



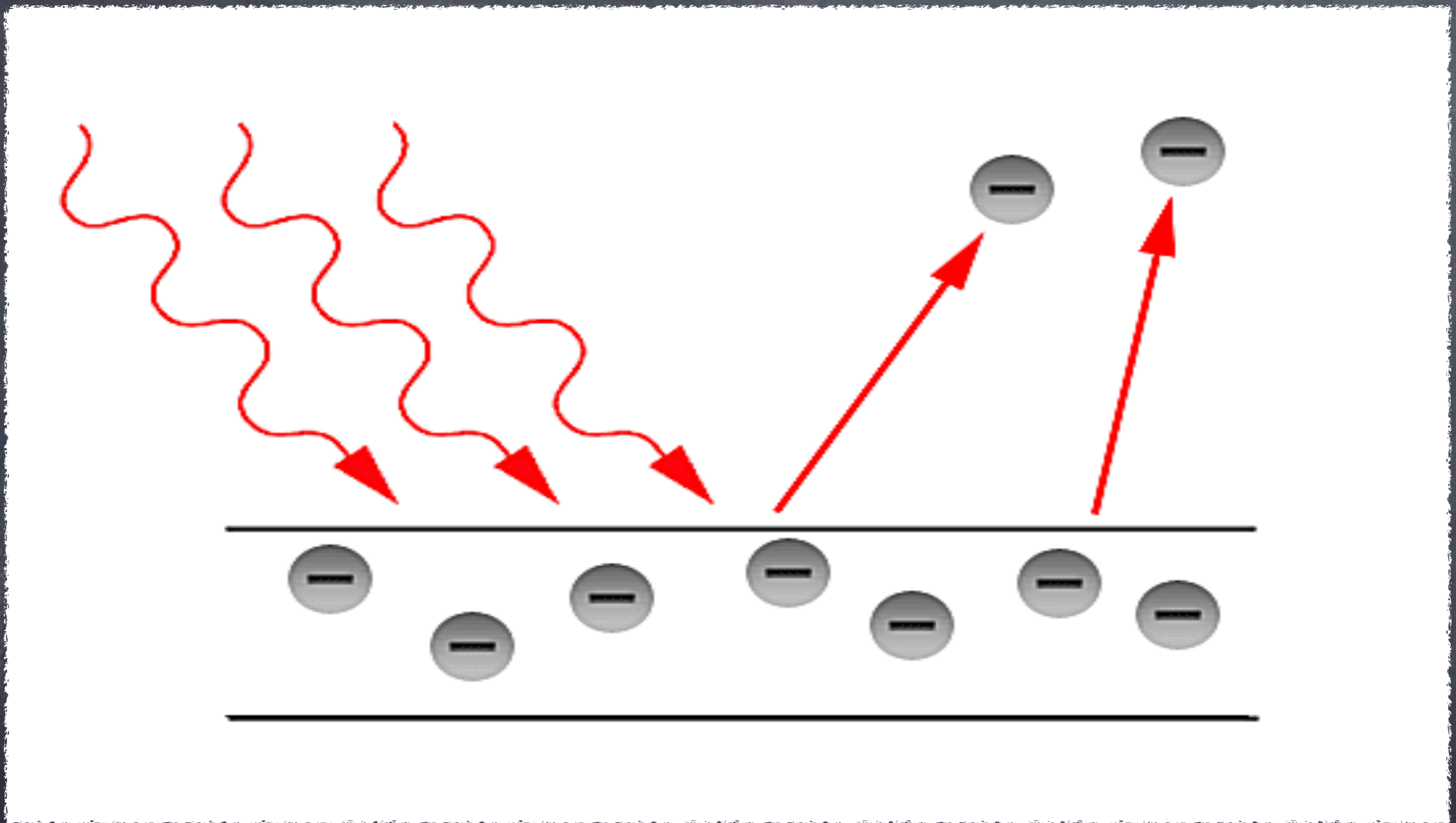
Efeito fotoelétrico

Física experimental C

Mayara Ikeda

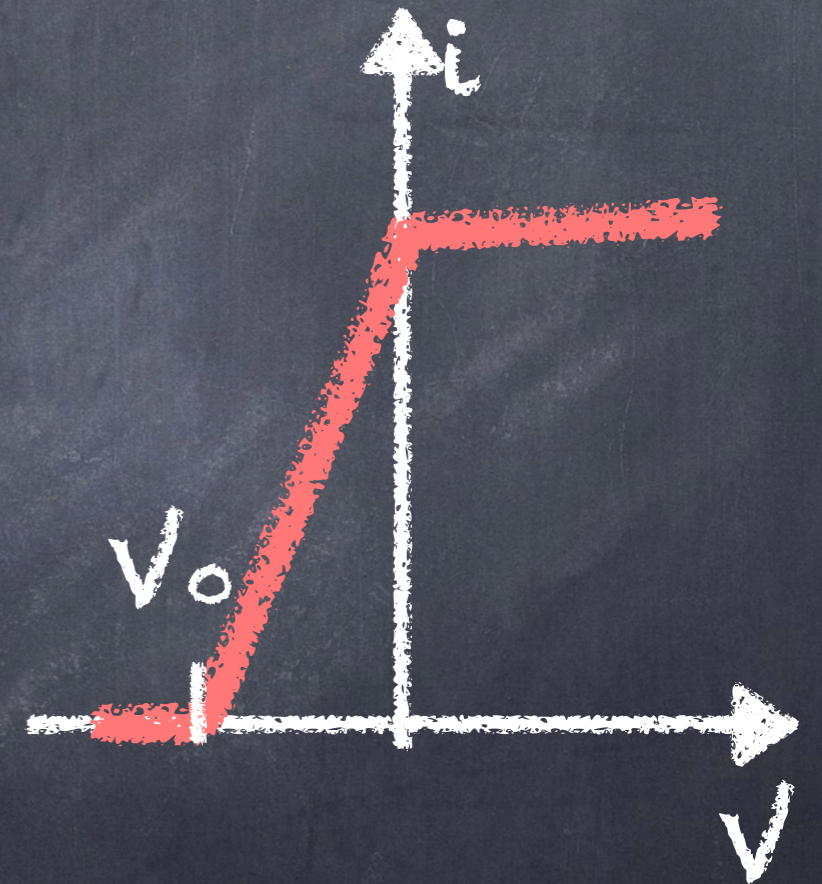
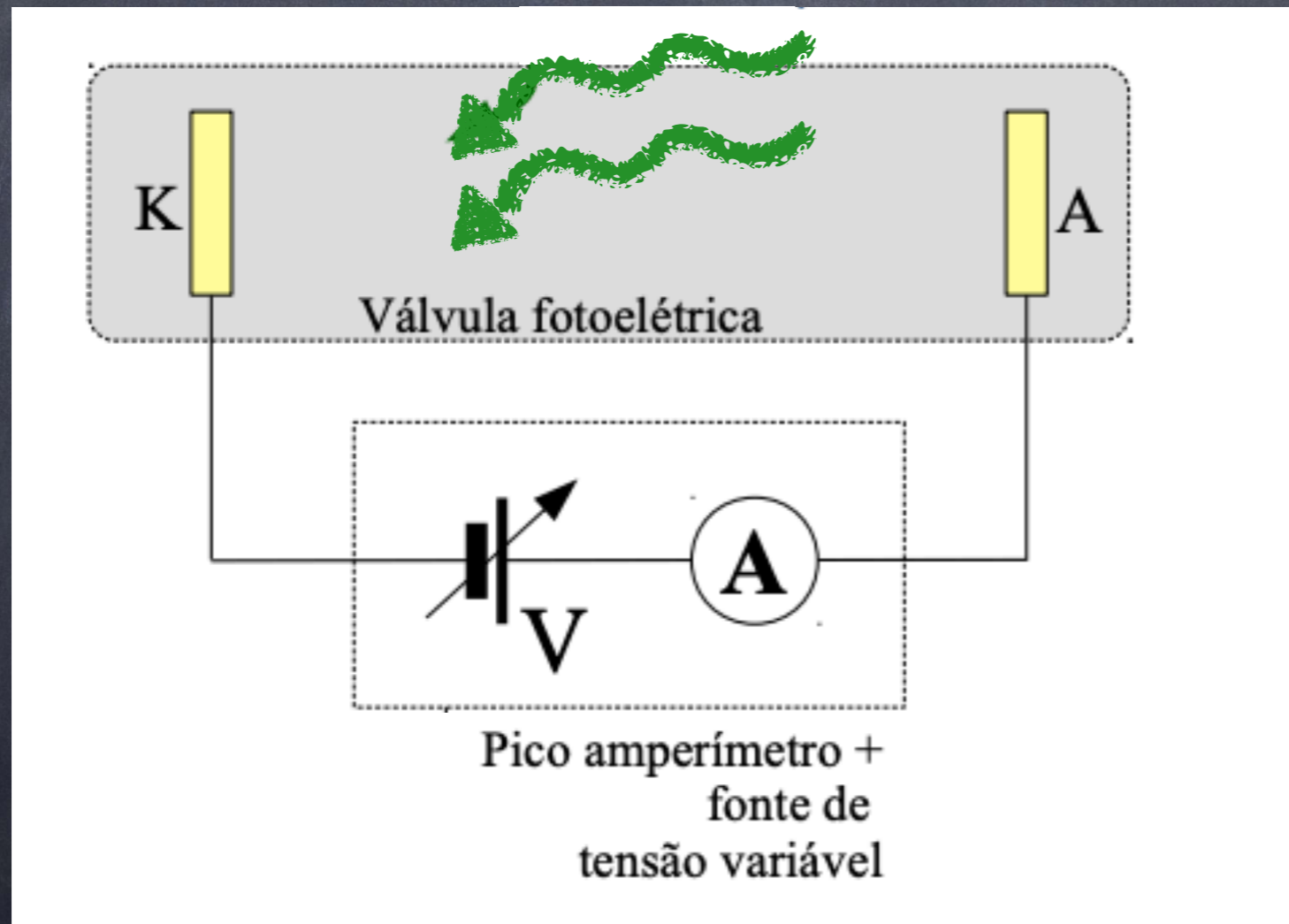
mikedada@if.usp.br

janeiro de 2020



O que é o efeito fotoelétrico?

Arranjo experimental esquemático



Um pouco sobre o arranjo experimental

- Uma diferença de potencial variável V é aplicada entre a placa emissora e coletora
- Em $V > 0$, a corrente fotoelétrica aumenta até chegar a um ponto de saturação
- Em $V < 0$, a corrente fotoelétrica diminui gradativamente até chegar a um ponto em que ela zera. O valor de potencial elétrico para o qual isso ocorre é chamado potencial de corte V_0

Um pouco sobre os estudos da natureza da luz

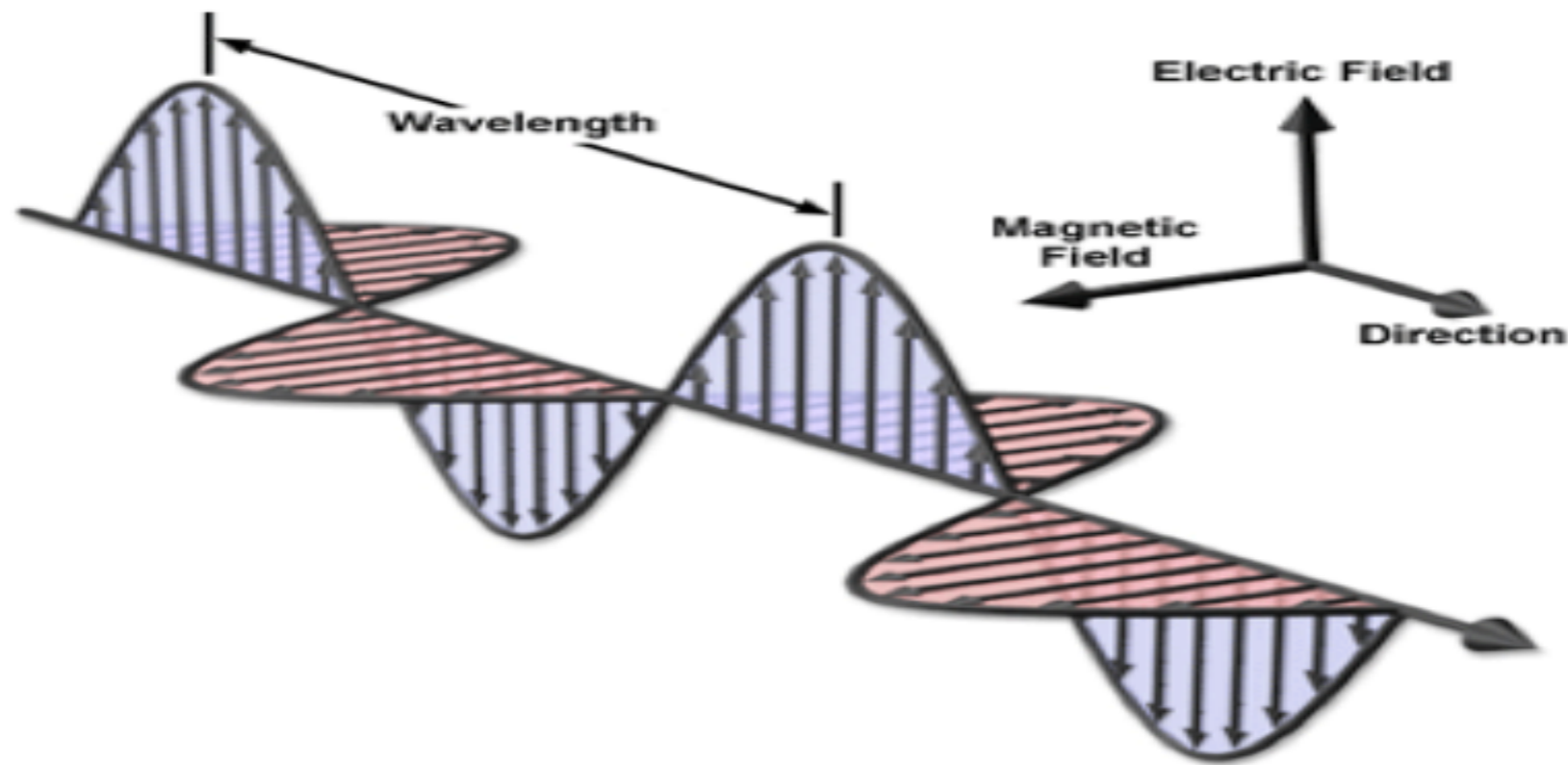
Luz como partícula













- Newton

Luz como onda

- Huygens
- Young
- Maxwell

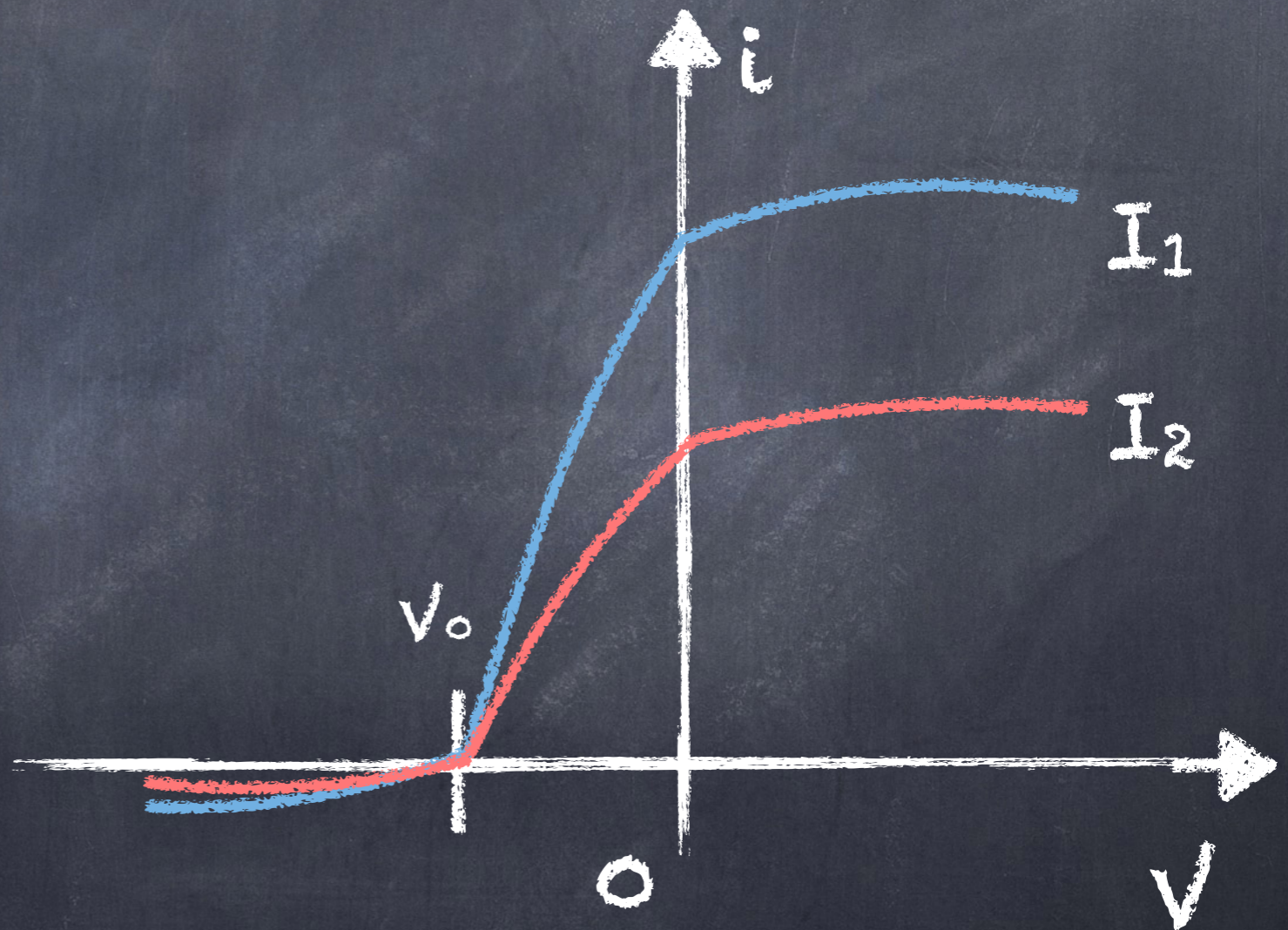
Electromagnetic Wave



1	Phenomenon	Can be explained in terms of waves.	Can be explained in terms of particles.
2	Reflection		
3	Refraction		
4	Interference		
5	Diffraction		
6	Polarization		
7	Photoelectric effect		

História do efeito fotoelétrico

- Hertz (pioneiro)
- Lenard (concluiu que V_0 não depende da intensidade)
- Einstein (teoria quântica para a luz)
- Millikan (mediu a constante de Planck)



Explicação clássica (incorreta) para o efeito fotoelétrico

- Quando uma onda encontra um elétron, o campo elétrico exerce uma força neste, ganhando energia cinética
- Dessa forma o elétron pode se desprender do átomo, com energia cinética K_e , que é proporcional a E_0^2

Explicação clássica (incorreta) para o efeito fotoelétrico

2ª Lei de Newton

$$F = ma$$

Força no elétron
devido ao campo
elétrico

$$F_e = eE$$

Lembrando que;

$$v(t) = at + v_0$$

Energia cinética de uma
partícula

$$K = \frac{mv^2}{2}$$

$$F = F_e$$

$$v_0 = 0$$

$$v = \frac{eE}{m}t$$

$$K_e = \frac{e^2 E^2}{2m} t^2$$

A energia cinética K_e de cada fotoelétron
é proporcional a E^2

Explicação clássica (incorreta) para o efeito fotoelétrico

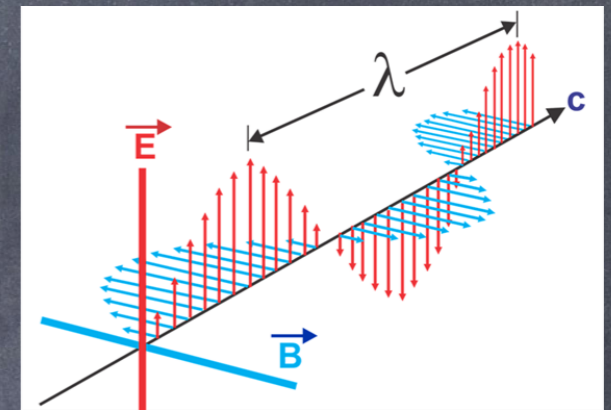
Vetor de Poynting

$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$$

Lembrando que;

$$E(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$

$$B(\vec{r}, t) = B_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$



Média temporal de $f(t)$

$$\langle f(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T f dt$$

$$B_0 = \frac{1}{c} E_0 \quad c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$I = \langle S(t) \rangle = \frac{\epsilon_0 c}{2} E_0^2$$

Intensidade é proporcional a E^2

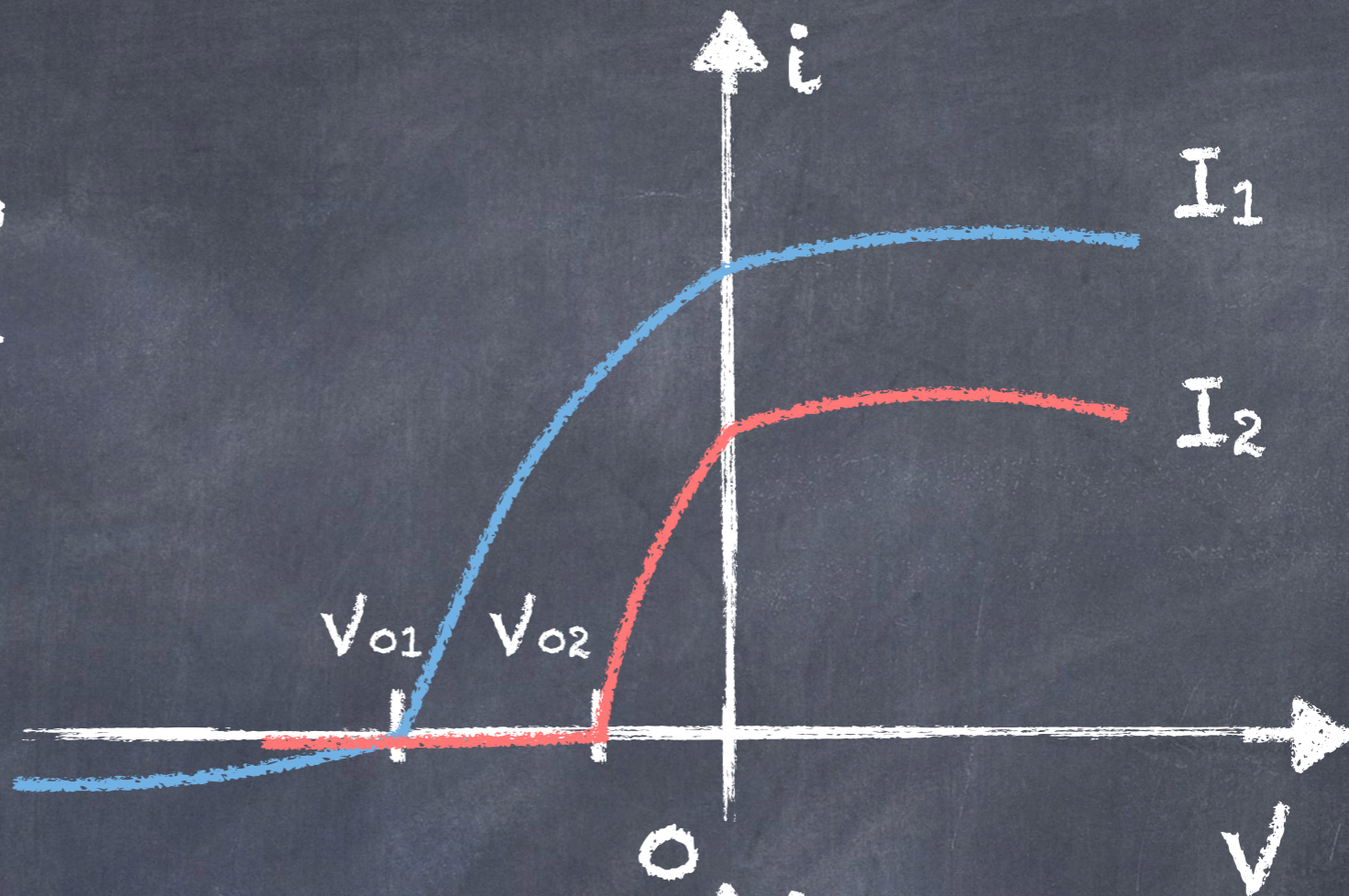
Atenção!!!



Classicamente, a tensão de corte V_0 deveria ser proporcional a **intensidade da luz...**

Mas não é isso o
que se observa...
vamos aos fatos

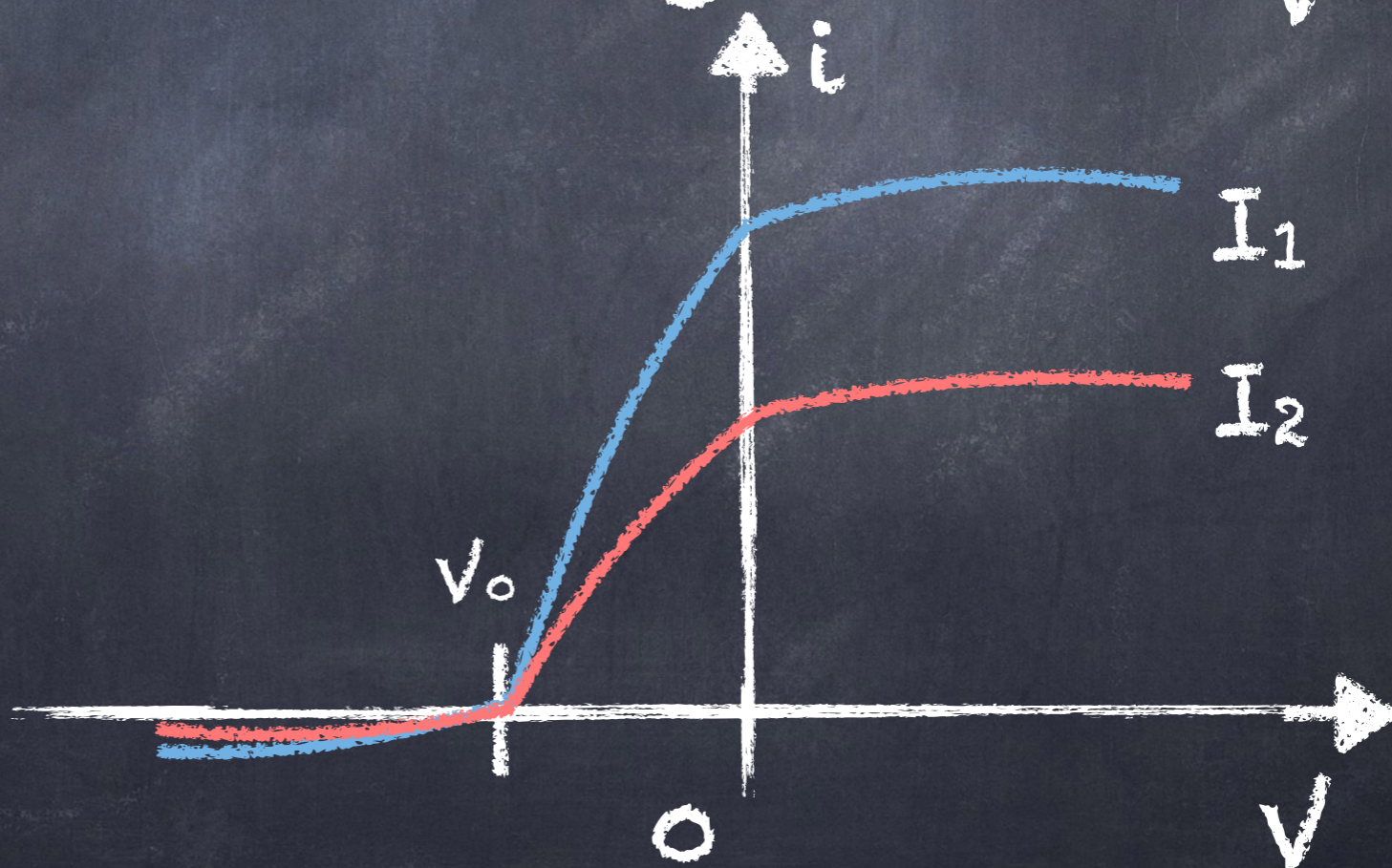
Teoria clássica,
Luz como onda



Resultados
observados



Lembrando que
 $K_{max} = eV_0$



Observações não explicáveis pela teoria clássica

- Ausência de correlação entre K_{\max} e a intensidade de luz
- Limiar de frequências
- Ejeção imediata dos fotoelétrons



Explicações
a partir do
slide 20

Teoria quântica para o efeito fotoelétrico

Energia cinética do elétron

$$K_e = eV$$

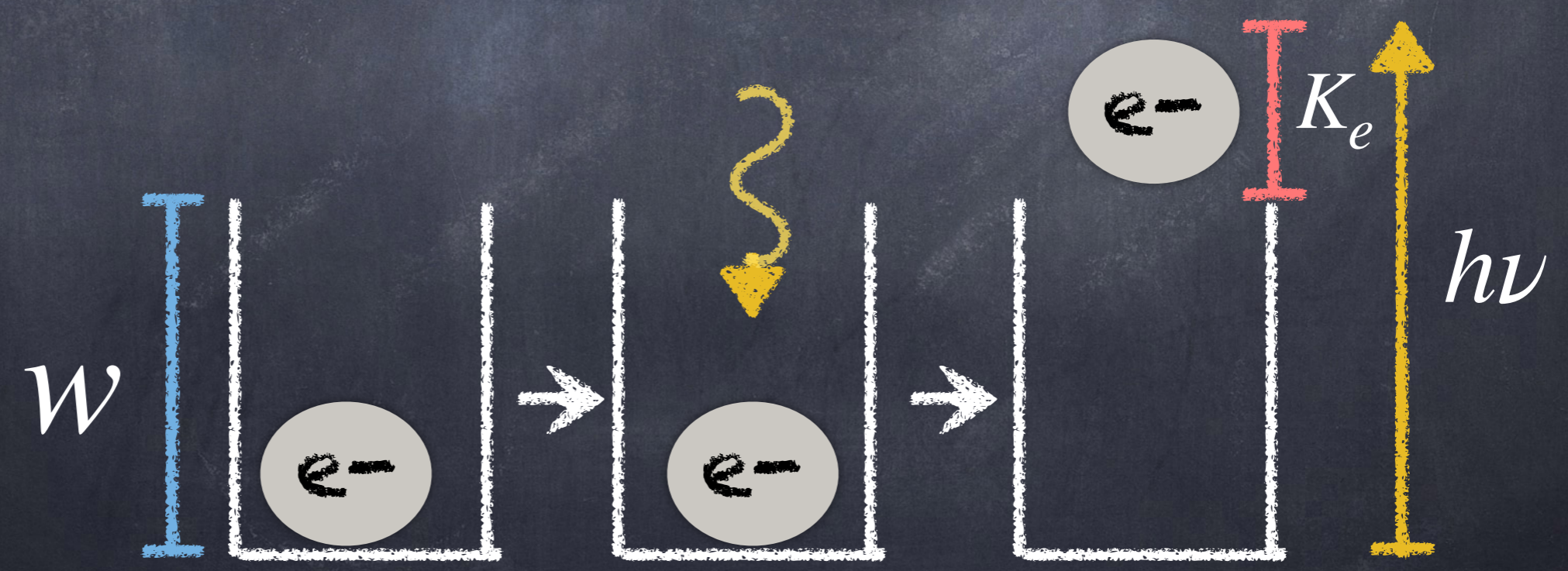
elétron ligado ao metal

elétron absorve um fóton com energia $h\nu$

elétron desprende do átomo

Energia do fóton

$$E_\gamma = h\nu$$



Teoria quântica para o efeito fotoelétrico

No caso do elétron mais fracamente ligado, ele emerge com a máxima energia cinética K_{max}

$$K_{max} = eV_0 = h\nu - w_0$$

Energia cinética do fotoelétron mais rápido

Tensão de corte

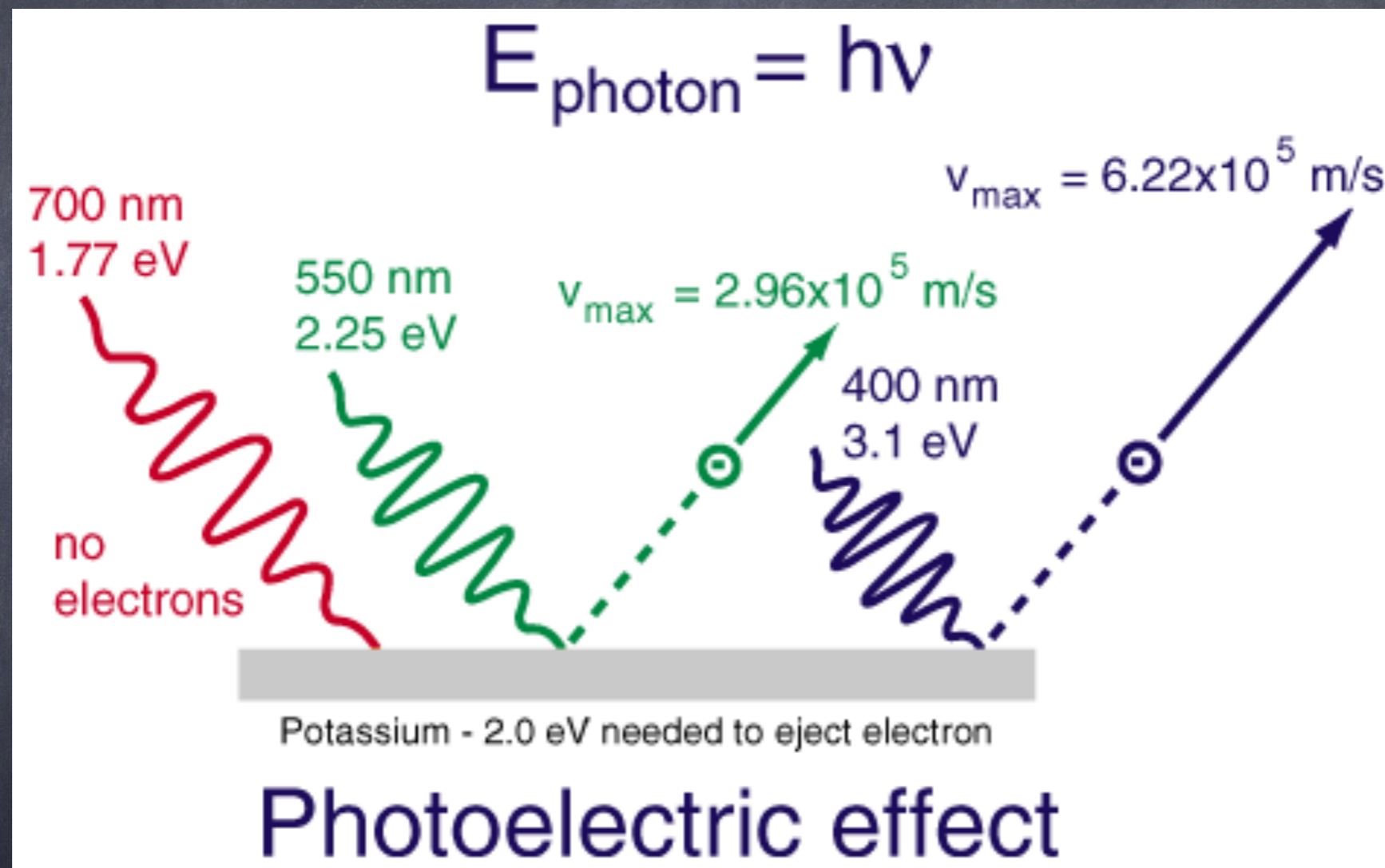
Função trabalho do material



Função
trabalho w_0
para efeito
fotoelétrico de
alguns metais

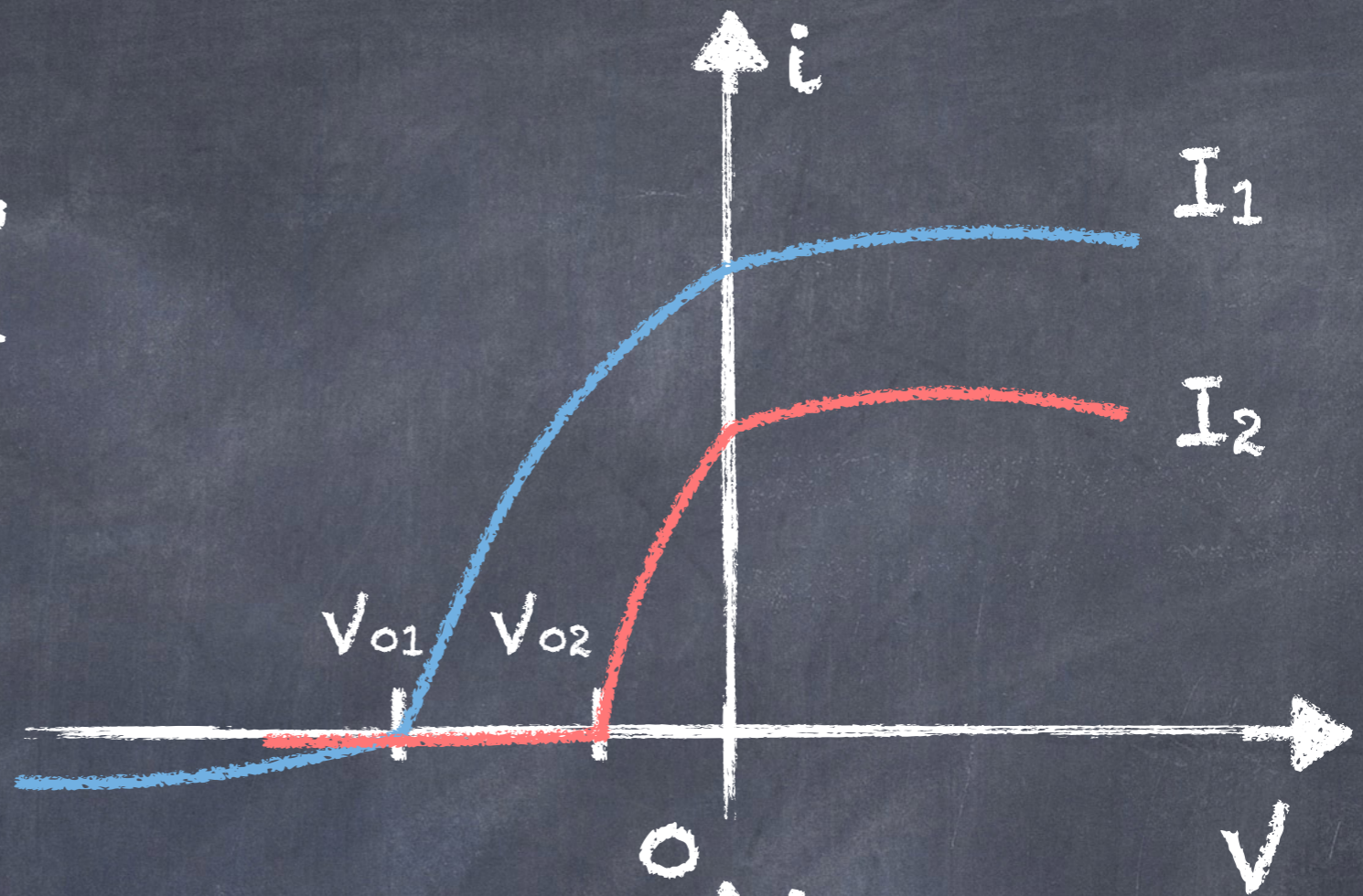
Element	Work Function(eV)
Aluminum	4.08
Beryllium	5.0
Cadmium	4.07
Calcium	2.9
Carbon	4.81
Cesium	2.1
Cobalt	5.0
Copper	4.7
Gold	5.1
Iron	4.5
Lead	4.14
Magnesium	3.68
Mercury	4.5
Nickel	5.01
Niobium	4.3
Potassium	2.3, 2.29**
Platinum	6.35
Selenium	5.11
Silver	4.26-4.73*
Sodium	2.28, 2.36**
Uranium	3.6
Zinc	4.3

Teoria quântica para o efeito fotoelétrico

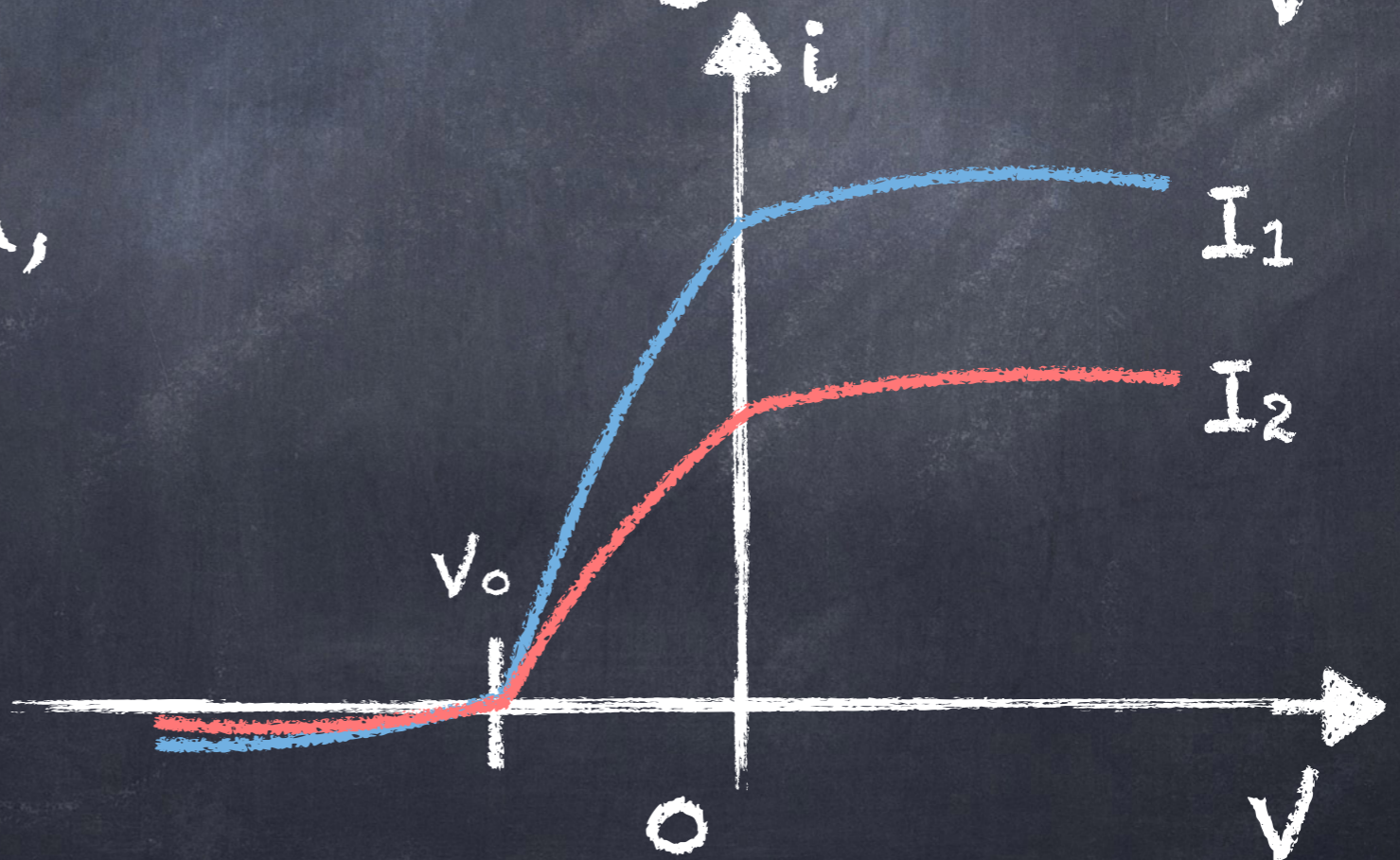


Lembrando que $\nu = c/\lambda$

Teoria clássica,
luz como onda



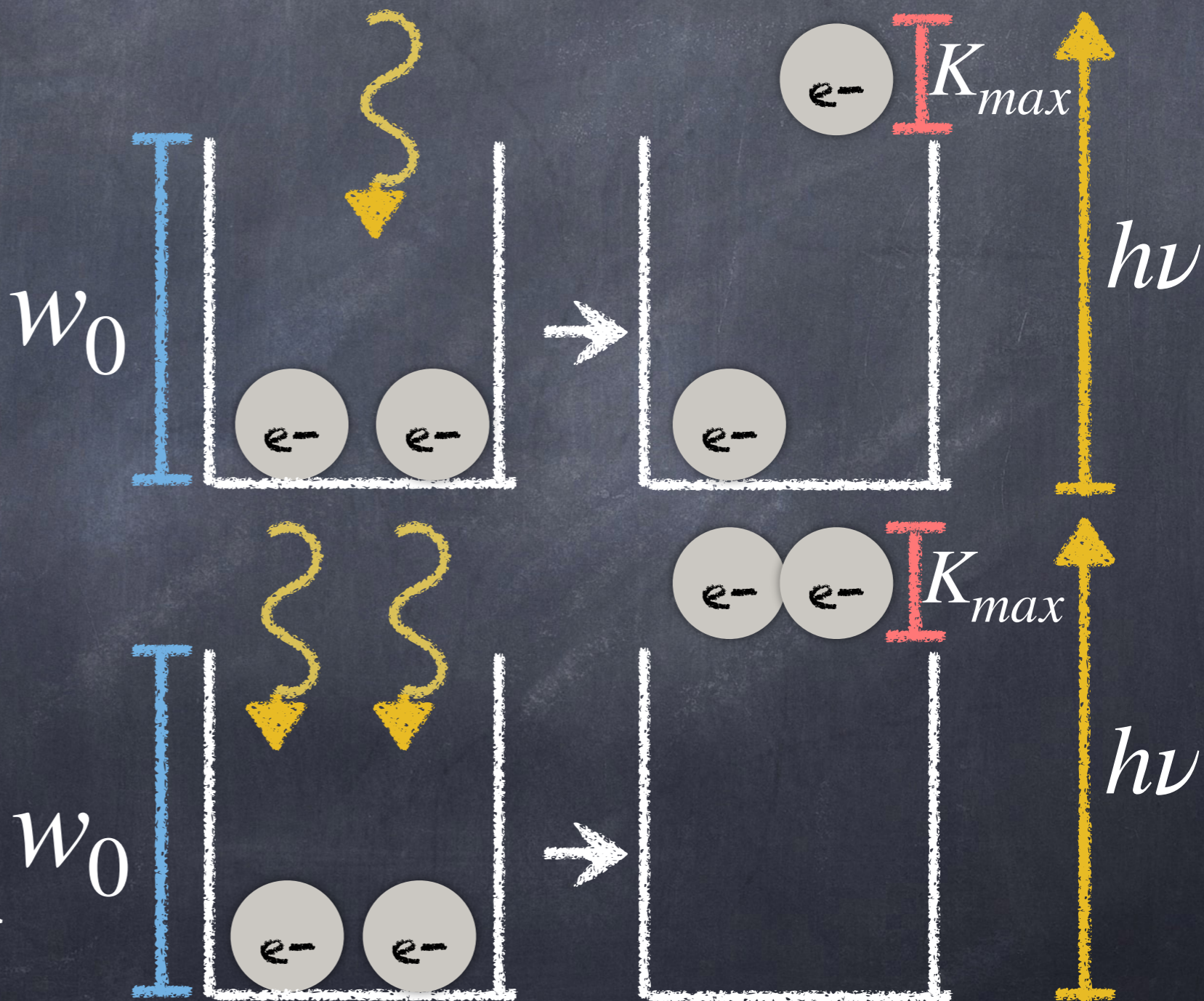
Teoria quântica,
luz como
partícula



Explicações para os fenômenos observados

1. Ansência de correlação entre K_{max} e a intensidade de luz W_0

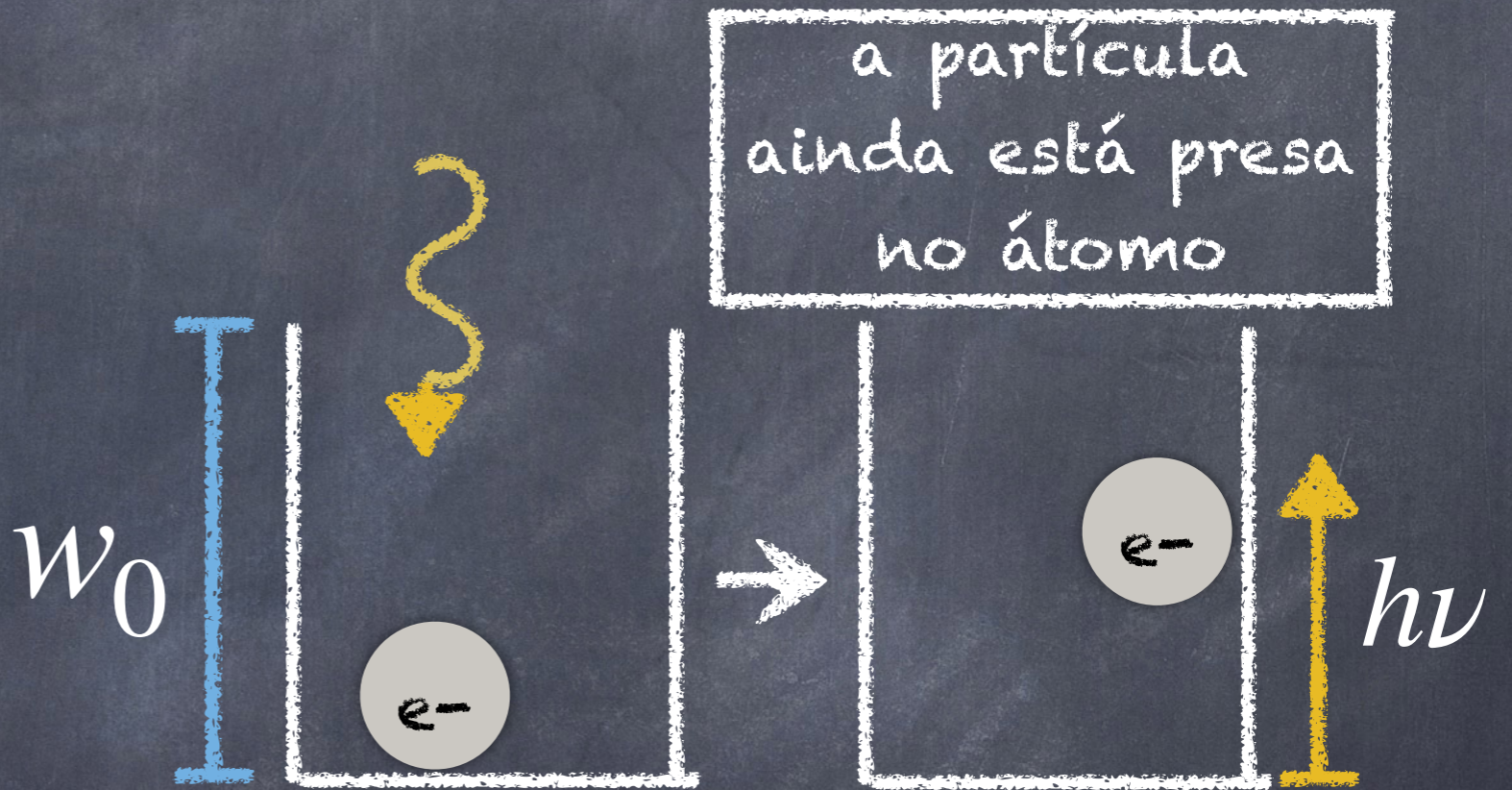
- Ao aumentar a intensidade da luz, há mais fótons sendo emitidos, porém a energia de cada fóton continua sendo a mesma



Explicações para os fenômenos observados

2. Existência de um limiar de frequências

- Caso o fóton tenha uma energia menor do que a necessária para tirar o elétron do metal, não ocorre efeito fotoelétrico



$$K_{max} = 0 \longrightarrow h\nu_0 = W_0$$

Explicações para os fenômenos observados

3. Ejeção imediata dos fotoelétrons

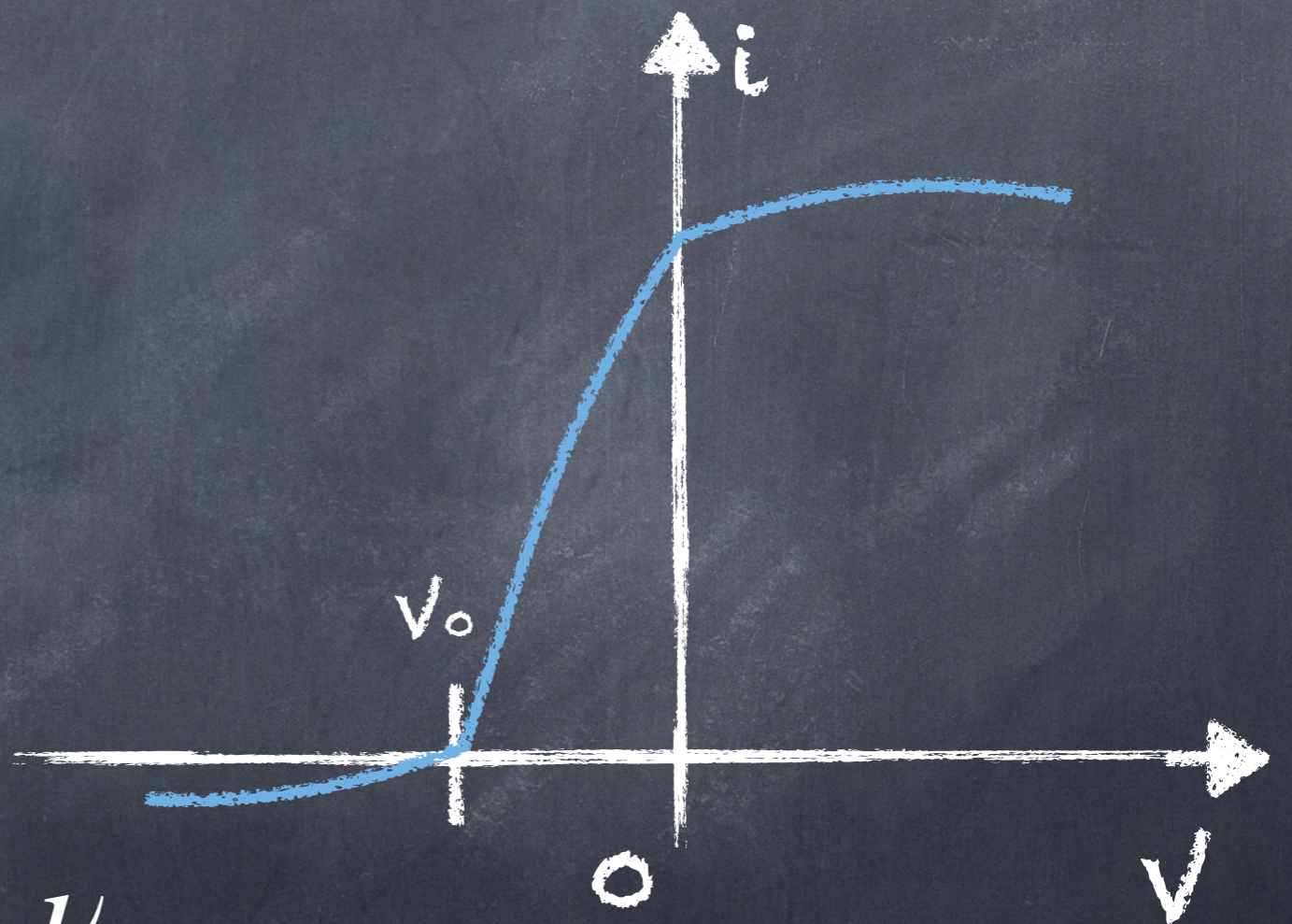
- A absorção do fóton pelo elétron acontece instantaneamente. Por isso nunca foi medido algum intervalo de tempo entre a incidência da luz na placa e a emissão dos fotoelétrons.

Objetivos

- Verificar as observações de Lenard / Millikan
- Determinar o valor da constante de Planck
- Medir a função trabalho da válvula fotoelétrica

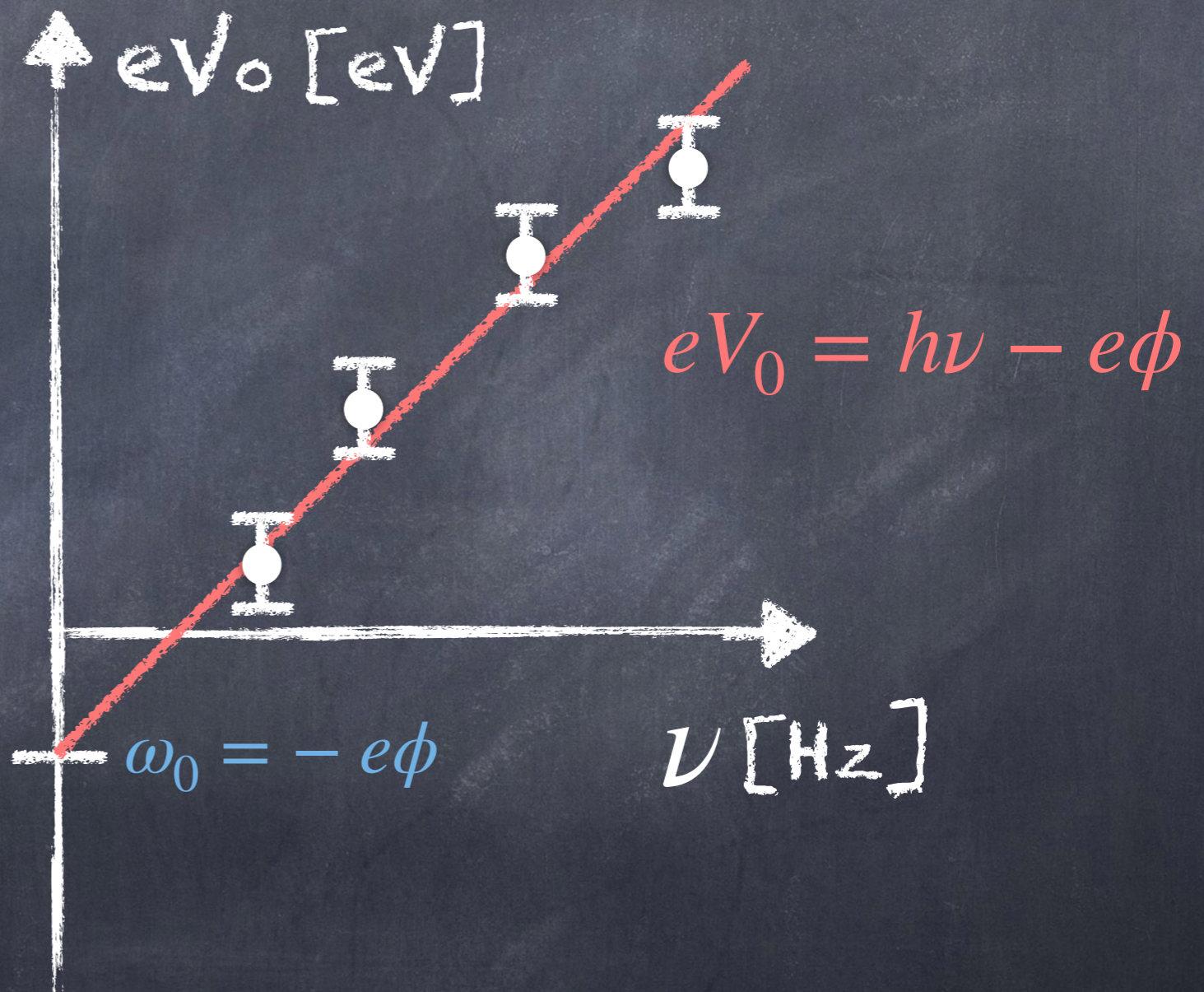
O que será feito

- Para várias frequências diferentes iremos construir a curva ($i \times V$) de uma válvula fotoelétrica.
- Destas curvas será obtido o potencial de corte V_0 em função de V

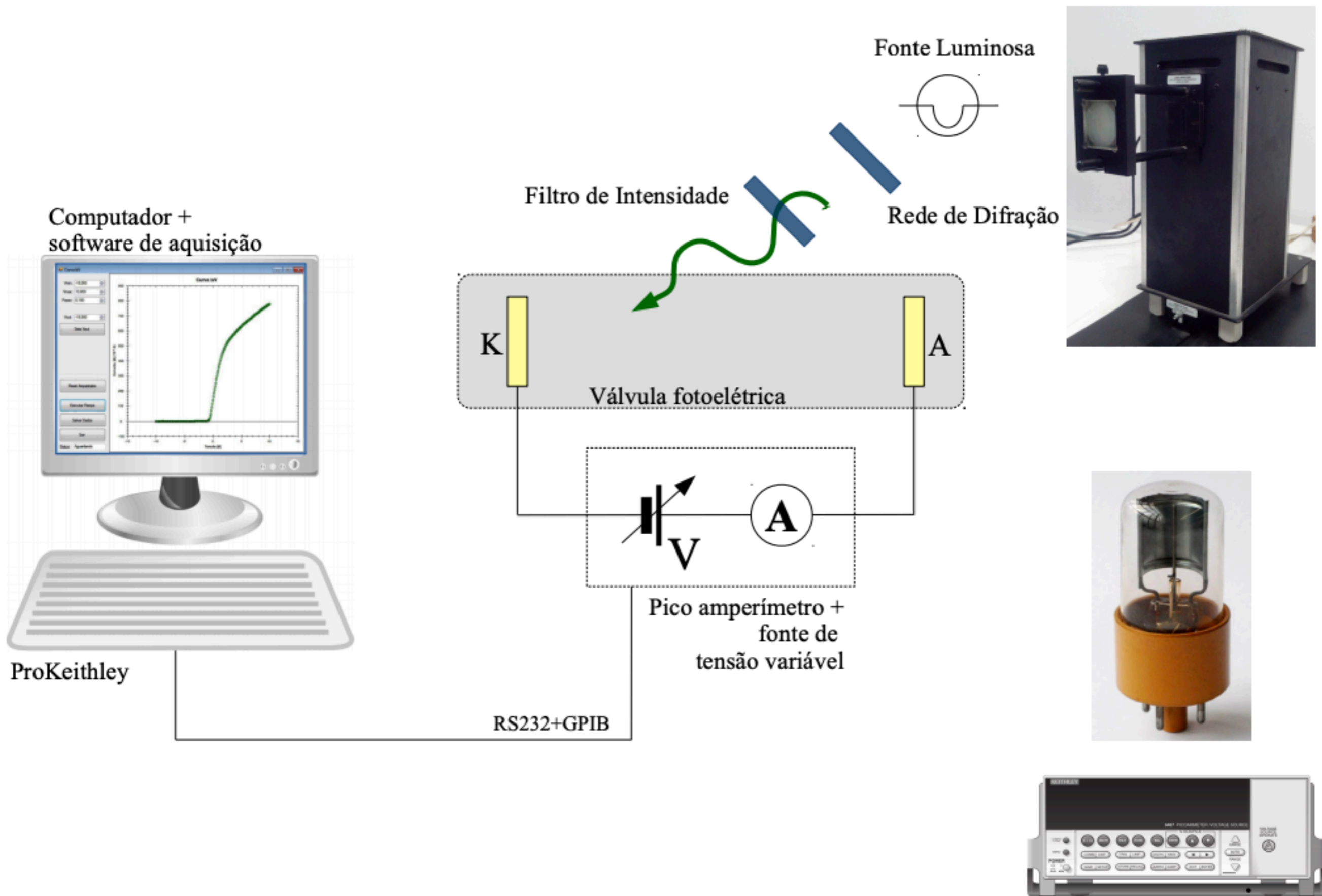


O que será feito

- Ajuste de reta para encontrar a constante de Planck.



Aparato Experimental:



Linhas espectrais da lâmpada de Hg

Cor	Comprimento de onda (nm)
UV	365.016
Violeta	404.656
Azul	435.835
Verde	546.075
Amarelo	576.9610, 578.969 (dubleto)
Vermelho	614.950

Procedimentos

1. Ligue todos os equipamentos (pico amperímetro, gerador de funções, computador) e abra o programa de aquisição do pico amperímetro / fonte de tensão (ProKeithley).
2. Resete o pico-amperímetro: com a iluminação desligada, ajuste a tensão $V_{out} = 0$, pressione o botão "Seta V_{out} " e após isto pressione o botão "Reset Pico-amperímetro".
3. Ajuste a posição da rede de difração e a abertura da fenda de modo a obter as linhas espectrais com mais intensidade e maior nitidez na fenda fotocélula.

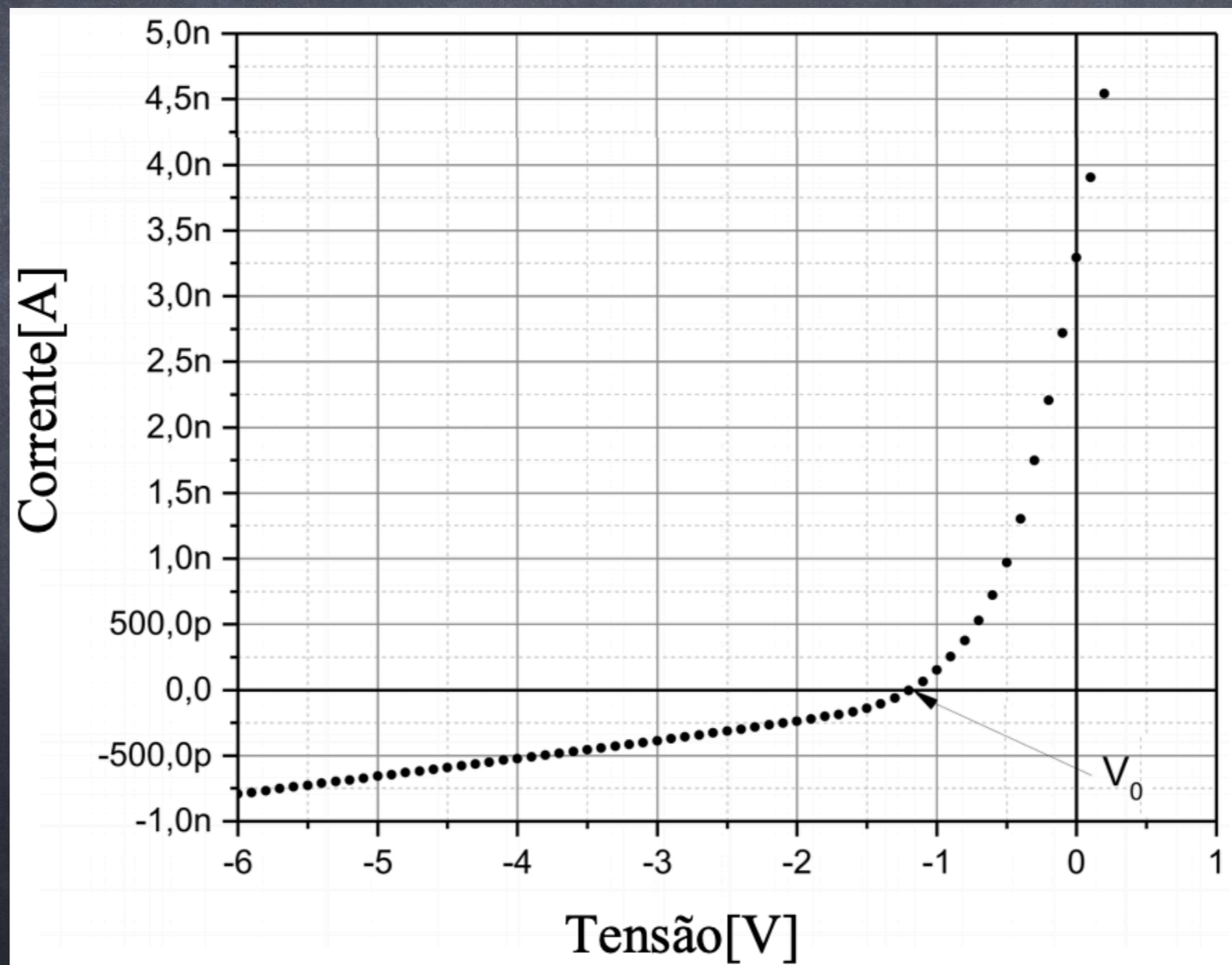
Procedimentos

4. Alinhe a fenda da fotocélula com linha espectral associada ao ultravioleta; levante as curvas $I \times V$ para os filtros de 100%, 80%, 60%, 40% e 20%. Utilize a resolução de tensão no programa ProKeithley de 0,1V ou 0,05V (aquela que vocês julgarem melhor).
5. Repita o procedimento para as demais linhas (violeta, azul, verde e amarelo). Para as cores verde e amarelo, utilize os respectivos filtros.
6. Adquira a curva $I \times V$ com a lâmpada desligado, e outra curva com a fenda da fotocélula totalmente tampada. Essa corrente medida é comparável com a corrente de fundo obtida com a lâmpada ligada?

Métodos para análise de dados

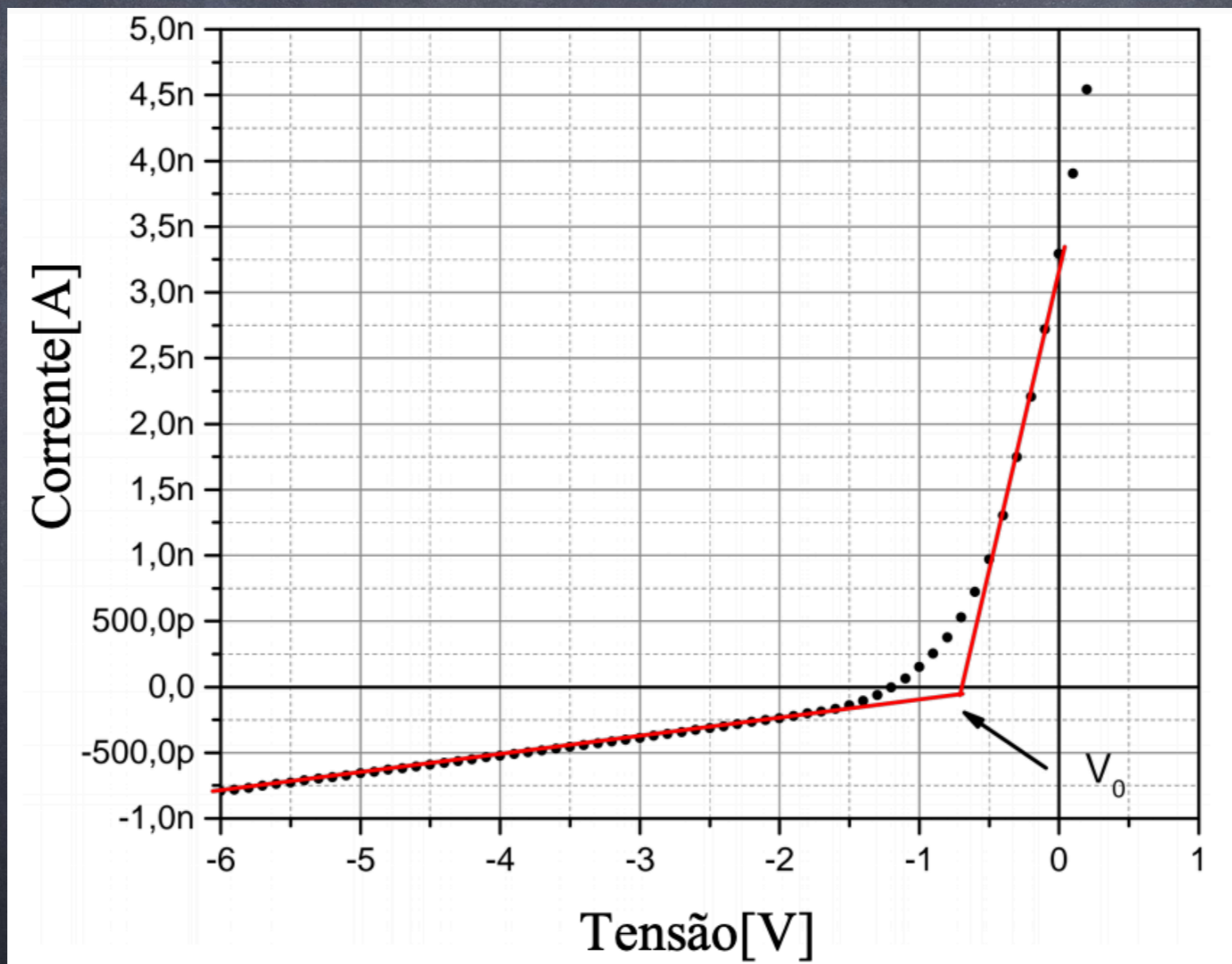
Como determinar V_0 ?

Primeiro método:



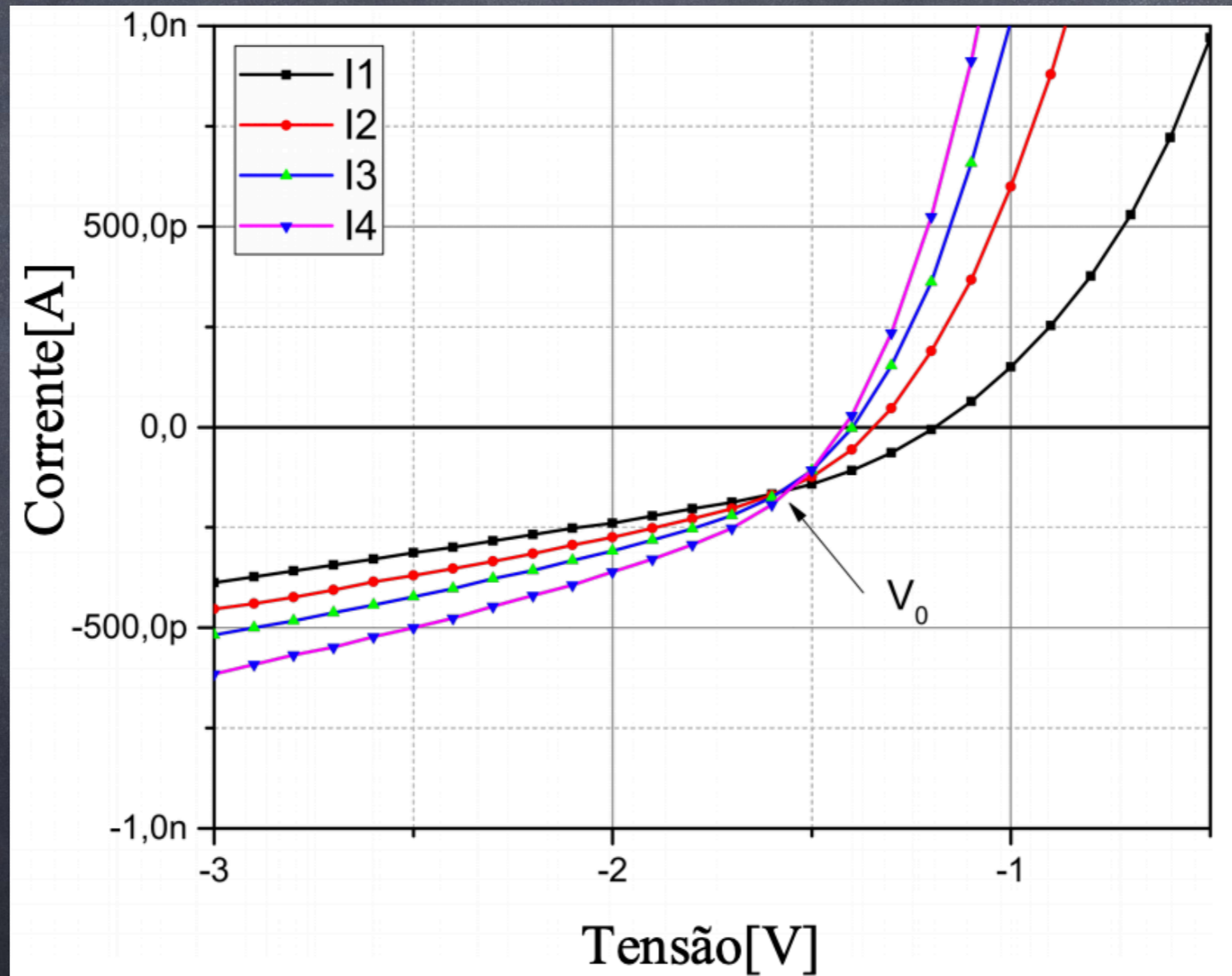
Como determinar V_0 ?

Segundo método



Como determinar V_0 ?

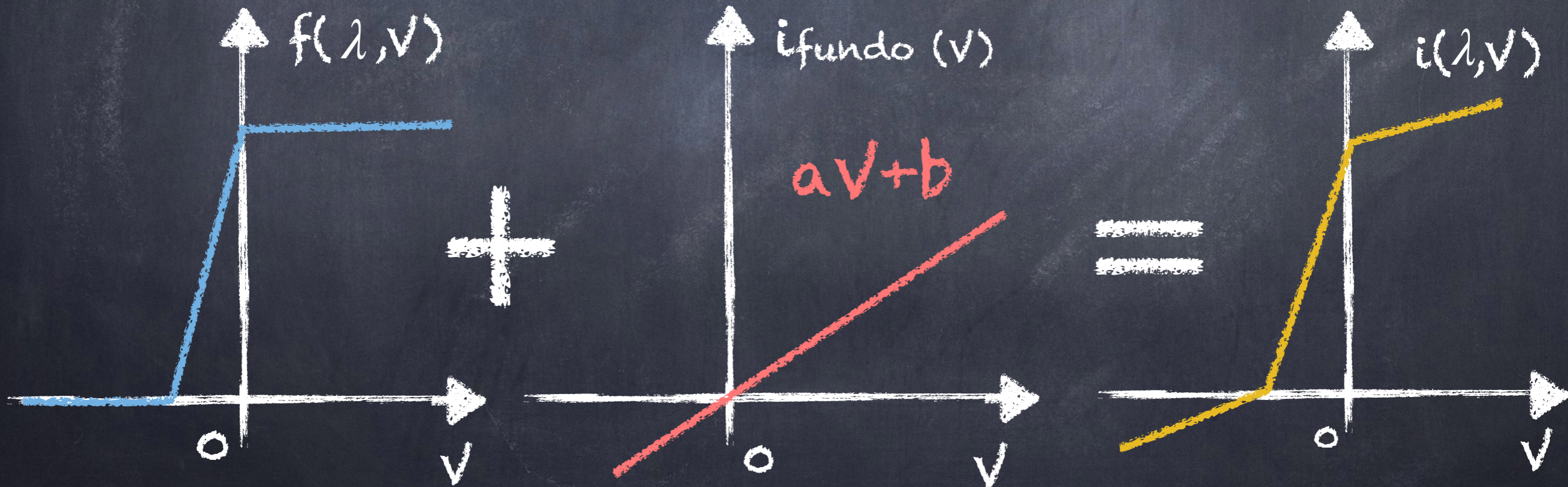
Terceiro método



Como determinar V_0 ?

Quarto método

A corrente medida i pode ser escrita como sendo uma função $f(\lambda, V)$ mais a corrente de fundo



Como determinar V_0 ?

Quarto método

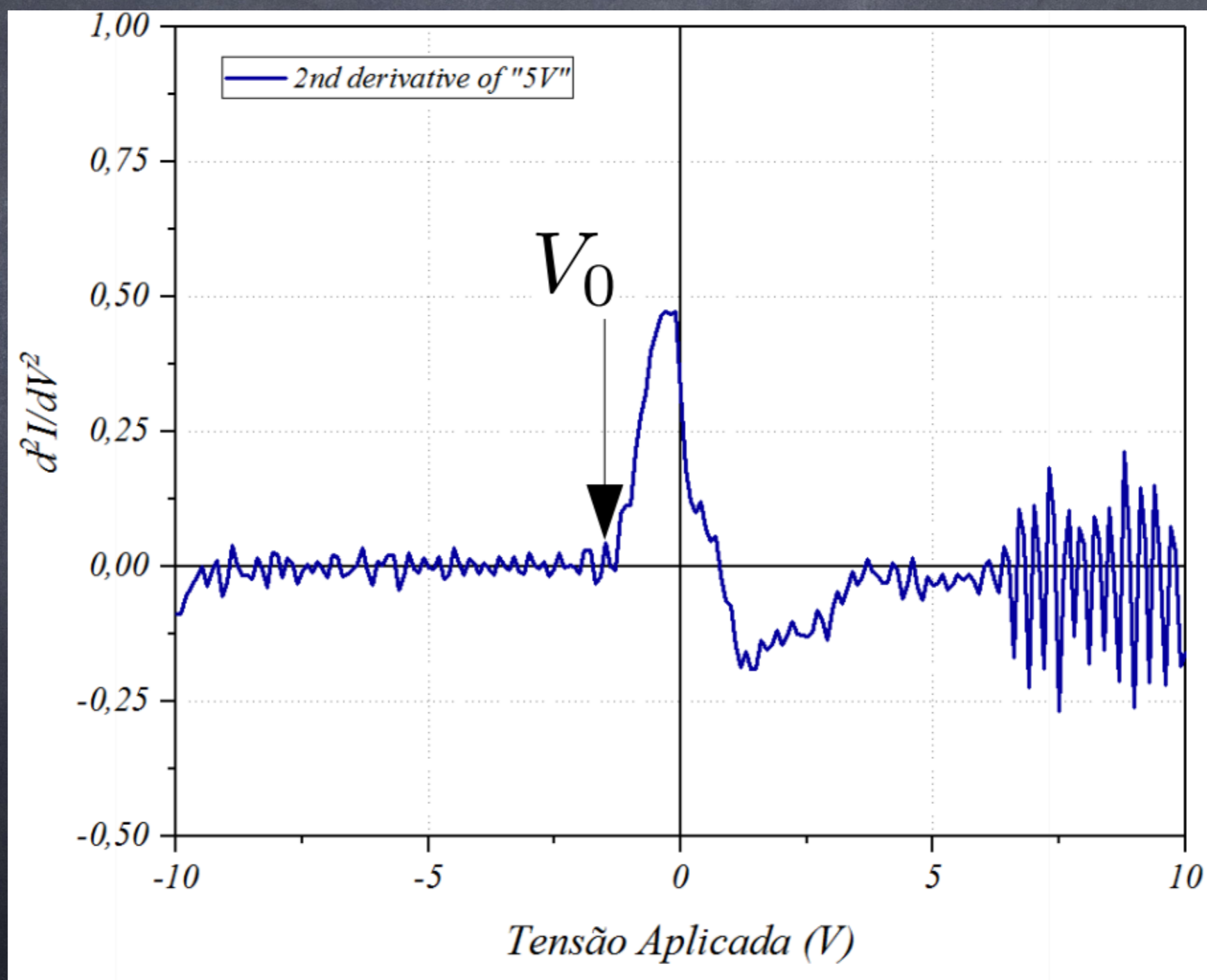
Partindo da curva i , vamos derivá-la numericamente duas vezes, assim desaparece a corrente de fundo, ficamos apenas com a contribuição da função f

$$i = f(\lambda, V) + aV + b$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial V^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial V^2}$$

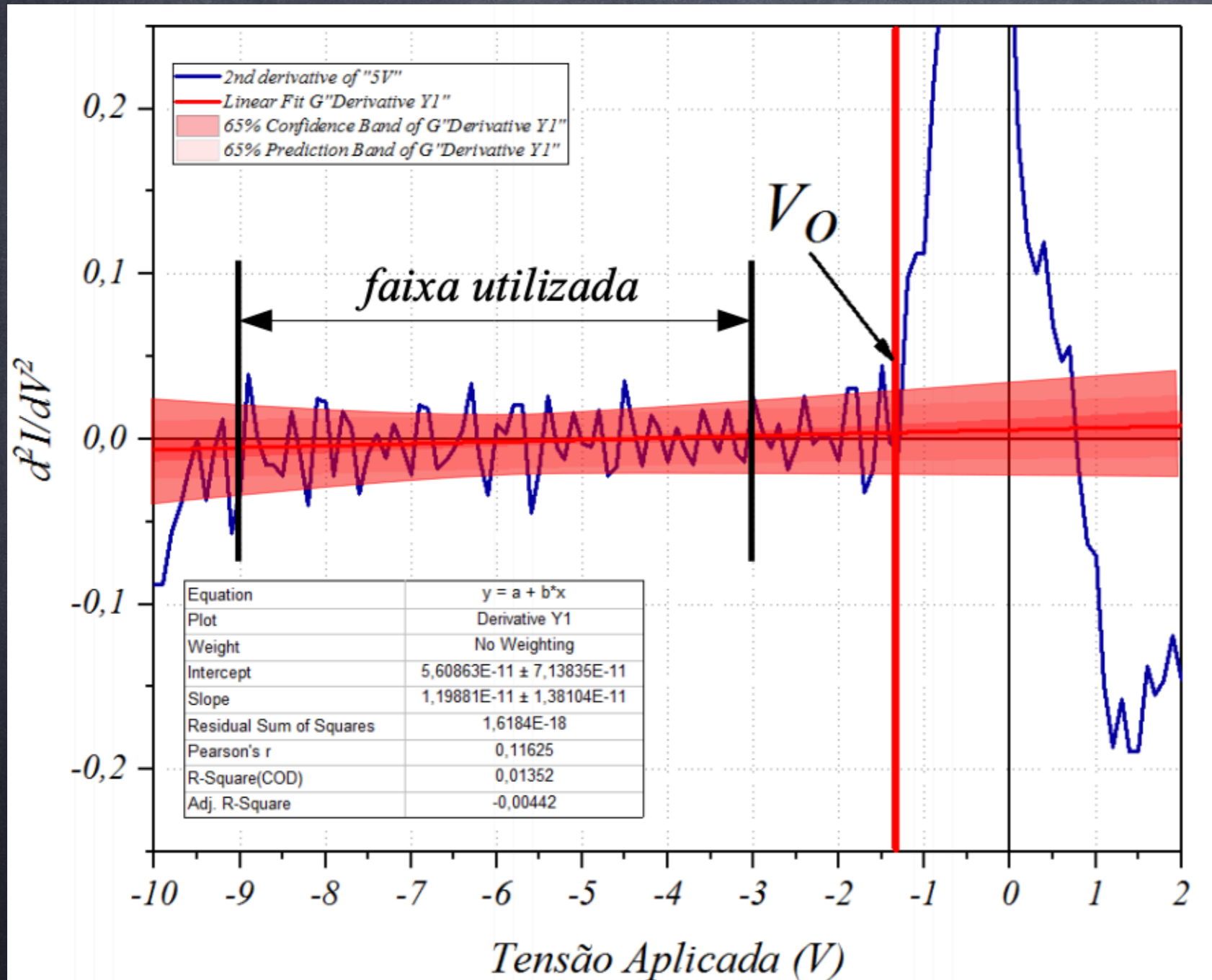
Como determinar V_0 ?

Quarto método



Como determinar V_0 ?

Quarto método



1. Ajustamos uma reta na região entre -9 e -3 volts.
2. Incluímos no Ajuste o intervalo de confiança de 68%.
3. Consideramos o V_0 como o primeiro ponto fora da zona de confiança da reta.

Como determinar V_0 ?

Quarto método

1. Agrupe seus dados de todas as intensidades para cada comprimento de onda em worksheet separados (um workbook para cada comprimento de onda).
2. Utilize a ferramenta : Analysis → Mathematics → Differentiate (Order 2).
3. Plote gráficos do tipo Stack para todas as derivadas.
4. Ajuste as escalas horizontal ($-10V$, $+1V$) e vertical (analise o seu caso).

Como determinar V_0 ?

Quarto método

5. Ajuste uma reta no intervalo: -9 a -3 volts (incluindo banda de confiança e predição para um nível de confiança de 68% - use Spam to Full Axis).
6. Escolha o V_0 como sendo o primeiro ponto que está fora da banda de confiança.
7. Repita o procedimento para todos os comprimentos de onda.

Importante

Lembrando que o V_0 associado com uma frequência será a média dos V_0 referentes às intensidades 100%, 80% e 60%. E a sua incerteza será o desvio padrão da média

Após coletarem os dados, analisem-os usando os 4 métodos, e comparem os resultados.

Não esqueçam de propagar as incertezas.

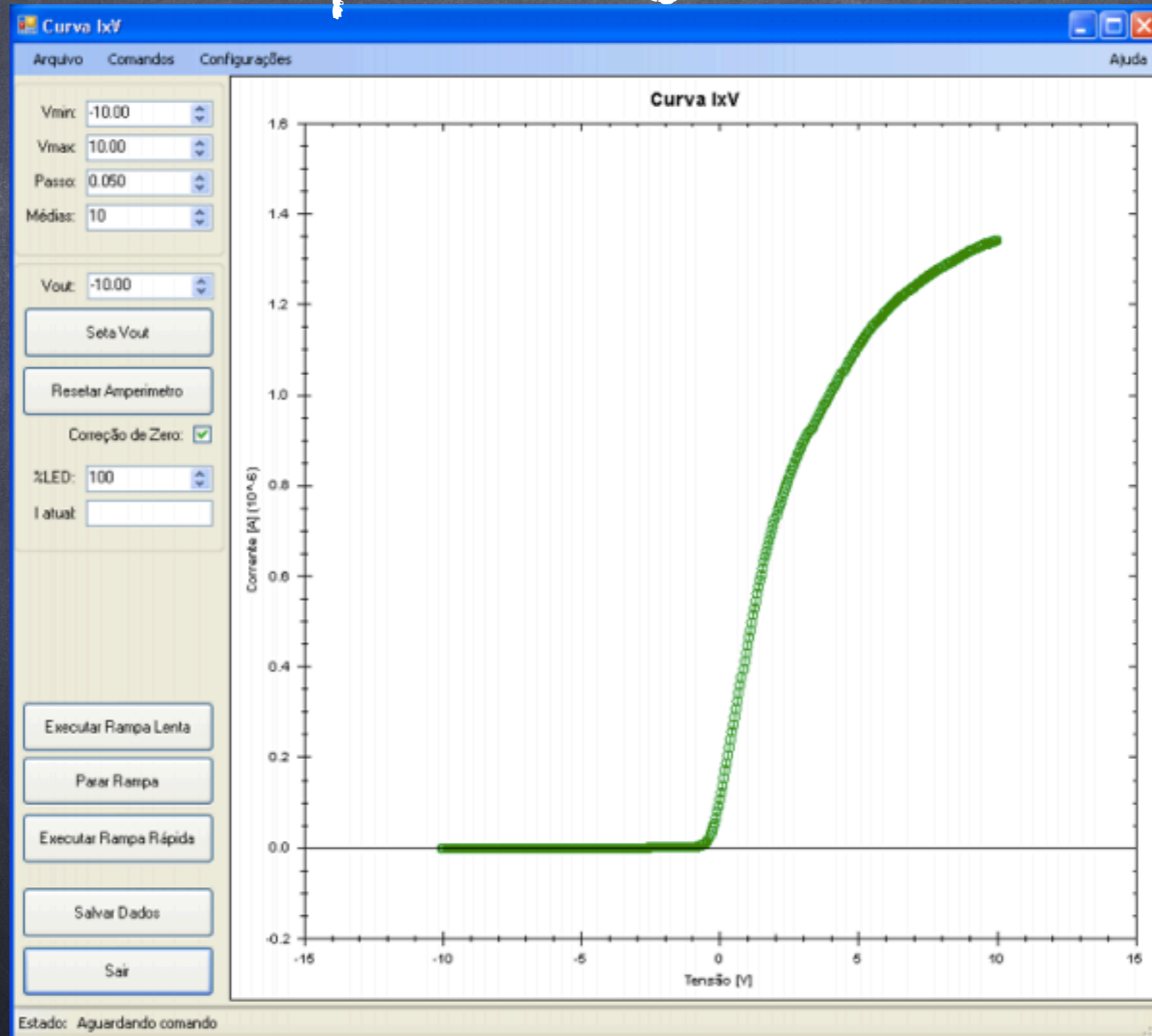
Valores esperados

$$h = 4.15 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

$$W_0 = -1.36 \text{ eV}$$

Atenção!

Não esquecer de mudar o idioma do sistema para inglês dos EUA



Roteiro de Aquisição

Filtro de intensidade	Cor da radiação incidente					
	UV	Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Vermelho
100%						
80%						
60%						
40%						
20%						
corrente de escuro						