

➤ 上节回顾：

- 气体探测器如何制造载流子
- 如何避免载流子的损失？
- 载流子的移动和“增多”
- 探测器怎么知道载流子数目“N”的大小？

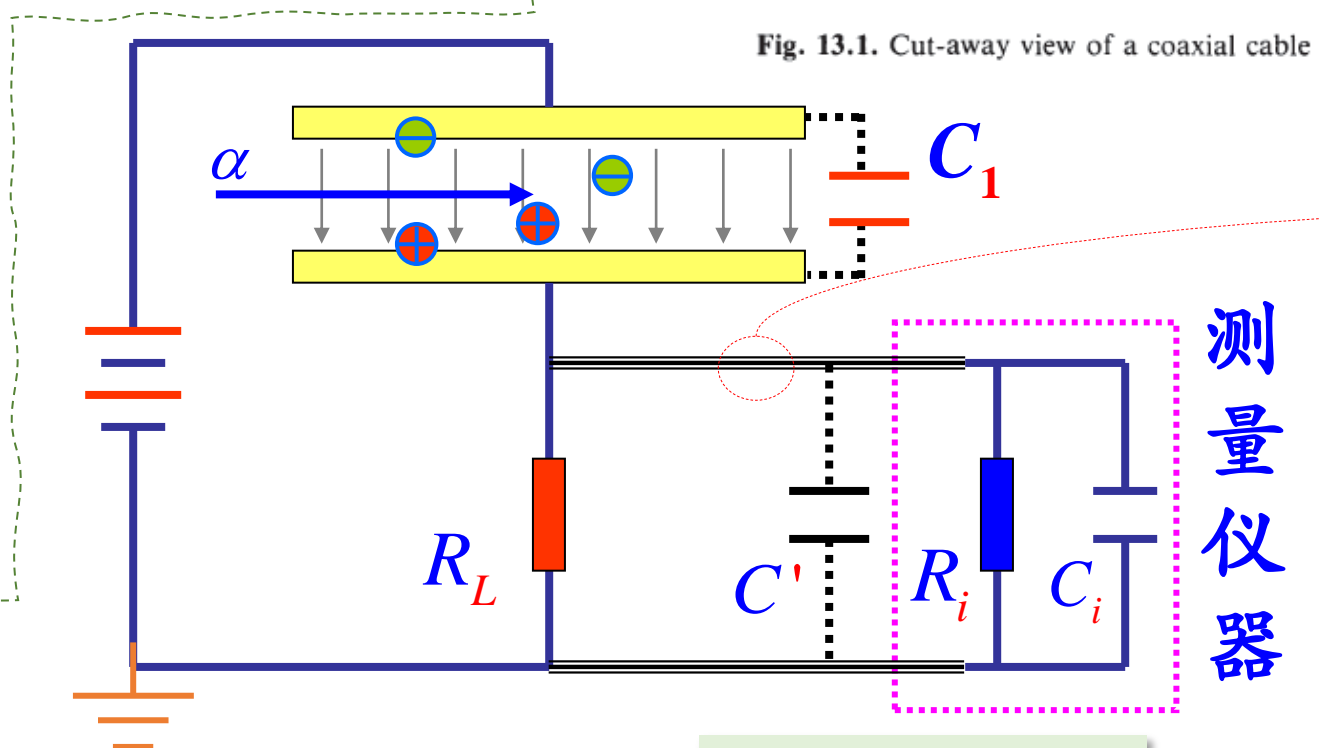
➤ 本节提要：

- 探测器是理想的电荷源、近似的电流源
- 平板电离室的电流形状是不确定的
- 脉冲电离室的总电流信号→电压信号
- 离子脉冲vs电子脉冲电离室
- 圆柱形vs屏栅电子脉冲电离室
- 能谱的形成，能量分辨率（重要概念）
- 饱和特性曲线、坪特性曲线

输出回路——信号电流流过的所有回路

包含：

1. 探测器自身
2. 负载电阻
3. 测量仪器
4. 连线



R_L ：负载电阻

R_i ：测量仪器输入电阻

C_1 ：探测器电容

C_i ：测量仪器输入电容（~数十pF）

C' ：杂散电容，如，电缆电容~100pF/m

总电阻

$$R_0 = R_L \parallel R_i$$

可以为0吗？

总电容

$$C_0 = C_1 + C_i + C'$$

可以为0吗？

随入射**粒子强度** n （1/s）和**输出回路参数** R_0C_0 （s）的不同，电离室的**工作方式（状态）**

可分为两种：

$$\bar{n} \cdot R_0C_0 \ll 1$$

1) **脉冲型工作状态**——记录**单个**入射粒子的**电离效应**，这种工作状态的电离室被称为：**脉冲电离室**

$$\bar{n} \cdot R_0C_0 \gg 1$$

2) **累计型工作状态**——记录**大量**入射粒子的**平均电离效应**，这种工作状态的电离室被称为：**累计电离室**

§ 8.1 气体中离子与电子的运动规律

§ 8.2 电离室的工作机制和输出回路

✓ § 8.3 脉冲电离室

§ 8.4 累计电离室

§ 8.5 正比计数器

§ 8.6 G-M计数管

- **脉冲电离室**的输出信号仅反映**单个入射粒子**的**电离效应**。
- 分析输出信号，可以测量每个入射粒子的**能量、时间**等信息。
- 关注的信号：**电荷、电流、电压等**

• 在以下的讨论中，假设：

- ① 入射粒子在灵敏体积中产生 N_0 个离子对
- ② 忽略**扩散**和**复合**的影响
- ③ 信号结束前探测器灵敏体积内**无其它粒子**产生的电离

一. 脉冲电离室的**输出信号**

“电荷 \rightarrow 电流 \rightarrow 电压”

二. **圆柱形**电子脉冲电离室和**屏栅**电离室

三. 脉冲电离室输出**信号的测量**

四. 脉冲电离室的**性能**

1. 脉冲电离室的**总输出电荷量**

2. 脉冲电离室的输出**电流信号**

① **特殊**情况：**无负载**电阻时

② **一般**情况：**有负载**电阻、**有读出电路**时

3. 脉冲电离室的输出**电压信号**

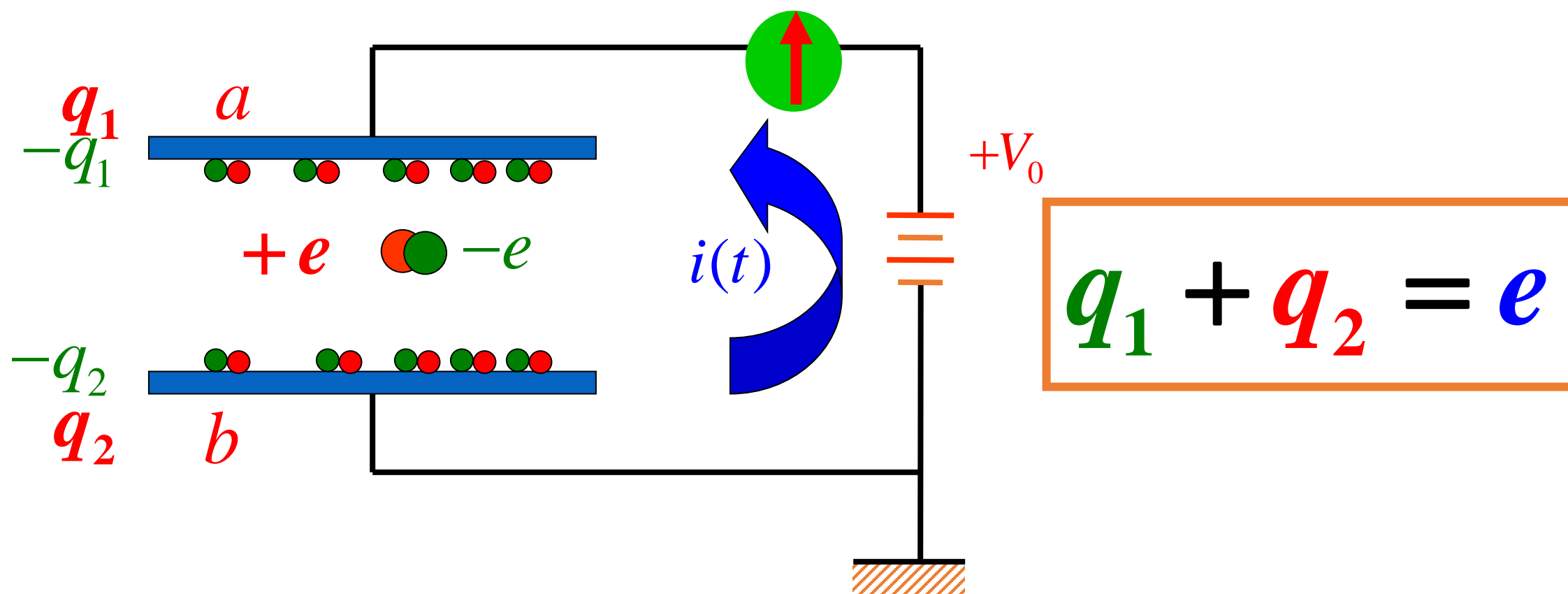
电离室灵敏体积内产生 N_0 个离子对并全部被极板收集后的**总输出电荷量**:

$$Q = N_0 \cdot e = \frac{E_{dep}}{W} \cdot e$$

这个结果与极板形状、电场分布、输出回路参数**无关**。

电离室是一个**理想**的**电荷源**——外回路对其输出量无影响。

(1) 负载电阻 $R_L=0$ 的情况——相当于用 **输入阻抗极小的电流计** 测量电离室输出信号的情况。



电源提供功率:

$$W(t) = V_0 \cdot i(t) = V_0 [i^+(t) + i^-(t)]$$

能量守恒

$$W(t) = W_e(t)$$

电场对电子—正离子对漂移所做功的功率:

$$W_e(t) = e \cdot \vec{E}(r^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r^+(t)) - e \cdot \vec{E}(r^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r^-(t))$$

离子在 t 时刻的 **空间位置**

电子在 t 时刻的 **空间位置**

正离子在该点的 **场强与漂移速度**

电子在该点的 **场强与漂移速度**

一个电子离子对, t 时刻流经外回路的电流

$$i(t) = i^+(t) + i^-(t) = \frac{e}{V_0} \cdot \vec{E}(r^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r^+(t)) - \frac{e}{V_0} \cdot \vec{E}(r^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r^-(t))$$

单个离子对的 **本征电流 (Intrinsic Current)**

在 t 时刻, 灵敏体积中有 $N^+(t)$ 个正离子和 $N^-(t)$ 个电子, 则输出电流:

$$I(t) = I^+(t) + I^-(t) = \frac{e}{V_0} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

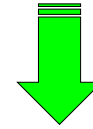
我们看看平板电离室的情况

$$I(t) = \frac{e}{V_0} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

以**平板电离室**为例：

$$V_0 = E \cdot d$$

均匀电场



$$I(t) = \frac{e}{d} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

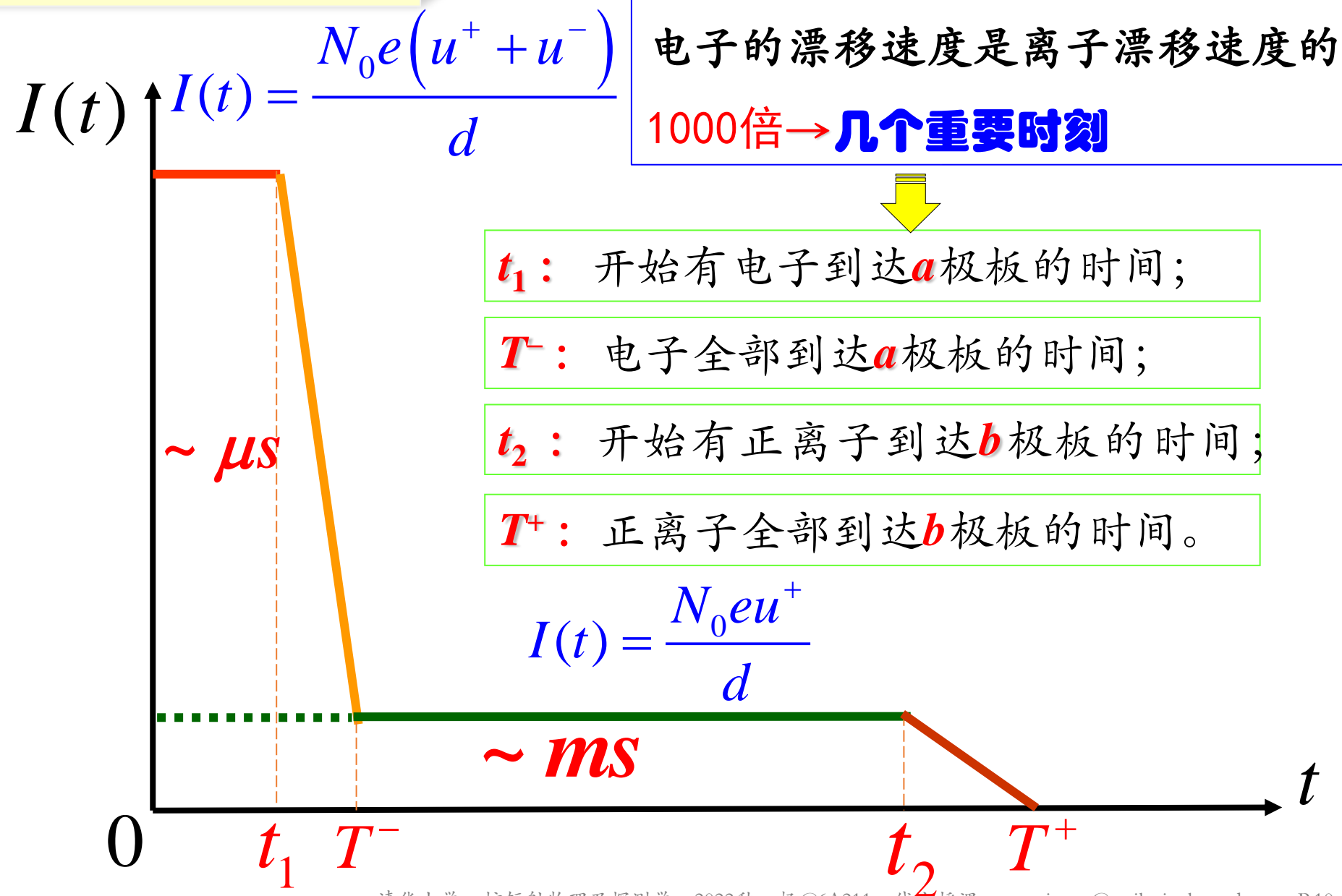
离子和电子的**漂移速度**是**常数**

离子和电子的初始数目为

$$N^+(0) = N^-(0) = N_0$$

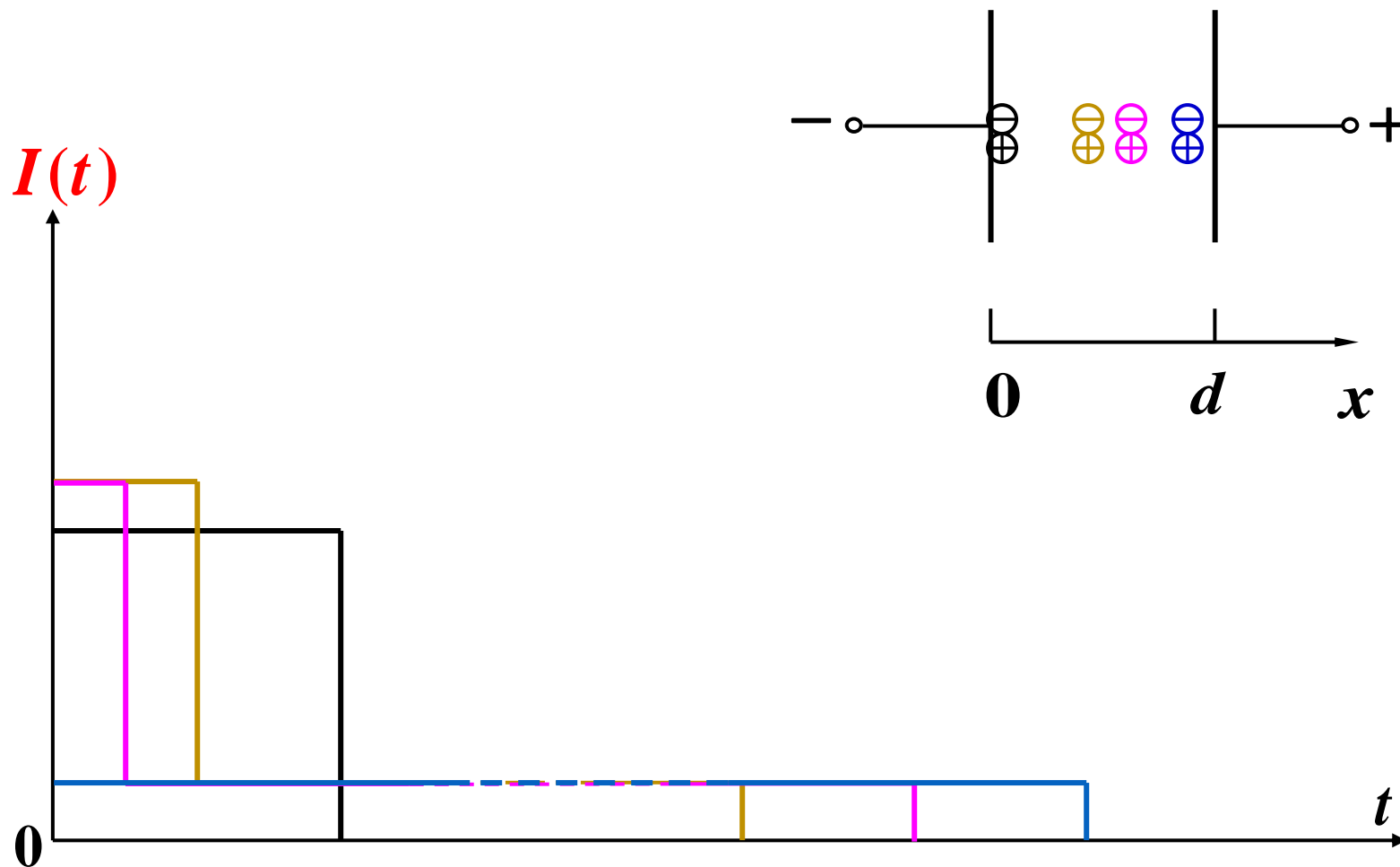
$$I(0) = \frac{e}{d} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N_0} u^+ + \sum_{k=1}^{N_0} u^- \right]$$

平板电离室的外回路电流



平板电离室的外回路电流

电离位置与电流信号的关系



若射线在平板电离室中制造了 N_0 对载流子并被全部收集，则下面哪个关系（特点、数值）是不确定的？

A 电子电流(A)与离子电流(A)最大值之间的大小关系

B 电子电流面积(Q^-)与离子电流面积(Q^+)的大小关系

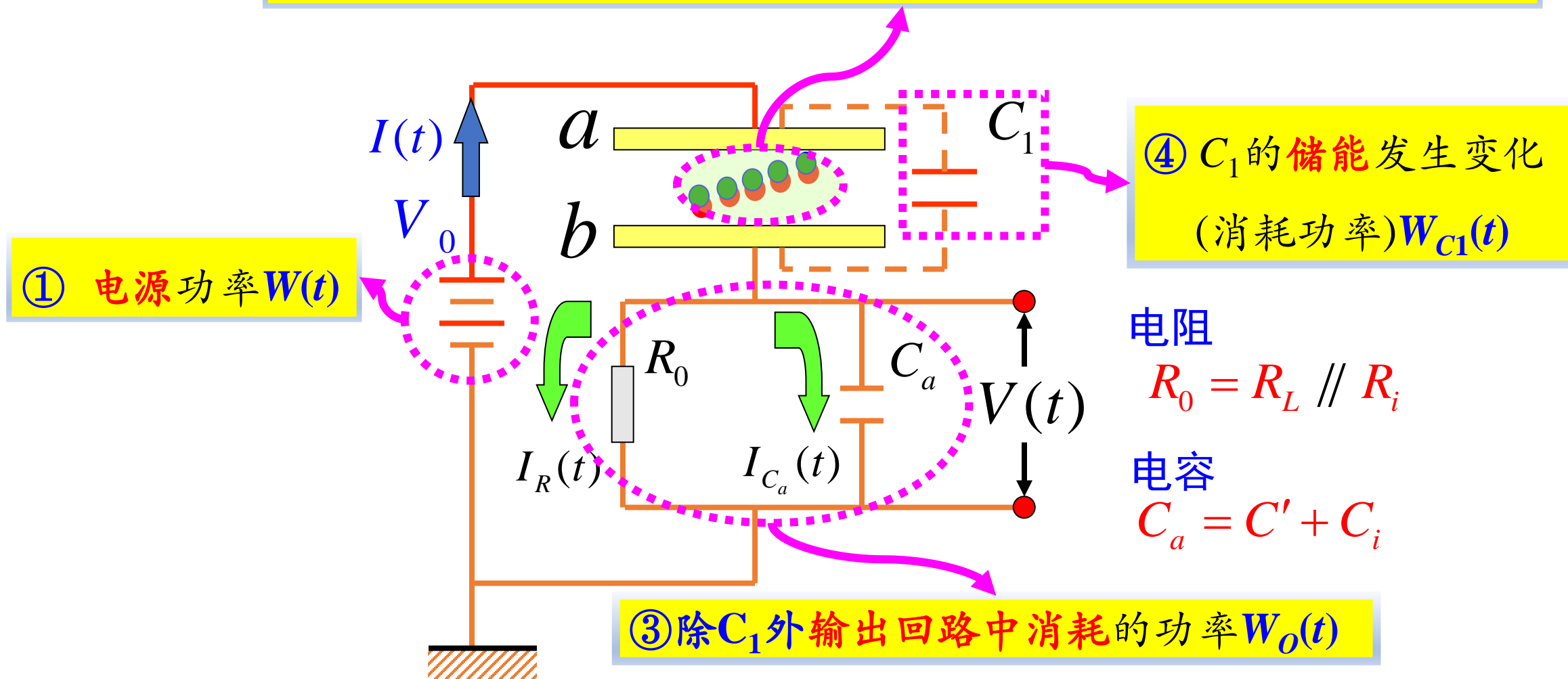
C 总电流形状（所谓形状相同，指的是通过拉伸或压缩纵轴的尺度，可以让两个电流曲线重合）

D 总电流面积

提交

(2) 负载电阻 $R_L \neq 0$ 的情况——测量装置有**输入阻抗**，输出电压信号。

② 灵敏体积内电子和正离子在电场作用下**漂移**所消耗的功率 $W_e(t)$



$$W_e(t) = e \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

消耗能量：载流子漂移

消耗能量：探测器极板储能

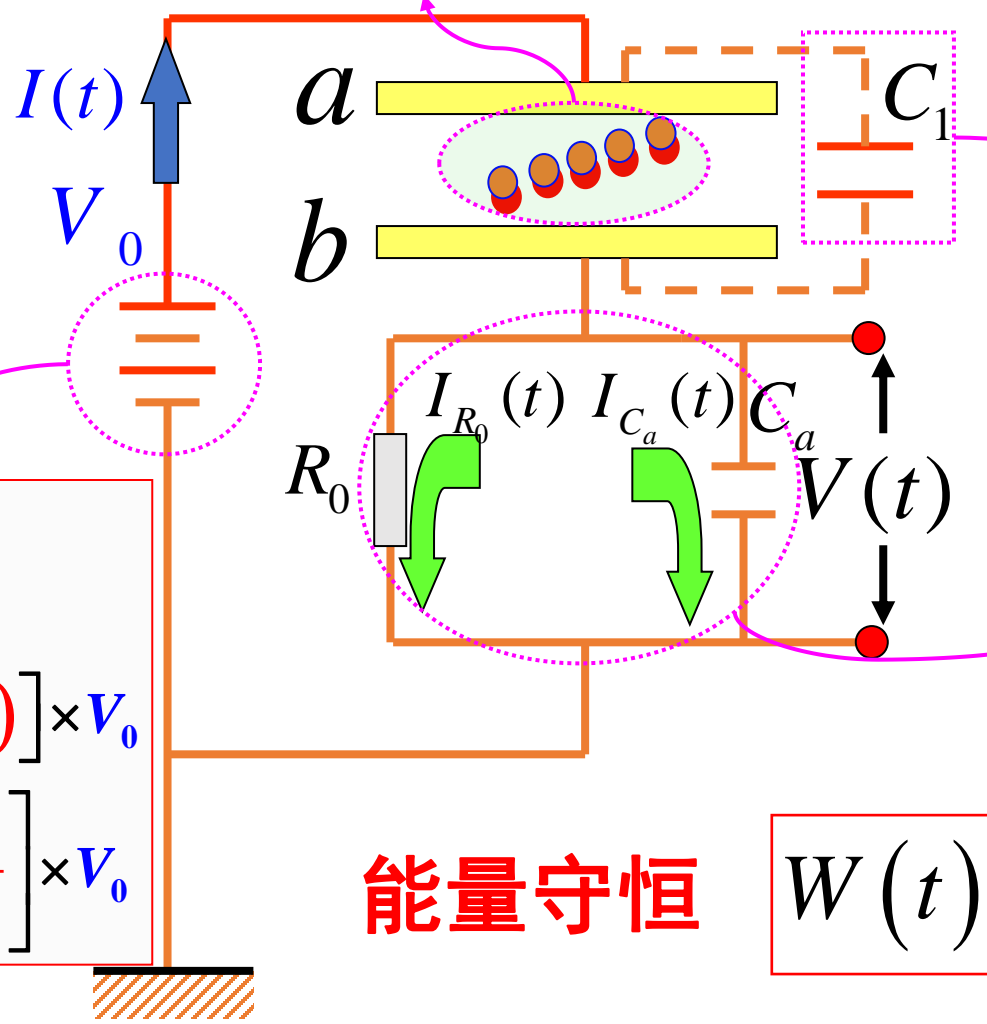
$$W_{C_1} = \frac{d}{dt} \left[\frac{C_1 (V_0 - V(t))^2}{2} \right] = -C_1 [V_0 - V(t)] \frac{dV(t)}{dt}$$

消耗能量：除C₁外的输出回路消耗

$$W_o(t) = [I_{R_0}(t) + I_{C_a}(t)] \cdot V(t) = \frac{V^2(t)}{R_0} + C_a \cdot \frac{dV(t)}{dt} \cdot V(t)$$

提供能量：电源电动势功率

$$\begin{aligned} W(t) &= I(t) \times V_0 \\ &= [I_{R_0}(t) + I_{C_a}(t)] \times V_0 \\ &= \left[\frac{V_t}{R_0} + C_a \frac{dV(t)}{dt} \right] \times V_0 \end{aligned}$$



能量守恒

$$W(t) = W_e(t) + W_o(t) + W_{C_1}(t)$$

$$\left[\frac{V(t)}{R_0} + C_a \frac{dV(t)}{dt} \right] \cdot V_0 = e \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

$$+ \left[\frac{V(t)}{R_0} + C_a \frac{dV(t)}{dt} \right] \cdot V(t) - C_1 (V_0 - V(t)) \frac{dV(t)}{dt}$$

$$\left[\frac{V(t)}{R_0} + C_a \frac{dV(t)}{dt} \right] \cdot (V_0 - V(t)) = e \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

$$- C_1 (V_0 - V(t)) \frac{dV(t)}{dt}$$

$$\left[\frac{V(t)}{R_0} + (C_a + C_1) \frac{dV(t)}{dt} \right] \cdot (V_0 - V(t)) = e \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

$$\frac{V(t)}{R_0} + (C_a + C_1) \frac{dV(t)}{dt} = \boxed{I_0(t)} = \frac{e}{V_0 - V(t)} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

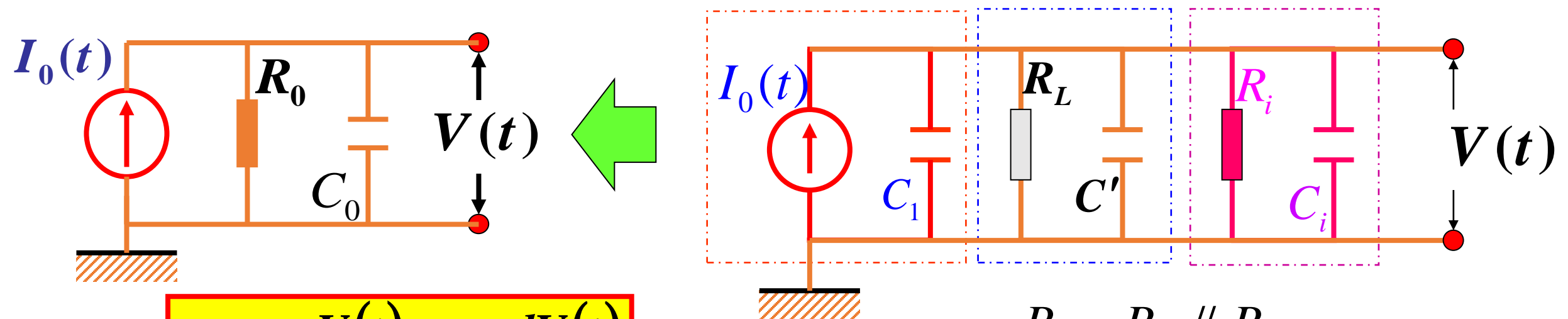
称为**脉冲电离室**的**总电流信号**

$$\frac{V(t)}{R_0} + (C_a + C_1) \frac{dV(t)}{dt} = \boxed{I_0(t)} = \frac{e}{V_0 - V(t)} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

电离室可以有**条件**地被看成理想的**内阻无限大的电流源**，而被看成理想**电荷源**则是无条件的。

结论(A): 由于 $V(t) \ll V_0$ $I_0(t) = \frac{e}{V_0} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$

结论(B): 电离室可以用**电流源** $I_0(t)$ 和 C_1 并联等效，得到输出回路的等效电路：



$$\boxed{I_0(t) = \frac{V(t)}{R_0} + C_0 \frac{dV(t)}{dt}}$$

$$R_0 = R_L \parallel R_i$$

$$C_0 = C_a + C_1 = C_1 + C_i + C'$$

- **电流**，是**载流子**在电场驱动下**流动**的产物。其大小由⁽¹⁾载流子的**数量**、⁽²⁾载流子**单位时间**扫过的**电位差**占极板间压差的**份额**决定。

$$I_0(t) = \frac{e}{V_0} \cdot \left[\sum_{j=1}^{N^+} \vec{E}(r_j^+(t)) \cdot \vec{u}^+(r_j^+(t)) - \sum_{k=1}^{N^-} \vec{E}(r_k^-(t)) \cdot \vec{u}^-(r_k^-(t)) \right]$$

- 这个**电流**流过了**负载电阻**和测量仪器的**输入电阻**，电流流过电阻就会形成**压降**。

$$I_0(t) = \frac{V(t)}{R_0} + (C_a + C_1) \frac{dV(t)}{dt}$$

- 电阻上形成了压降，探测器极板的**压差**自然也会**改变**，这进而使得与电阻并联的**极板电容**、**分布电容**、仪器**输入电容**的**电压**也发生**变化**、有了**充放电**，因此，这些电容也就要分享电流。
- 所以，载流子形成信号的过程就是**电场驱动一定数量的载流子在极板间运动**，在外电路**形成**了**感应电流**，后者流经电阻和电容后形成了**电压信号**。这个道理对于后面的闪烁探测器、半导体探测器同样适用。

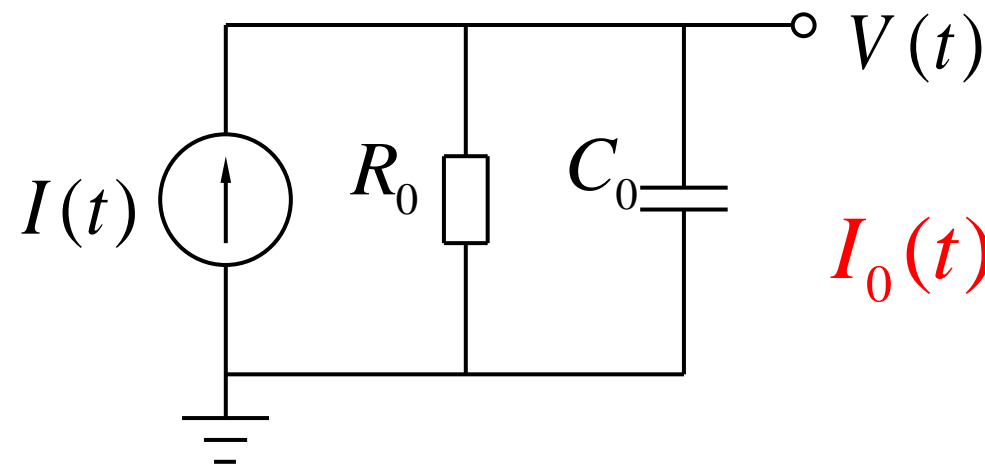
① **电流**信号→**电压**信号

② **离子**脉冲电离室

③ **电子**脉冲电离室

④ **变化**的**电流**，**变化**的**电压前沿**

我们虽然写出了电流的公式，
也理解了它的物理图像，但
并不便于直接观察它，通常，
我们分析的是电压信号！



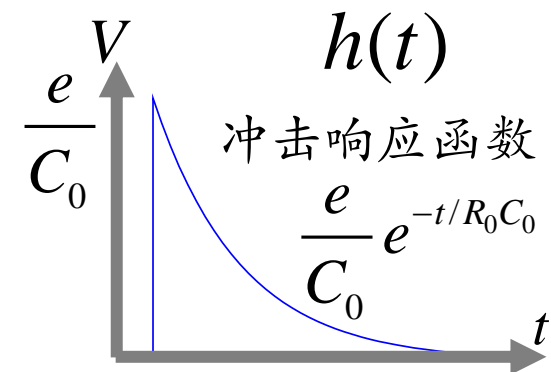
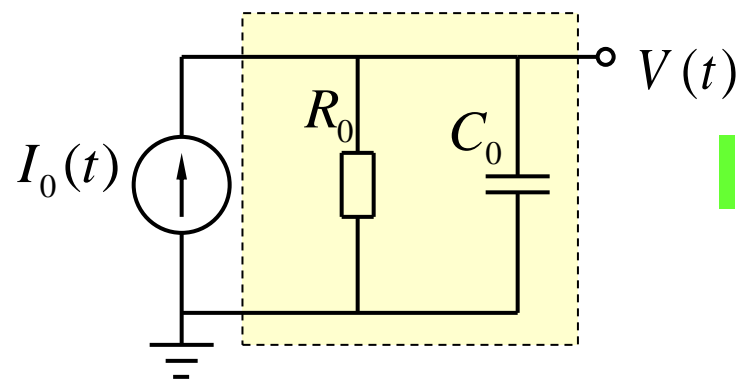
$$I_0(t) = \frac{V(t)}{R_0} + C_0 \frac{dV(t)}{dt}$$

解
微
分
方
程

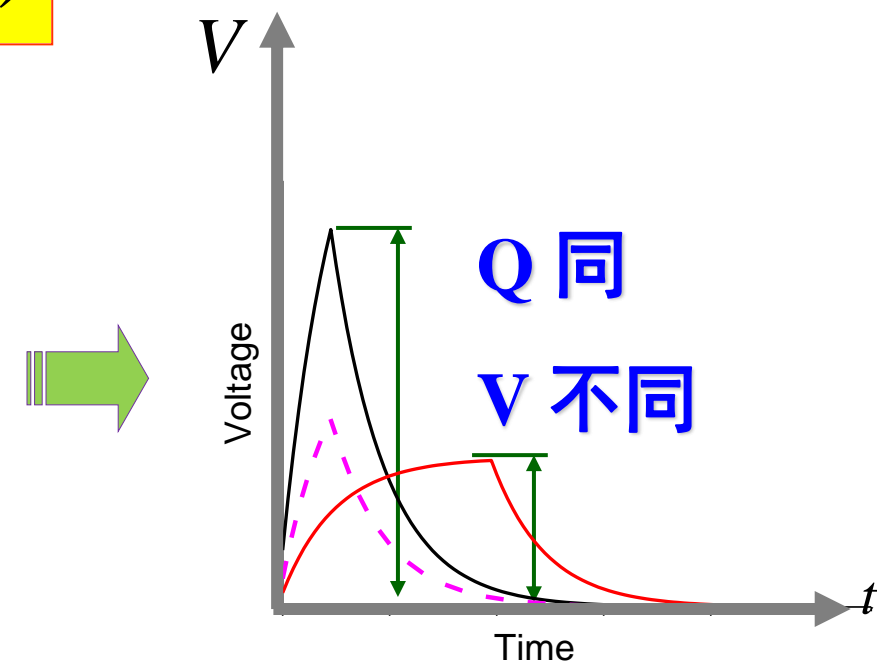
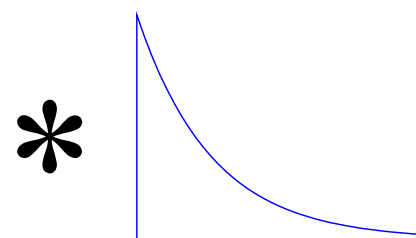
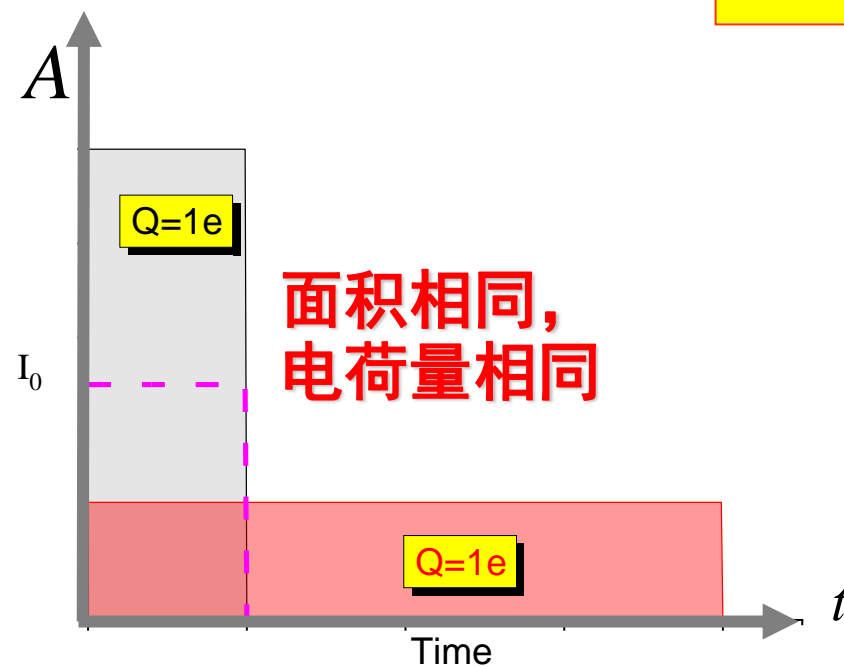
$$V(t) = \frac{e^{-t/R_0 C_0}}{C_0} \int_0^t e^{t/R_0 C_0} \cdot I_0(t) dt + V(0)$$

$$\xrightarrow{V(0)=0}$$

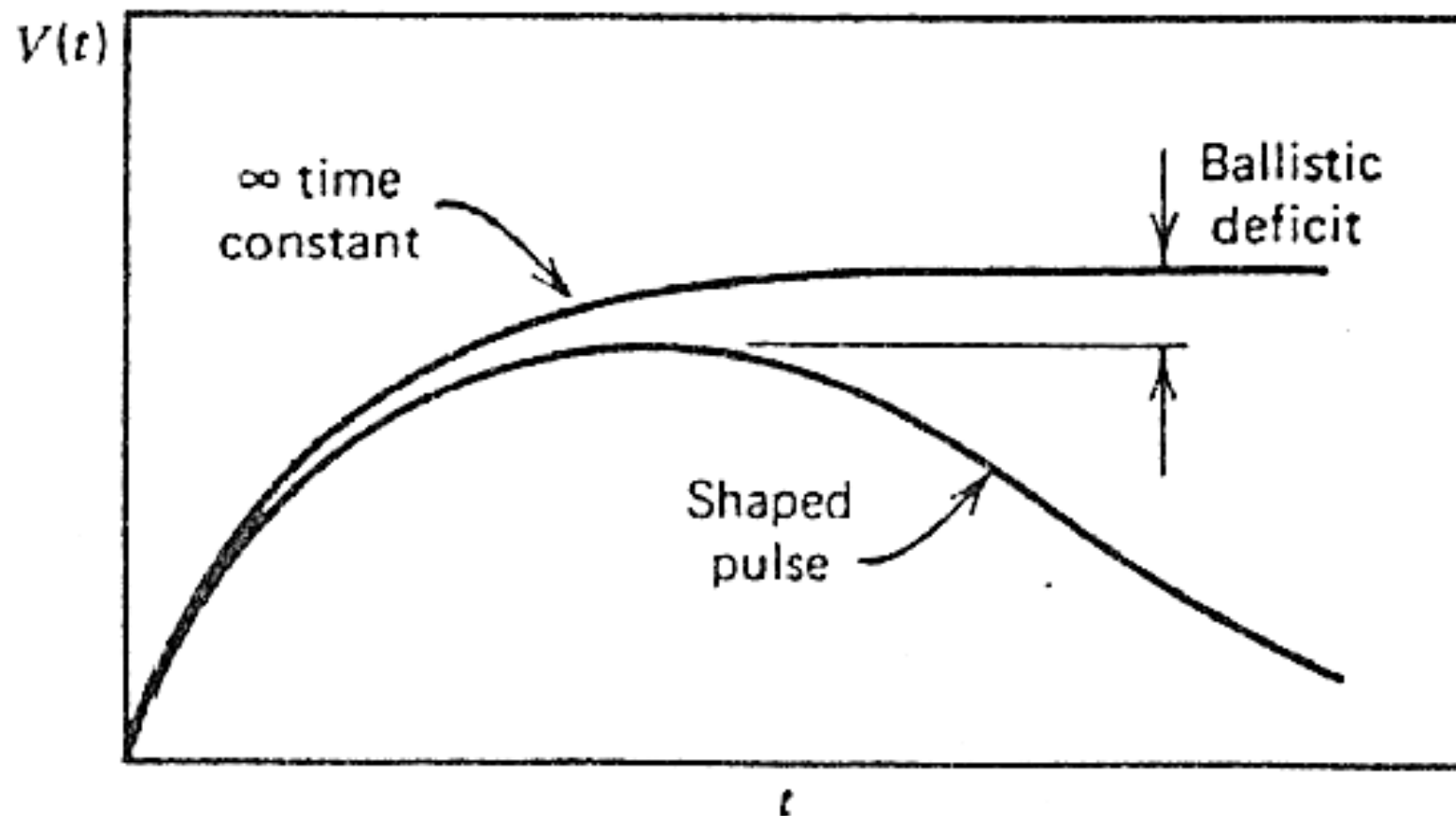
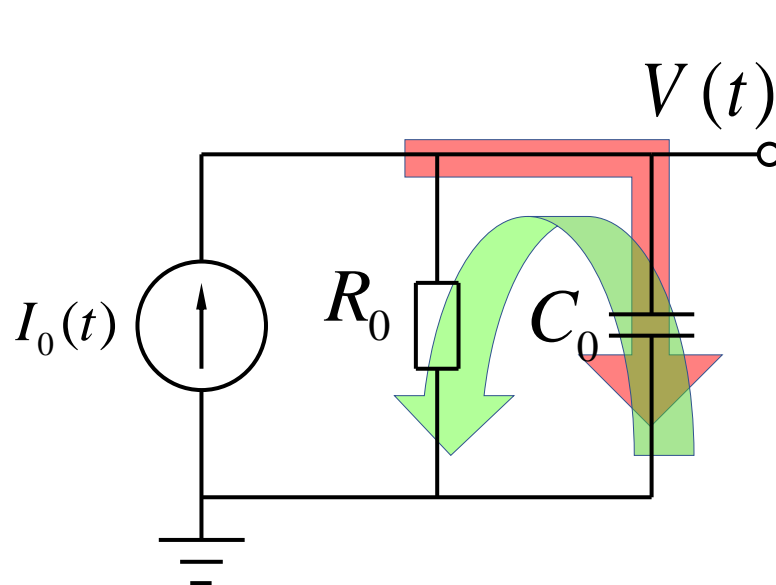
$$V(t) = \frac{\int_0^t e^{t/R_0 C_0} \cdot I_0(t) dt}{C_0} \cdot e^{-t/R_0 C_0}$$

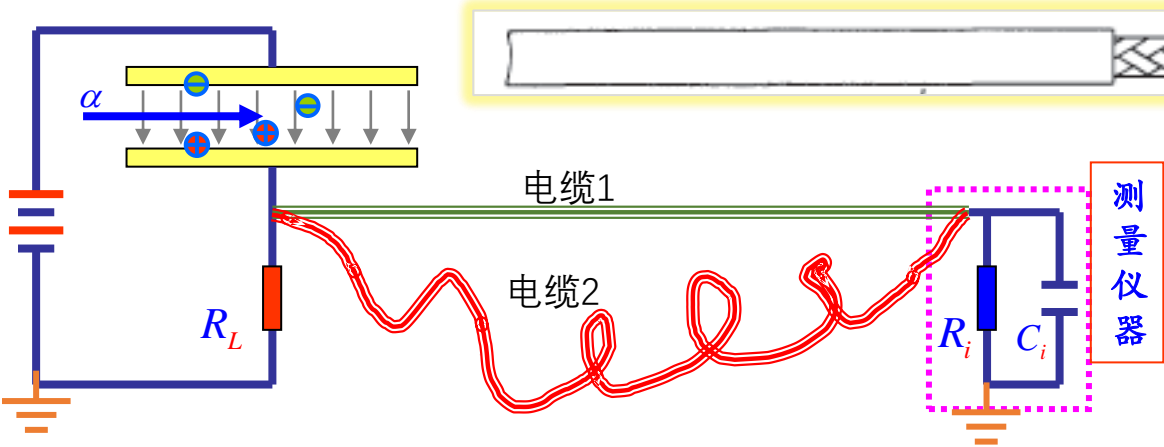


$$V(t) = I_0(t) * h(t)$$



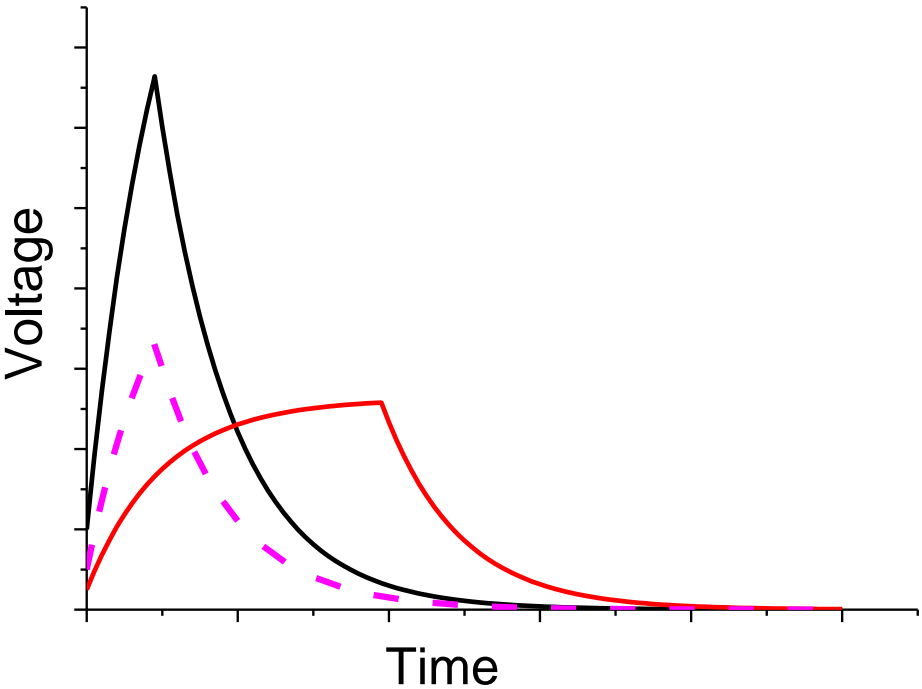
弹道亏损，指由于“在电流**给电容充电**的同时，电容上所充**电荷**就已经开始**通过电阻放电**”，导致的“电容上**电压**的最大**幅度小**于电流面积与电容的比值”的现象。





在某次实验中，同学1和同学2分别用了电缆1和电缆2连接了探测器和前置放大器，得到示波器波形如下图，请问哪些曲线可能是同学1的测量结果？

- ☒ A 黑色波形
- ☐ B 红色波形
- ☒ C 洋红色波形（虚线）
- ☐ D 没法判断



提交

• 只有在两种情况下, 才没有弹道亏损:

• $(1) R_0 C_0$ 无穷大

• (2) 电流持续时间为0 (δ 电流)

但这两种情况都过于理想, 因此弹道亏损总是存在的!

• 电流持续时间越长, 弹道亏损程度越严重;

• 电流持续时间越短, 弹道亏损程度越轻;

因此, 电流的形状会影响弹道亏损的程度。

• 若电流的形状是确定的, 则弹道亏损的程度就是确定的, $Q \propto V$ 的关系就存在。

• 若电流的形状是不确定的, 则不存在 $Q \propto V$ 的关系, 通过 V 来分析 Q 进而分析 E_{dep} 就不可能了。

怎么保证 $Q \propto V$ 呢?

• 可令 $R_0 C_0 \gg$ 电流持续时间, 此时弹道亏损虽然还存在, 但程度很小, 可以忽略。

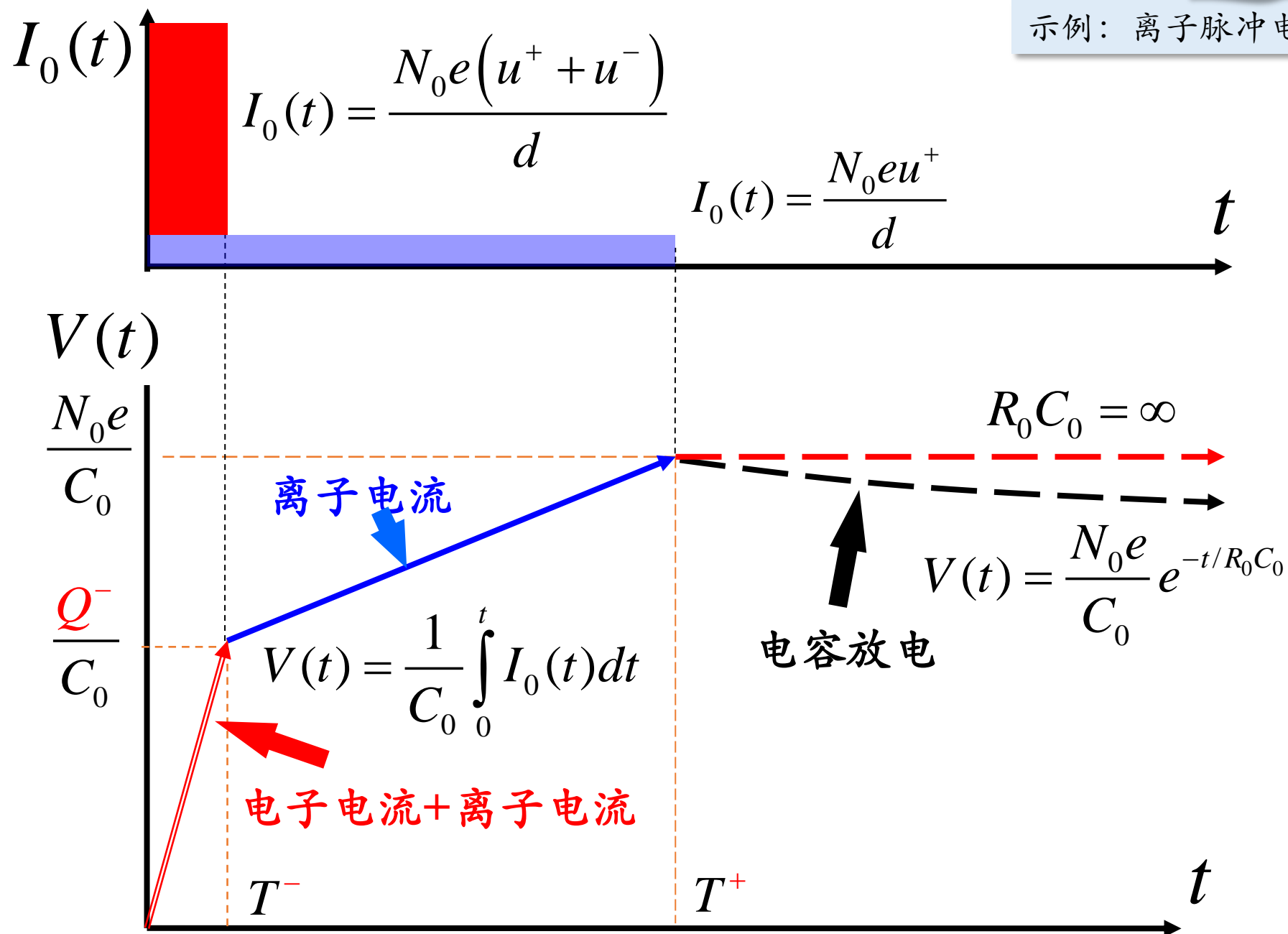
• 我们下面要讨论的离子脉冲电离室就是这个情况。

当 $R_0 C_0 \gg T^+$ 时, 即全部电子和正离子对输出信号都有贡献, 此时为离子脉冲电离室状态。

$$V(t) = \frac{e^{-t/R_0 C_0}}{C_0} \left[\int_0^t e^{t/R_0 C_0} \cdot I_0(t) dt \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t < T^+ \\ t = T^+ \\ t > T^+ \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} V(t) \approx \frac{1}{C_0} \int_0^t I_0(t) dt \\ V(T^+) \approx \frac{1}{C_0} \int_0^{T^+} I_0(t) dt = \frac{N_0 e}{C_0} = \frac{e}{C_0} \cdot \frac{E_{dep}}{W} = h \\ V(t) \approx \frac{e^{-t/R_0 C_0}}{C_0} \left[N_0 e + \int_{T^+}^{\infty} 0 \cdot e^{t/R_0 C_0} dt \right] = h \cdot e^{-t/R_0 C_0} \end{array} \right.$$

示例：离子脉冲电离室的电流与电压信号



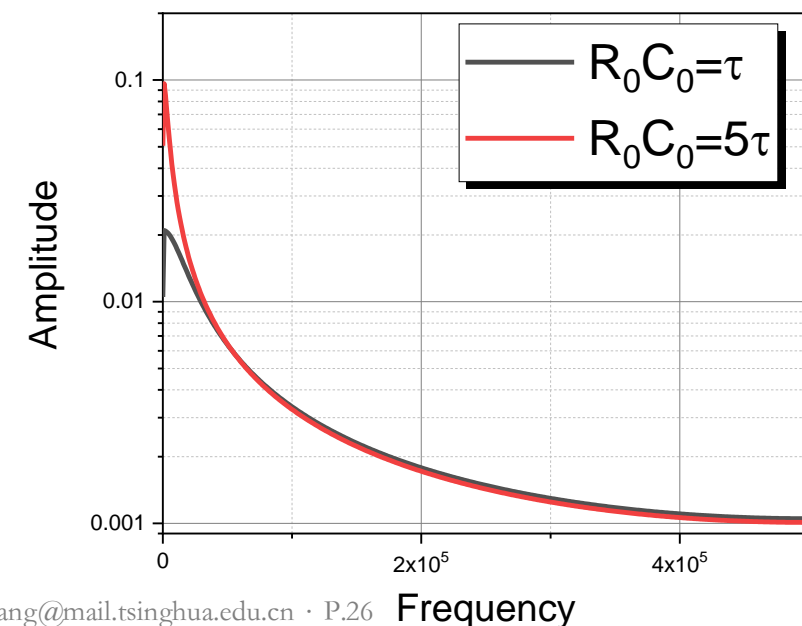
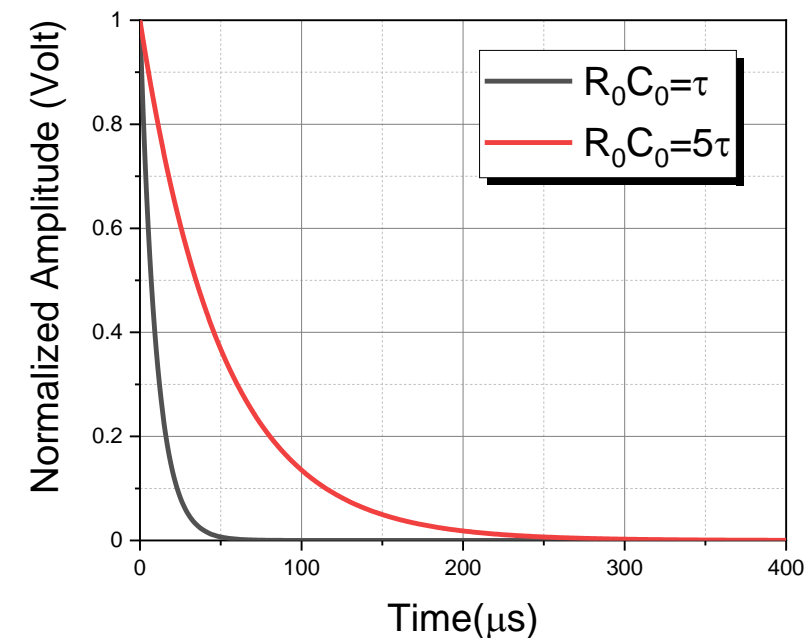
$$h = \frac{N_0 e}{C_0} = \frac{E_{dep}}{W} \cdot \frac{e}{C_0} \rightarrow h \propto E_{dep}$$

- ✓ 在 $t=T^+$ 时, 离子脉冲电离室输出电压信号的幅度最大, 且正比于射线的沉积能量, 因此可以测量射线的能量。
- ✓ 为了获得尽可能大的幅度, 以抵抗后续电路的噪声, 要求等效电容 C_0 小, 为此必须设法降低 C_0 (C_1, C', C_i);

? 但由于要求 $R_0 C_0 \gg T^+ \approx 10^{-3} \text{ s}$, 这会带来问题:

? 分辨时间大, 限制了入射粒子的强度, 否则会堆积

? 要求放大器电路频带非常宽, 噪声大而非实用



当 $T^+ \gg R_0 C_0 \gg T^-$, 正离子漂移的贡献可以忽略, 仅有电子的贡献

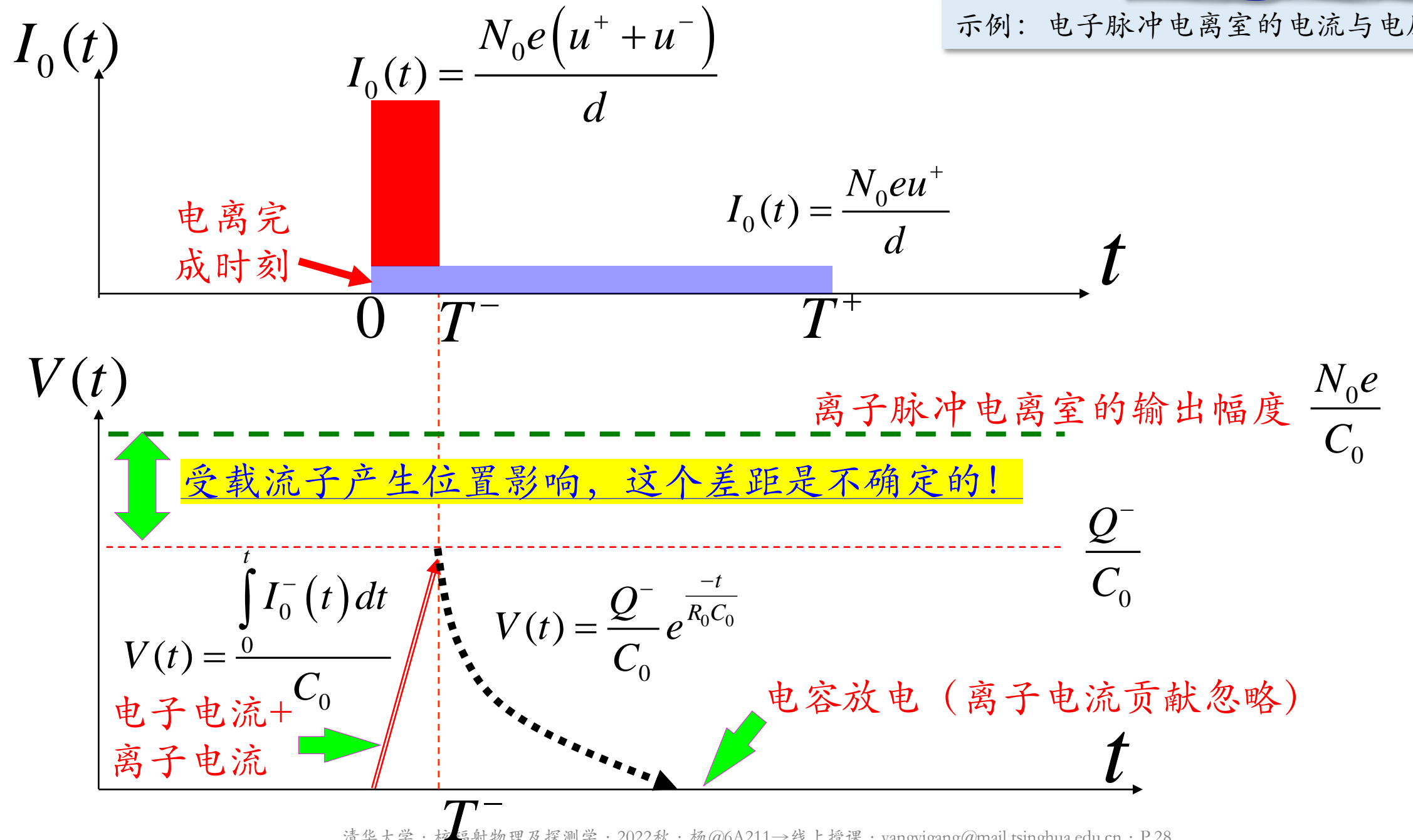
此时为电子脉冲工作状态。

$$I_0(t) \rightarrow I_0^-(t)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t < T^- \\ t = T^- \\ t > T^- \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} V(t) \approx \frac{1}{C_0} \int_0^t I_0^-(t) dt \\ V(T^-) \approx \frac{Q^-}{C_0} = h^- \neq \frac{e}{C_0} \cdot \frac{E_{dep}}{W} \\ V(t) \approx \frac{e^{-t/R_0 C_0}}{C_0} \left[Q^- + \int_{T^-}^{\infty} 0 \cdot e^{t/R_0 C_0} dt \right] = h^- \cdot e^{-t/R_0 C_0} \end{array} \right.$$

$$V(t) = \frac{e^{-t/R_0 C_0}}{C_0} \left[\int_0^t e^{t/R_0 C_0} \cdot I_0^-(t) dt \right]$$

示例：电子脉冲电离室的电流与电压信号



$$h^- = \frac{Q^-}{C_0} \neq \frac{N_0 e}{C_0} = \frac{E_{dep}}{W} \cdot \frac{e}{C_0}$$

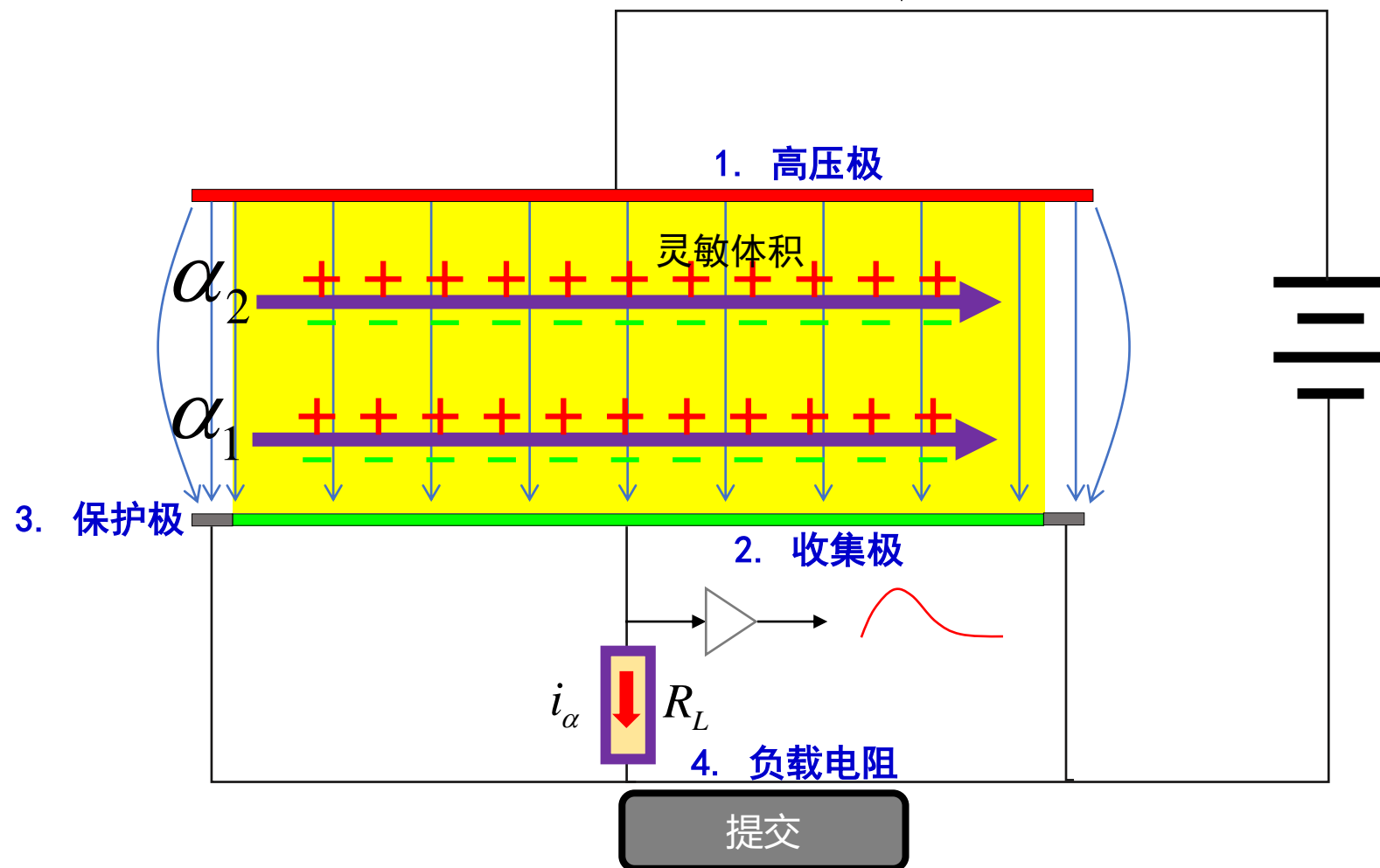
- 电子脉冲电离室，在 $t=T^-$ 时输出电压信号的**幅度最大**；
- 由于 $R_0 C_0 \ll T^+$ ，仅为**微秒**量级，因此可以大大降低脉冲宽度，获得**小的分辨时间**。另外，减小了频带的宽度，后续电路可以较好的**抑制噪声**。
- 但是，输出电压脉冲幅度 h^- 与初始电离的位置有关，即 Q^- 与初始电离**位置有关**，而该位置完全是随机的，这样，电子脉冲电离室的输出电压脉冲幅度不仅与**离子对数 N_0 有关**，而且与离子对生成的**位置也有关**。因此 h^- 将**不再正比于**射线的**沉积能量**，所以是**不能**用来**测量射线的能量**的。

电子电流贡献的电荷量

$$Q^- = \frac{e}{V_0} \sum_{j=1}^{N_0} \left[\phi(r_j^-(T^-)) - \phi(r_j^-(0)) \right] = \frac{e}{V_0} \sum_{j=1}^{N_0} \left[\phi^+ - \phi(r_j^-(0)) \right]$$

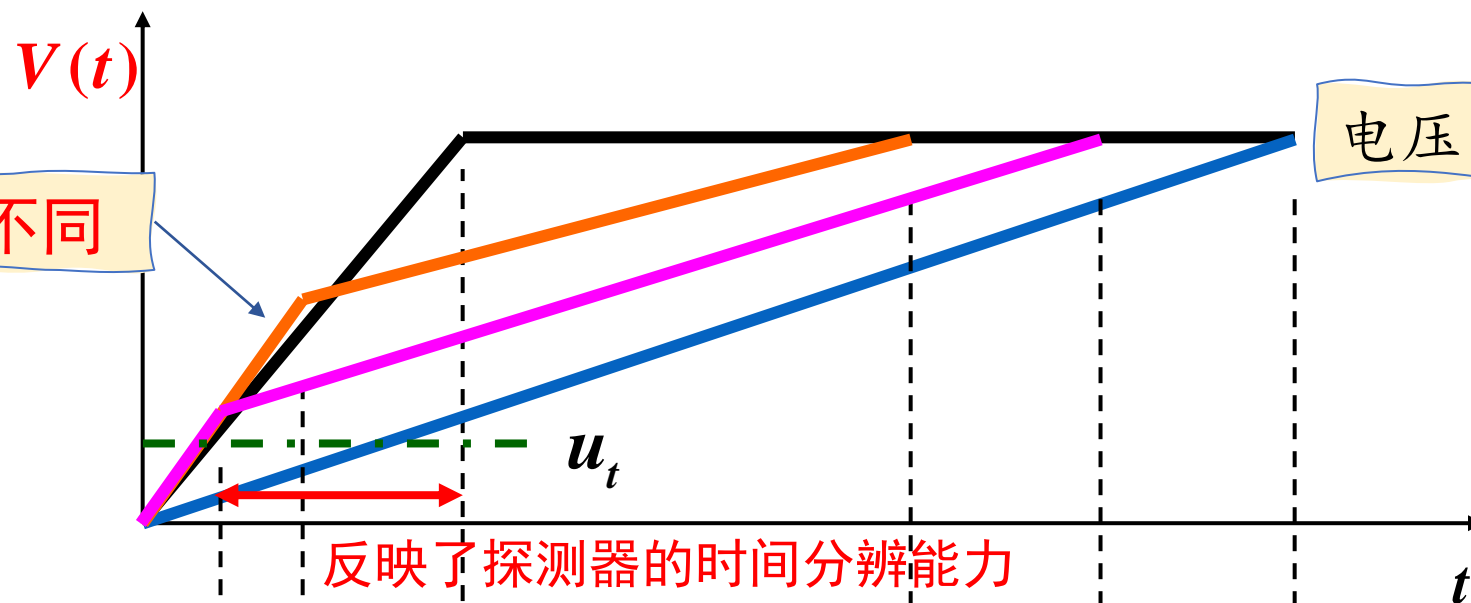
图中， α 粒子有两个不同的电离位置，若探测器工作在电子脉冲电离室模式，则哪种情况下的输出电压信号的幅度大？（设载流子数目一样多）

- ☒ A α_1 大
- ☐ B α_2 大
- ☐ C 都有可能
- ☐ D 说不清

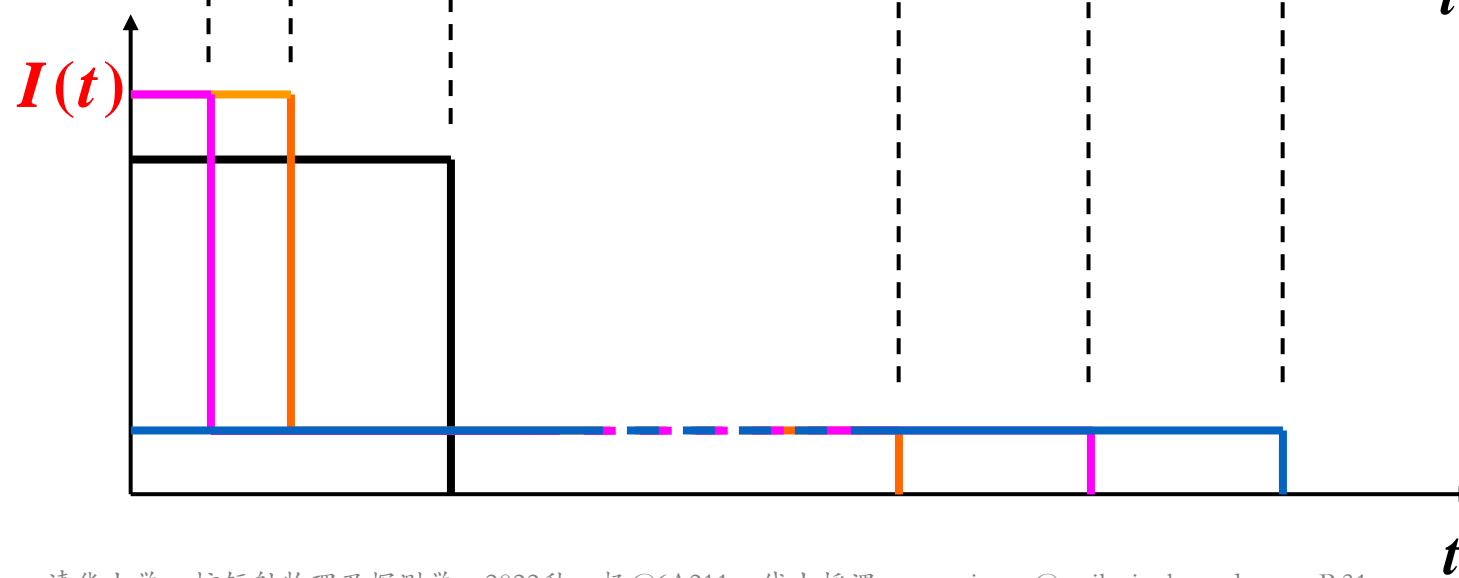


假设是在 R_0C_0 无限大的情况下 (离子脉冲电离室)

但电压信号的**前沿不同**



电压的**幅度**是一样的



“夏夜” 有雨

根据射线输出信号的波形，来决定射线的入射时刻，其精度被称为时间分辨能力。你觉得平板电离室的时间分辨能力在什么水平？

- ☐ A s
- ☒ B ms
- ☐ C μs
- ☐ D ns

提交

(A) 电子离子对**一旦形成**，在电场驱动下**立即**开始运动，同时就有输出**电流信号**；**电压脉冲的上升时间**为**电流脉冲的持续时间**。

(B) 电离室输出的**电流**中包含**快**（电子）成分与**慢**（离子）成分

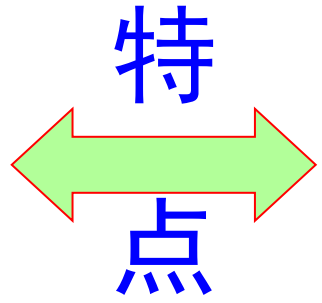
➤ **比例**与电子离子产生的**位置**有关

➤ 导致电离室输出的**电压脉冲**为**变前沿**的脉冲

➤ 电压脉冲的**上升时间涨落**达 10^{-3}s 量级

(C) **电子**或**正离子**漂移对输出**电压**脉冲信号的**贡献**，首先取决于电子或正离子**扫过的电位差**，其次也与等效电路的 R_0C_0 有关。

$R_0C_0 \gg T^+$ ，电子和离子信号均对输出电压信号有贡献。



$T^+ \gg R_0C_0 \gg T^-$ ，只有电子信号对输出电压信号有贡献。

离子脉冲电离室

问题？

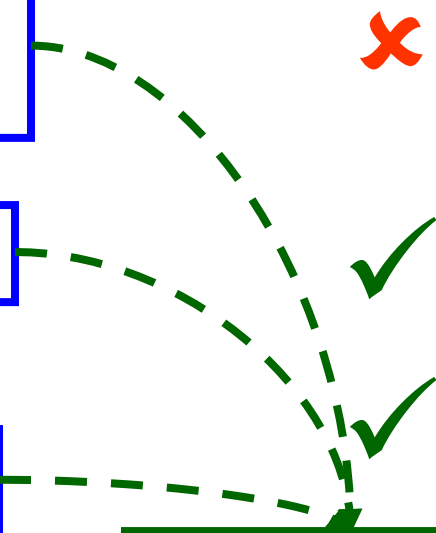
电子脉冲电离室



① 准确测量入射粒子沉积能量？

② 实现高计数率？

③ 高信噪比？



如何兼得？

- 普通电离室中**离子**的速度总是**较慢**的，无法满足2、3二项，我们还是只能从**电子**处**着眼**。

• 继续看电子……

$$Q^- = \frac{e}{V_0} \sum_{j=1}^{N_0} [\phi^+ - \phi(r_j^-(0))] \propto [\phi^+ - \phi(r_1^-(0))] + [\phi^+ - \phi(r_2^-(0))] + [\phi^+ - \phi(r_3^-(0))] + \dots + [\phi^+ - \phi(r_{N_0}^-(0))]$$

阳极电位，每个电子都**一样**

电子产生处的**电位**，也就**不一样**



每个电子的产生**位置**，都**不一样**

这是必须接受的现实！

一. 脉冲电离室的**输出信号**

“电荷 \rightarrow 电流 \rightarrow 电压”

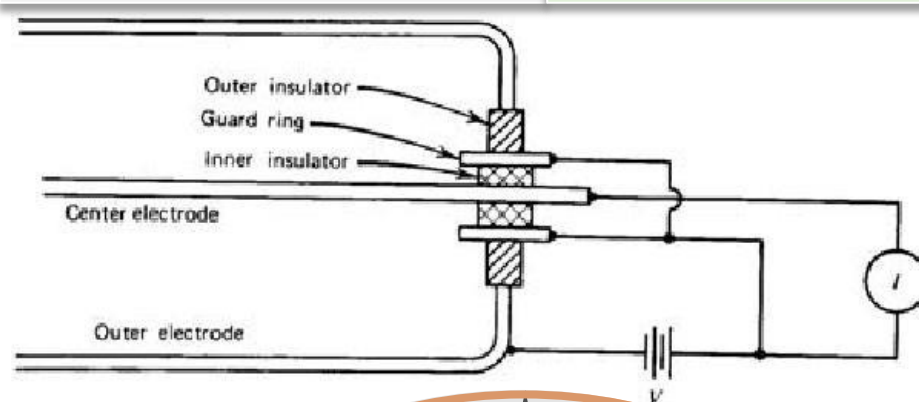
二. **圆柱形**电子脉冲电离室和**屏栅**电离室

三. 脉冲电离室输出**信号的测量**

四. 脉冲电离室的**性能**

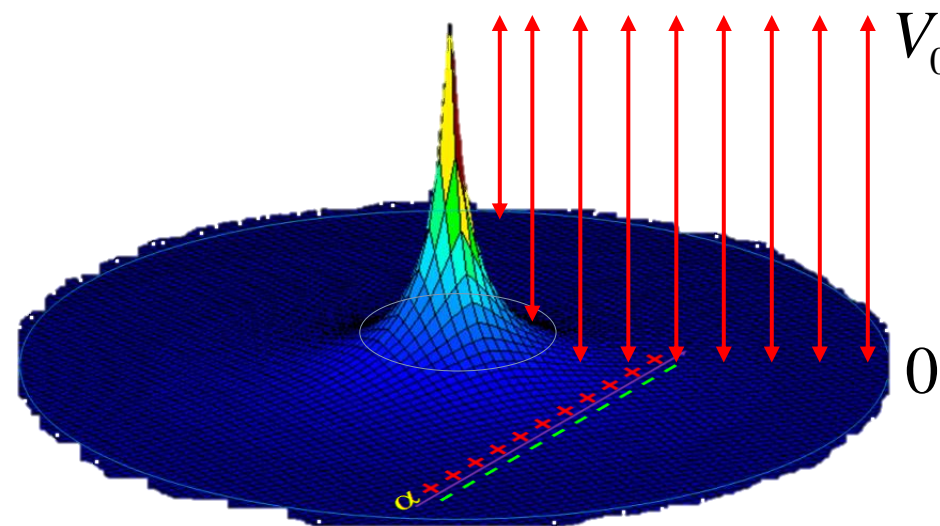
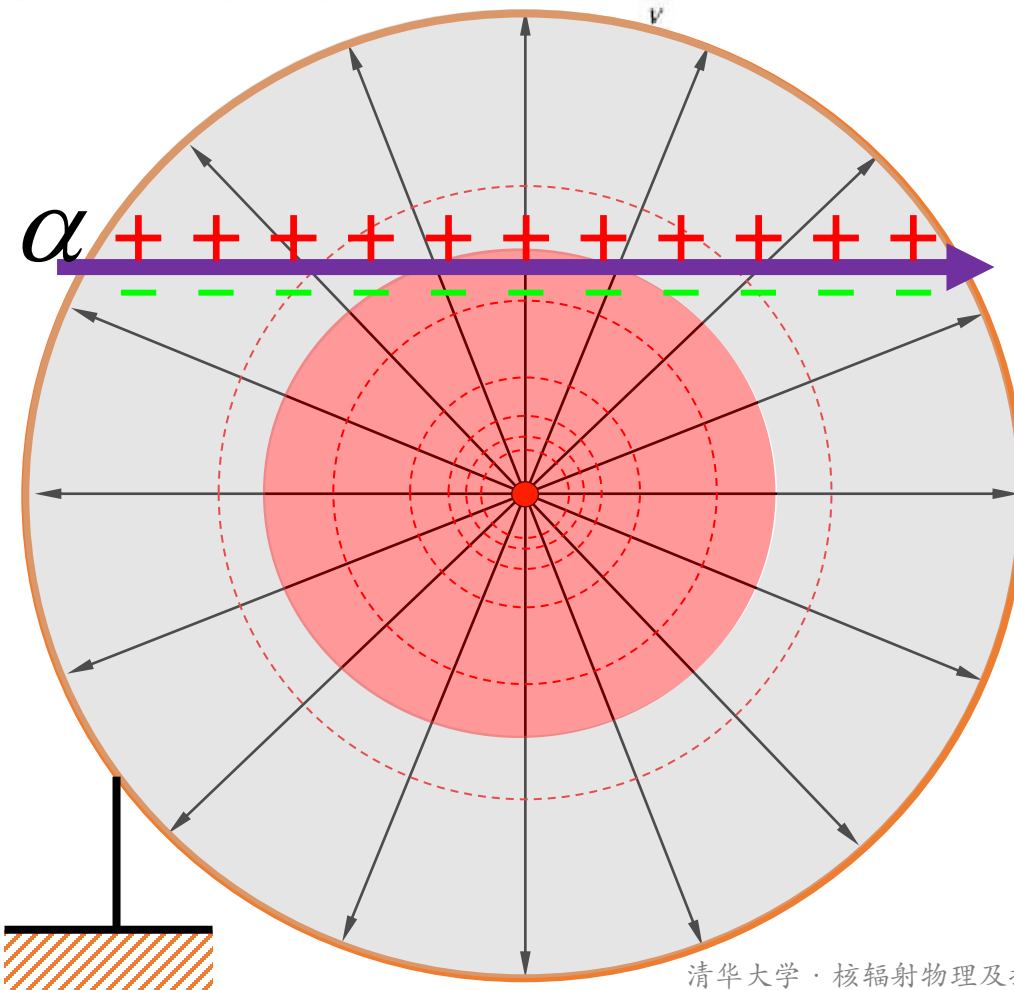
1. 得电子之**利**——“我跑得很快”

2. 消电子之**弊**——“然而位置不定”



设计思想

利用圆柱形**电场**的**特点**来**减少** Q^- 对入射粒子**位置**的**依赖**，达到利用“**电子脉冲**”来**测量能量**的目的。

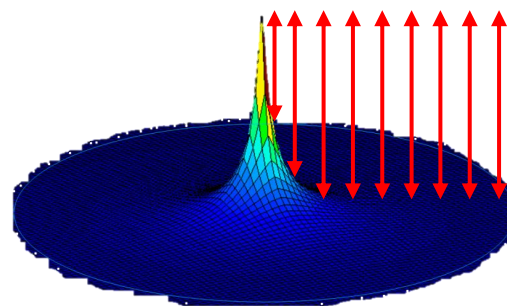


- 电离**更多**地发生在**大半径处**，这里**电位变化趋势较缓**，大部分电子在漂向阳极时扫过的电荷量**接近1个 e** 。
- **注意：** 中央丝极必须是阳极！

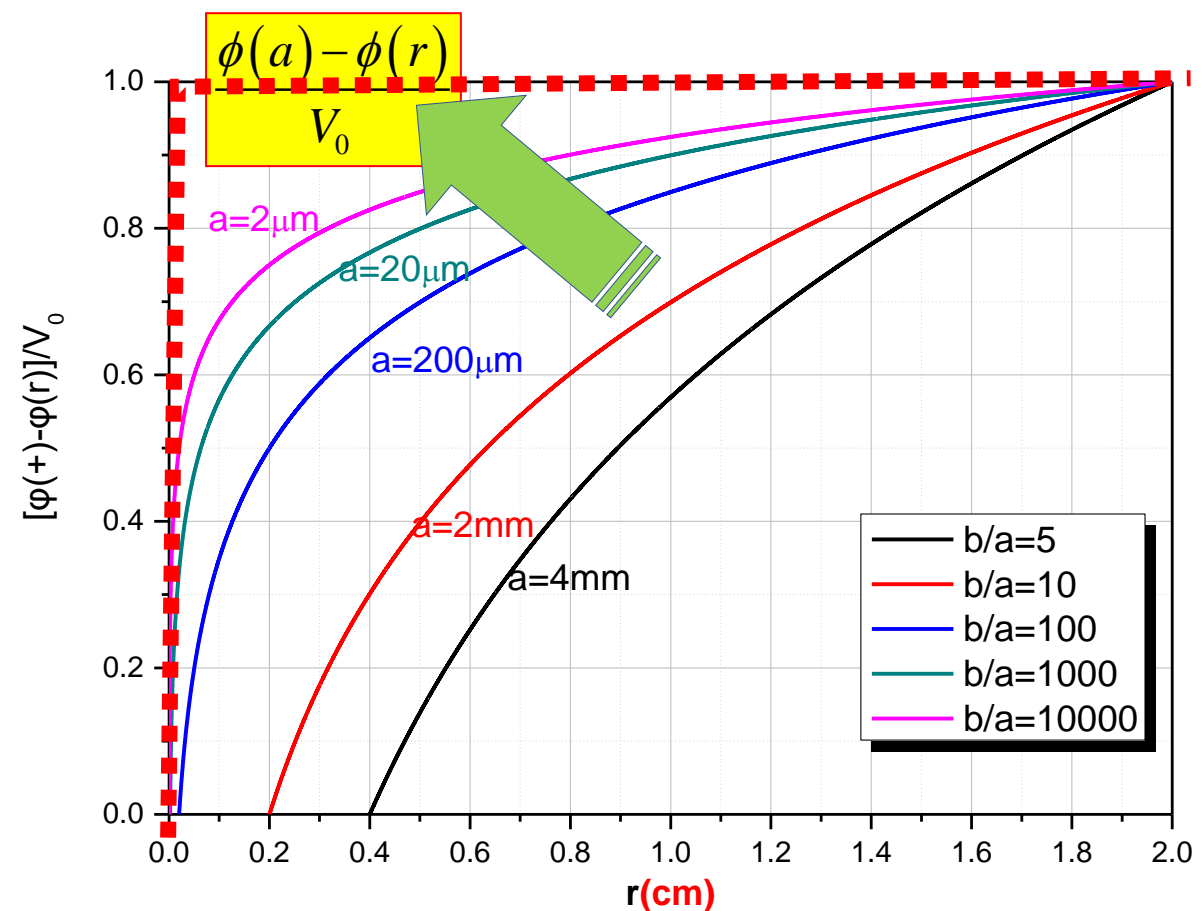
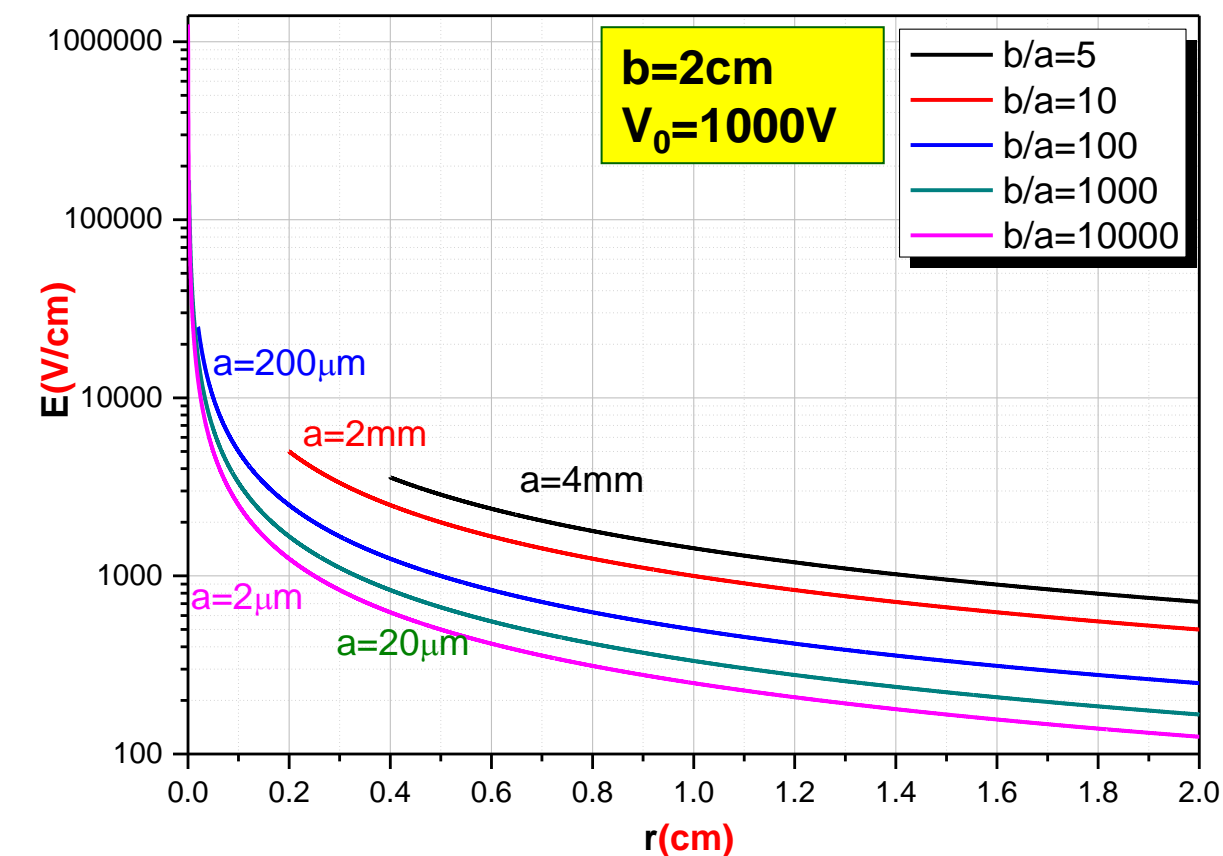
距中心位置为 r 的场强

$$E(r) = \frac{1}{r} \cdot \frac{V_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

从丝极表面算起的电势差

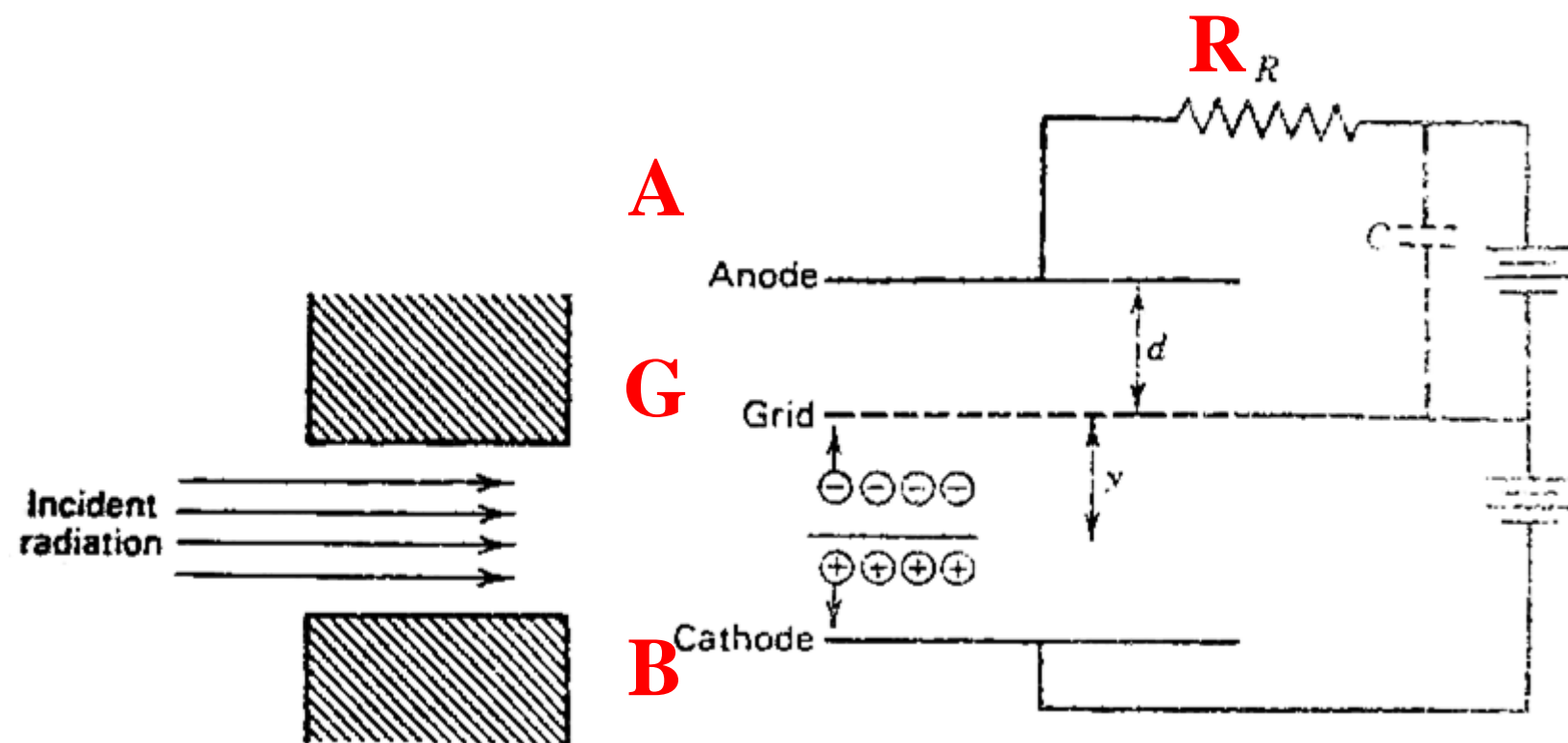


$$\phi(r) - \phi(a) = V_0 \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{a}\right)}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} = V_0 \cdot \frac{\ln(r) - \ln(a)}{\ln(b) - \ln(a)}$$

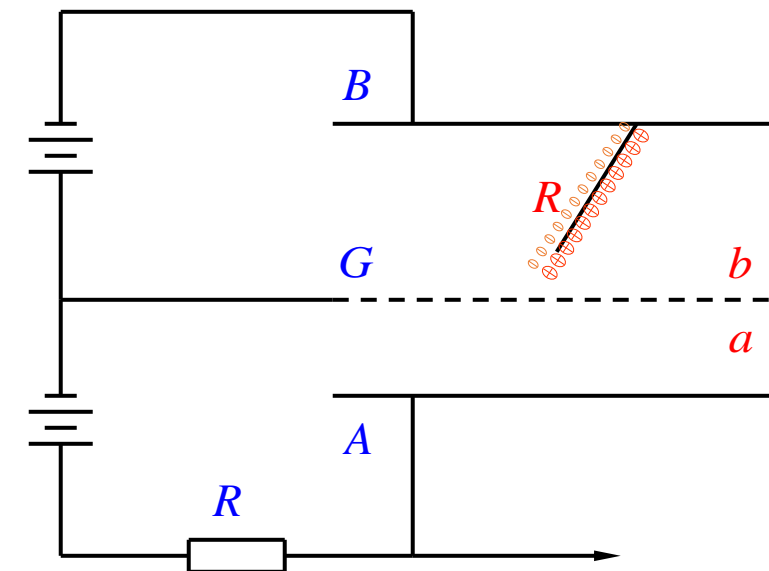
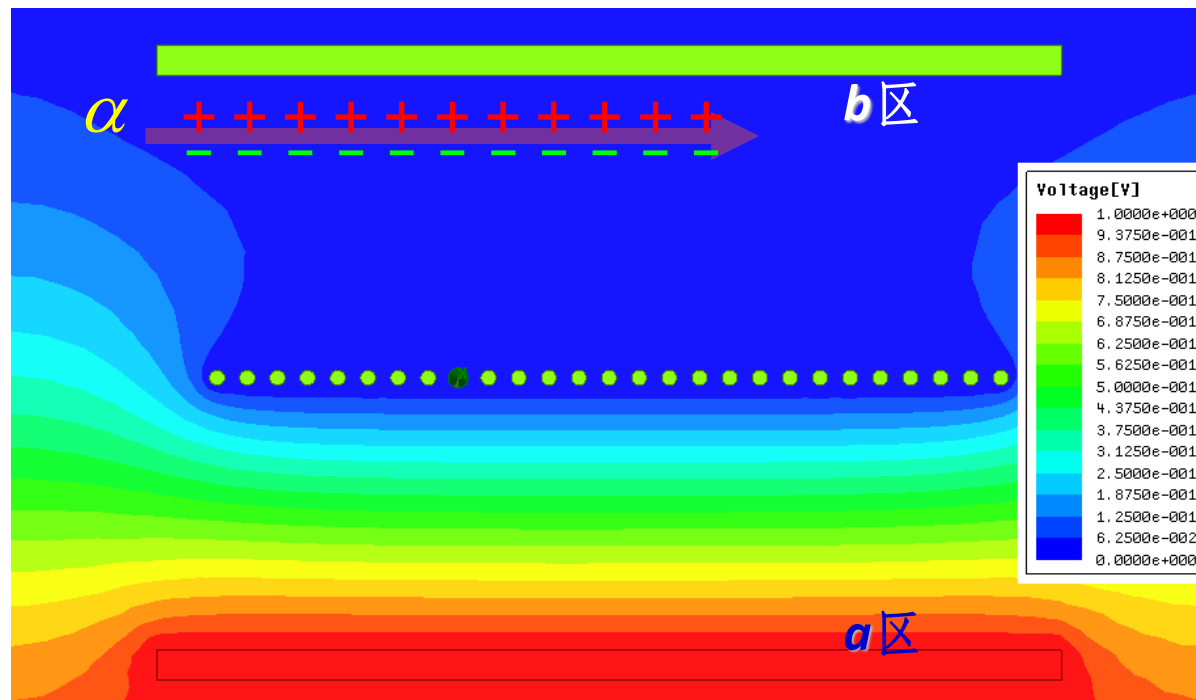


2. 屏栅电离室的构成:

正极A、负极B、栅极G、电源和负载电阻。

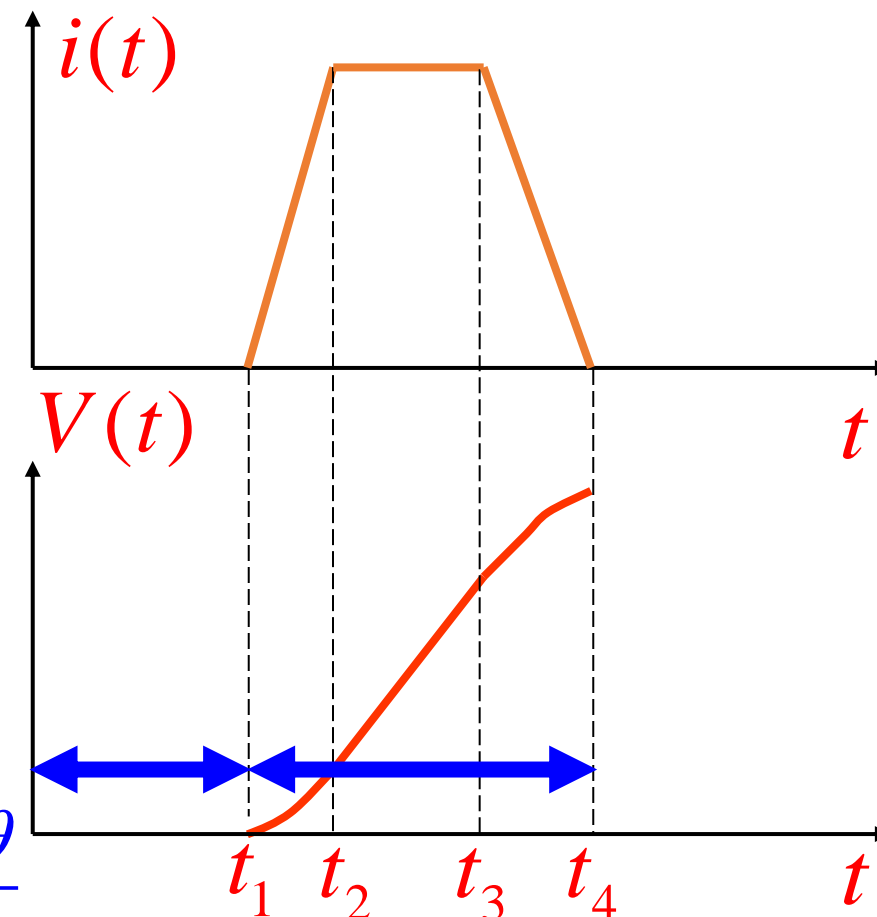
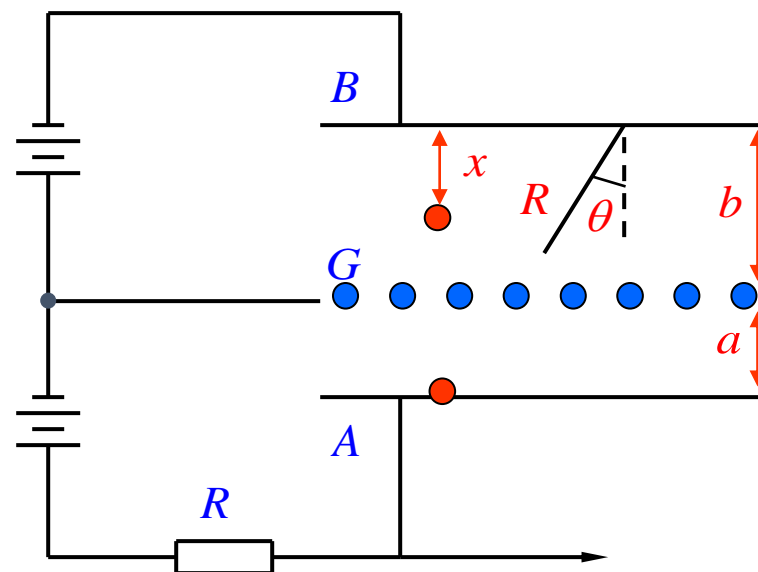


结构要求：入射粒子将全部能量损失在***b***区，即 $b > R$ 。



- 入射粒子在***b***区产生电子离子对。
- 栅极的**屏蔽**作用使***b***区的电子离子**不会**在阳极**A**上产生**感应**电荷。
- 电子在***a***区漂移时，在阳极**A**上形成**感应电荷**。

$$Q = N_0 e$$



时滞:

$$t_1 = \frac{b - R \cos \theta}{u_{eb}}$$

上升时间: $t_4 - t_1 = \frac{R \cos \theta}{u_{eb}} + \frac{a}{u_{ea}}$

一. 脉冲电离室的**输出信号**

“**电荷** \rightarrow **电流** \rightarrow **电压**”

二. **圆柱形**电子脉冲电离室和**屏栅**电离室

三. 脉冲电离室输出**信号的测量**

四. 脉冲电离室的**性能**

1) 入射带电粒子的**数量**;

——通过对输出**脉冲数**进行测量。

2) 入射带电粒子的**能量**;

——通过对输出电压信号的**幅度**进行测量。

3) 确定入射粒子间的**时间关系**。

——通过对输出电压信号的**时间**进行测量。