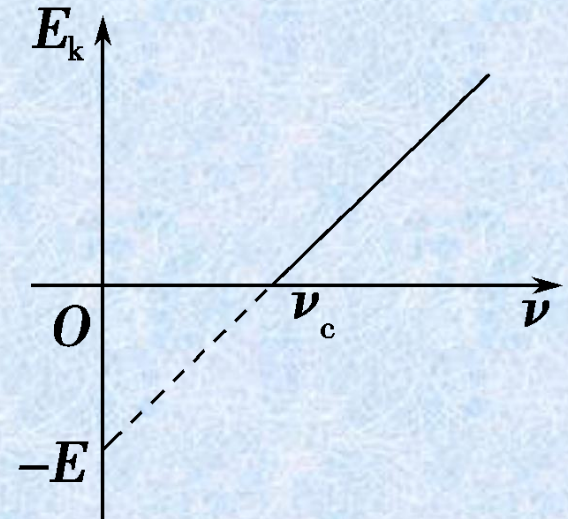
$$E_k = h\nu - W_0$$

爱因斯坦光电效应方程

1、逸出功： $W_0 = h\nu_0$

2、爱因斯坦光电效应方程：

$$E_k = h\nu - W_0$$



光电效应有力地证明了光具有粒子性。





铯 (Cs) 的逸出功是 $3.0 \times 10^{-19} \text{ J}$, 用波长为 $0.37 \mu\text{m}$ 的光照射它, 电子从铯表面逸出的最大初动能是多少?

解 波长为 $0.37 \mu\text{m}$ 的光的频率为 $\nu = 8.1 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$

根据爱因斯坦光电效应方程

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

得 $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$

$$= (6.63 \times 10^{-34} \times 8.1 \times 10^{14} - 3.0 \times 10^{-19}) \text{ J}$$

$$\approx 2.4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

例题2：用波长为200nm的紫外线照射钨的表面,释放出来的光电子中最大的动能是2.94eV。用波长为160nm的紫外线照射钨的表面，释放出来的光电子的最大动能是多少？

分析：第二次照射时光子的能量比第一次大，由于在两次照射中钨的逸出功是相同的，所以光电子的最大动能之差应该等于两次照射的光子的能量差。

解：波长为 200nm 和波长为 160nm 的光子的频率分别为：

$$\gamma_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3.00 \times 10^8}{200 \times 10^{-9}} \text{HZ} = 1.50 \times 10^{15} \text{HZ}$$

$$\gamma_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3.00 \times 10^8}{160 \times 10^{-9}} \text{HZ} = 1.88 \times 10^{15} \text{HZ}$$

对于第一次照射,有：
$$E_{k1} = h\gamma_1 - W$$

对于第二次照射,有：
$$E_{k2} = h\gamma_2 - W$$

$$E_{k2} = E_{k1} + h(\gamma_2 - \gamma_1) = 4.51 \text{ev}$$

解法二 思路点拨： 根据爱因斯坦的光子说理论，光的能量由光的频率决定即 $E=h\nu$ ，而光的频率 ν 与波长 λ 有关系： $c=\nu\lambda$ 。由此二式得出 $E=h\frac{c}{\lambda}$ 。再由爱因斯坦的光电效应方程 $E_k=h\nu-W$ 即可求得。

解析： 根据 $h\frac{c}{\lambda}-W=E_k$ 。

当 $\lambda_1=0.200\ 0\ \mu\text{m}$ ， $E_k=2.94\ \text{eV}$ 时，代入上式得

$$\begin{aligned} W &= h\frac{c}{\lambda_1} - E_{k1} \\ &= 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{0.200\ 0 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19}}\ \text{eV} - 2.94\ \text{eV} \approx 6.22\ \text{eV} - 2.94\ \text{eV} = 3.28\ \text{eV}. \end{aligned}$$

当 $\lambda_2=0.160\ 0\ \mu\text{m}$ 时，得 $E_{k2}=h\frac{c}{\lambda_2}-W$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.160\ 0 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19}}\ \text{eV} - 3.28\ \text{eV} \approx 4.49\ \text{eV}.$$

答案： $4.49\ \text{eV}$

光电效应的应用

光电开关

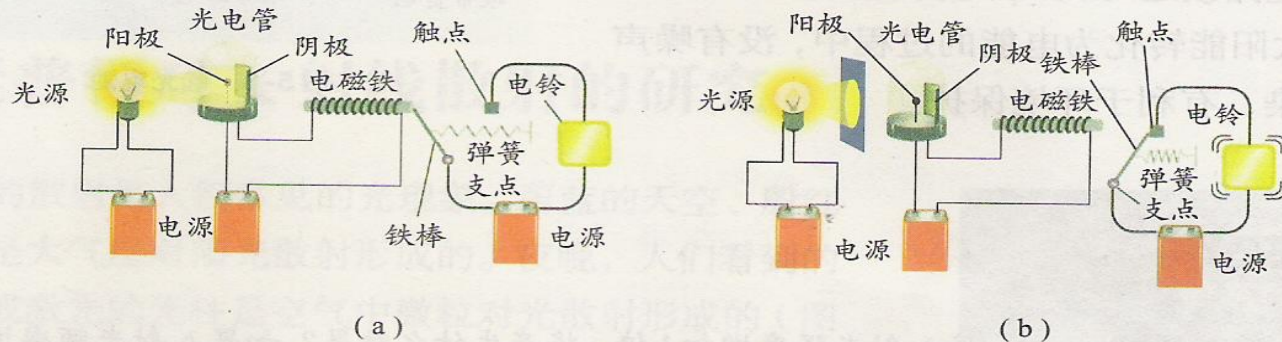


图 5-6 光电控制报警器

光电成像

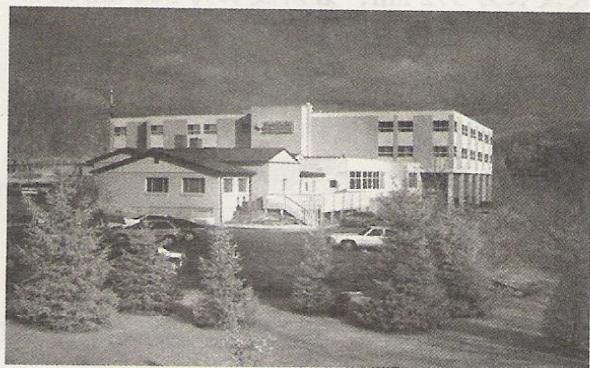


图 5-7 红外照片

光电池

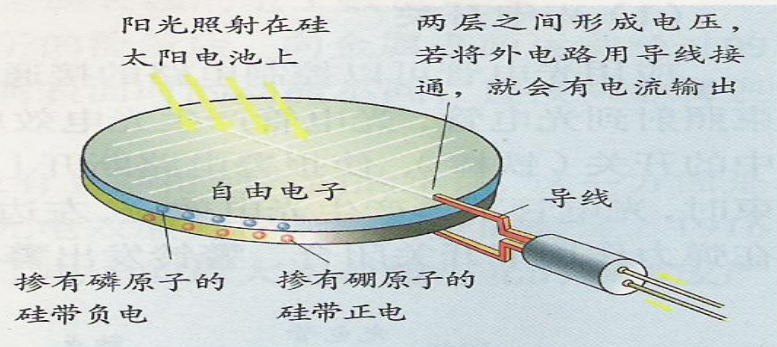
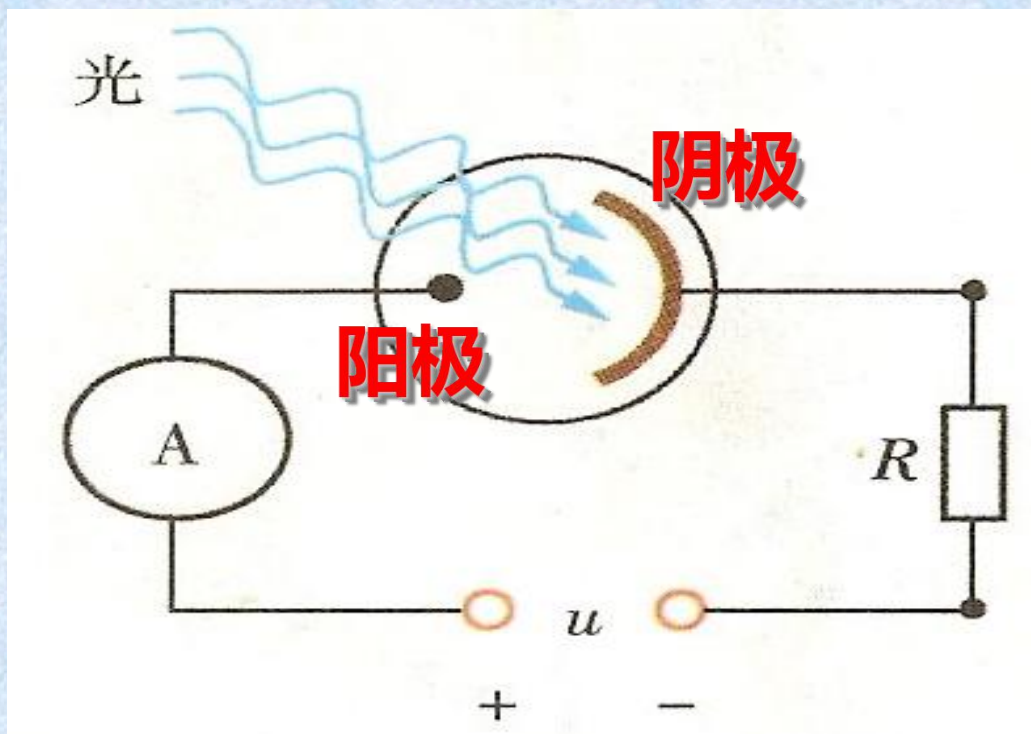


图 5-8 硅光电池

光电管结构及原理



光电流： 光电子的定向移动形成**光电流**

光电管： 利用光电效应现象制成的元件

小结

§ 1 光电效应

- 一、光电效应现象
- 二、光电效应的规律
- 三、光子说
- 四、爱因斯坦光电效应方程
- 五、光电效应的应用

作业

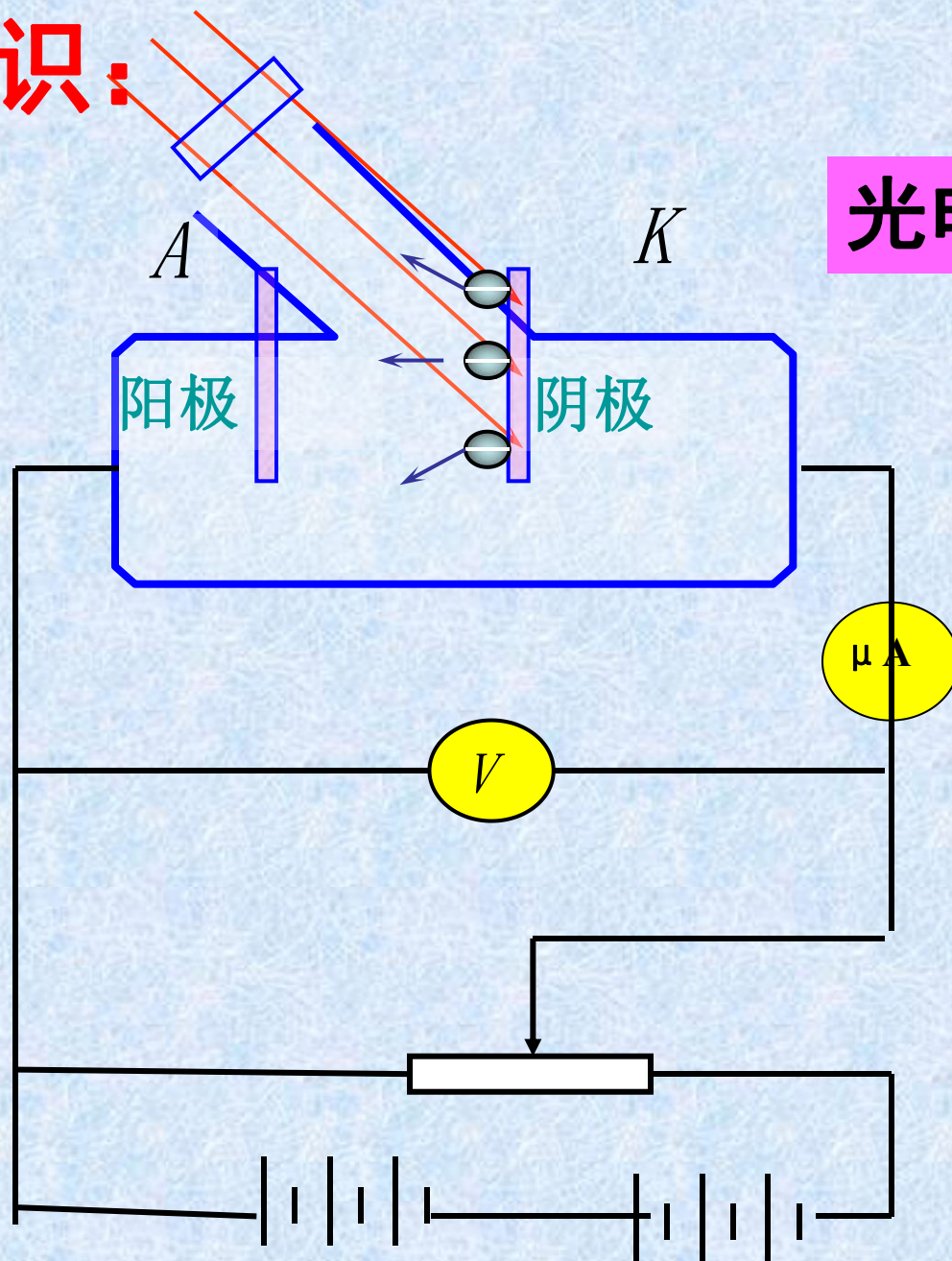
1. 课本P₈₈第3~7题

2. 文档作业

3. 名校学案P₅₉₋₆₂



补充知识:



光电流

光电效应的实验规律

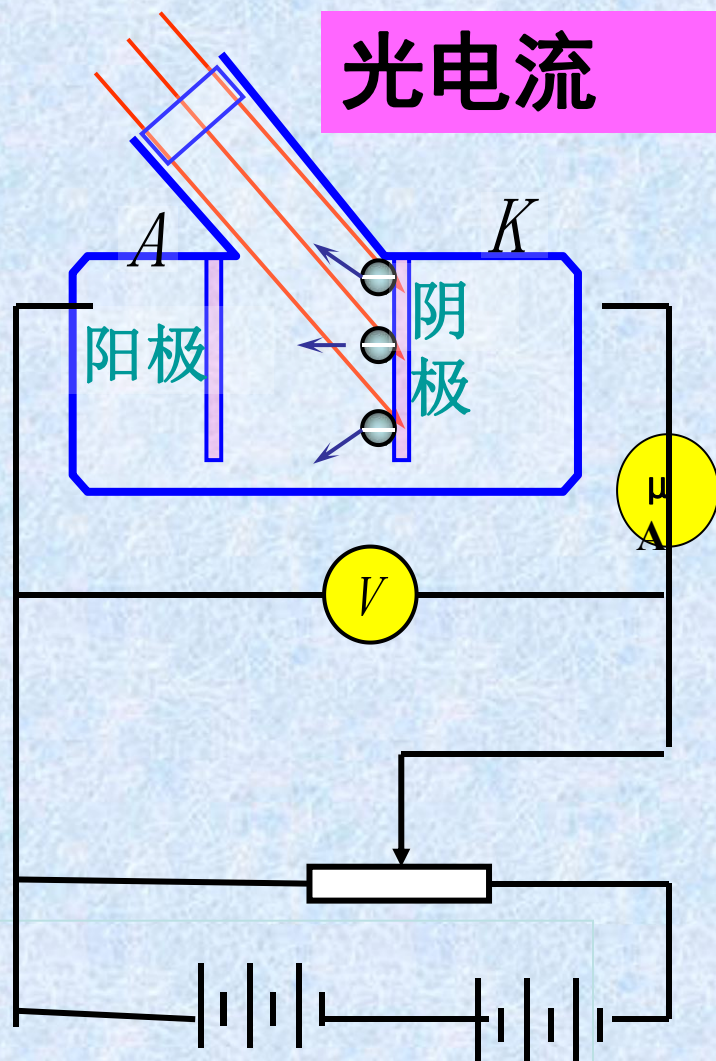
(1) 存在饱和电流

光照不变，增大 U_{AK} ，G表中电流达到某一值后不再增大，即达到饱和值。

因为光照条件一定时，K发射的电子数目一定。

实验表明：

入射光越强，饱和电流越大，单位时间内发射的光电子数越多。



光电流

光电效应的实验规律

(2)存在遏止电压和截止频率

a. 存在遏止电压 U_c ：使光电流减小到零的反向电压

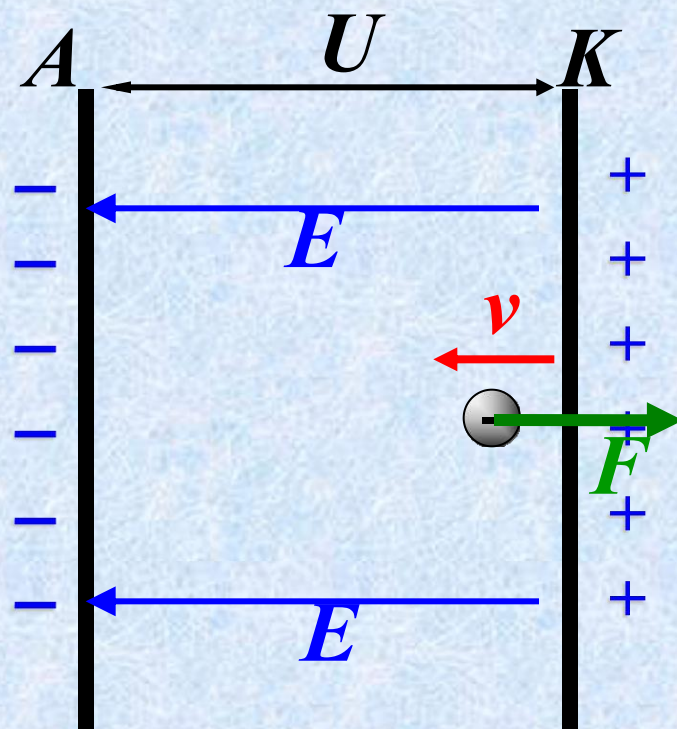
$U=0$ 时， $I \neq 0$ ， 因为电子有初速度

加反向电压，如右图所示：

光电子所受电场力方向与光电子速度方向相反，光电子作减速运动。若

$$\frac{1}{2} m_e v_c^2 = eU_c$$

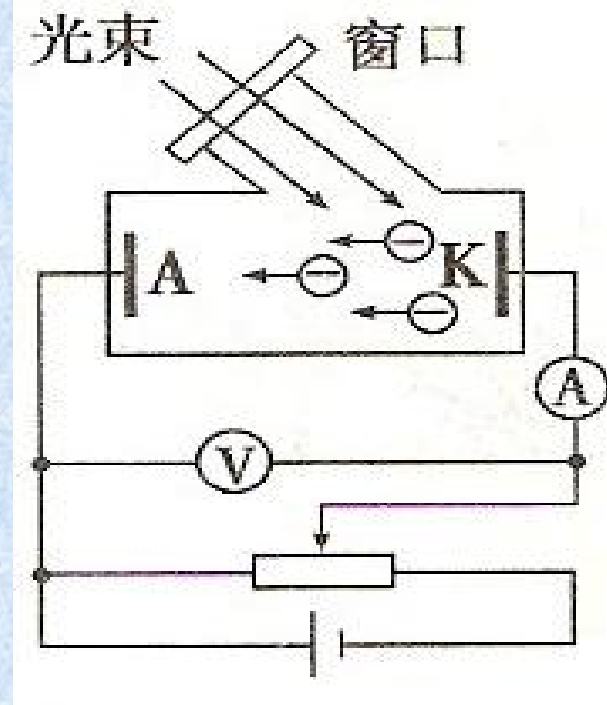
则 $I=0$ ，式中 U_c 为遏止电压



速率最大的是 v_c
最大的初动能

每个光电子具有不同的初动能：
可使用右图所示的装置测量：
测量原理：

$$eU = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

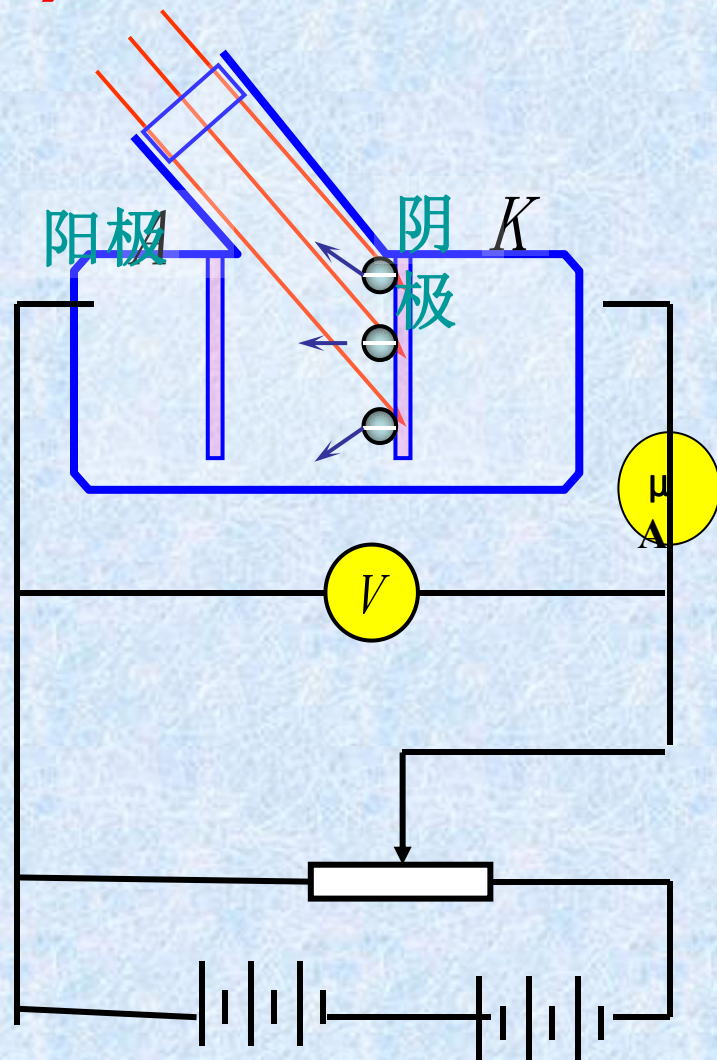


1、实验证明：光电子的最大初动能 E_k 与入射光强度无关，只随入射光频率的增大而增大（注意：遏止电压只是测量工具，光电子的最大初动能与之无关）

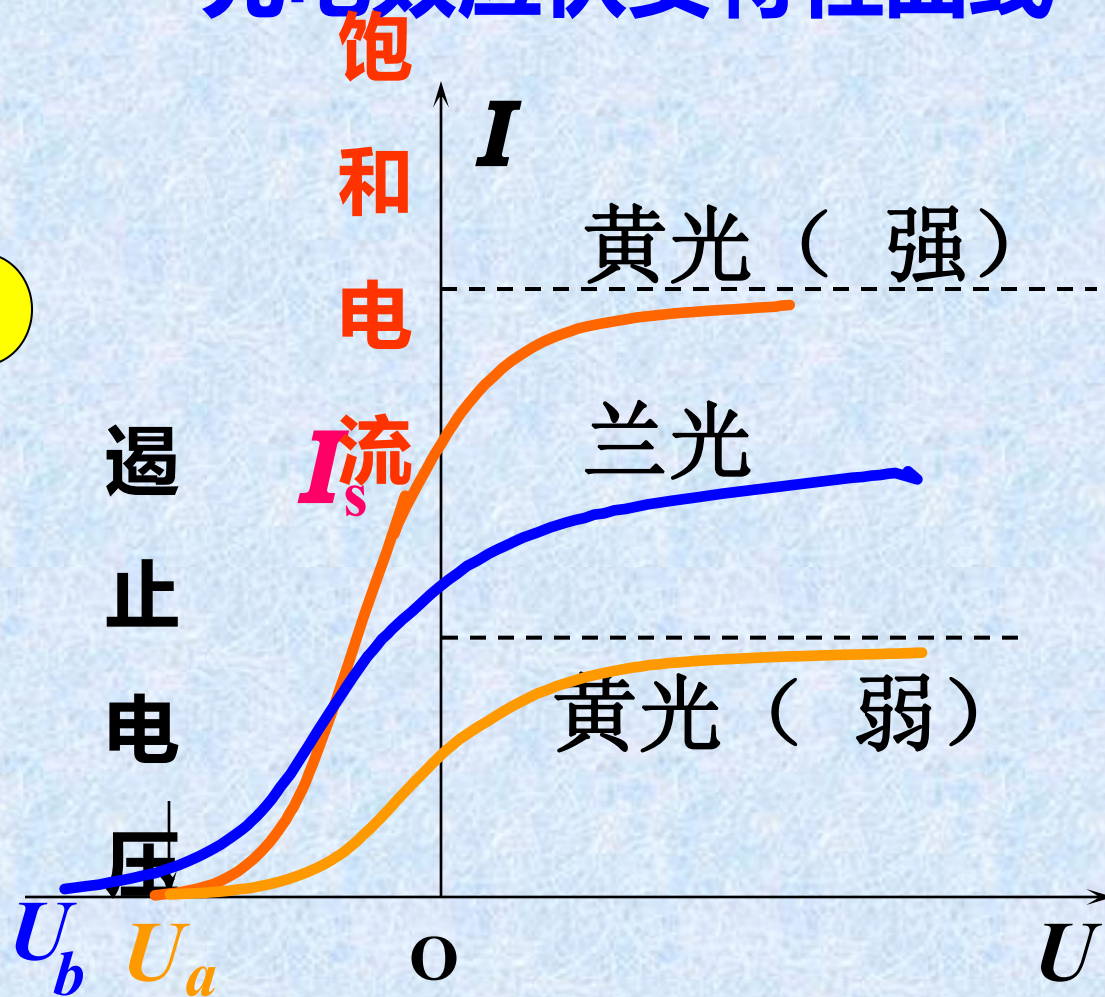
2、思考：光电流跟入射光的强度有什么关系？

光电效应的实验规律

(2) 存在遏止电压和截止频率

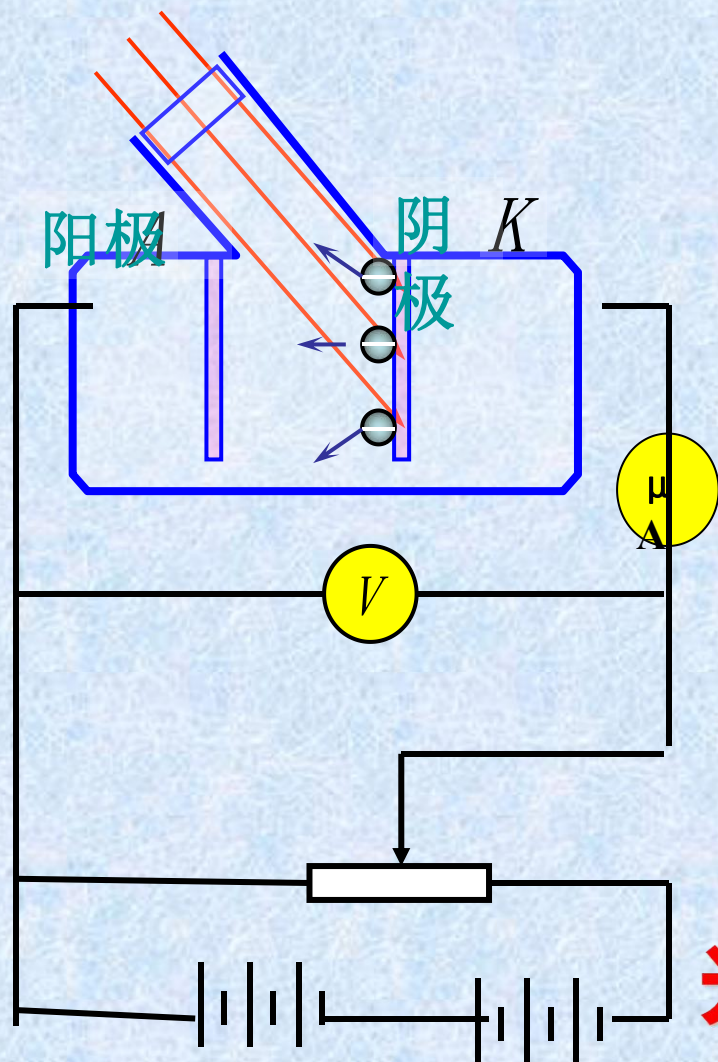


光电效应伏安特性曲线



光电效应的实验规律

(3)具有瞬时性



实验结果：即使入射光的强度非常微弱，只要入射光频率大于被照金属的极限频率，电流表指针也几乎是随着入射光照射就立即偏转。

更精确的研究推知，光电子发射所经过的时间不超过 10^{-9} 秒（这个现象一般称作“光电子的瞬时发射”）。

光电效应在极短的时间内完成