

Física Experimental V

Aula 1

4300313

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Agradecimento: Prof. Dr. José Roberto por alguns slides

Horário

2a feira	14:00 – 17:50
3a feira	14:00 – 17:50
4a feira	19:10 – 22:50

Laboratório didático

Professora: Márcia A. Rizzutto
Sala 116 – Ed. Oscar Sala
tel. 3091 6939(secretária) e 30917102

e-mail: *rizzutto@if.usp.br*

Programa

Serão Realizadas 4 experimentos

- **Efeito Fotoelétrico**
 - Energia do fóton
 - Constante de Planck
 - Função trabalho do metal.
- **Espectro de Hidrogênio e Sódio**
 - Observação e medida do comprimento de linhas espectrais
 - Linhas espectrais das lâmpadas de Hg, H e Na
- **Experiencia de Millikan**
 - natureza quântica da carga elétrica
 - Carga do elétron
- **Raio-X**
 - Características e propriedades gerais
 - emissão de raios-X
 - espectro de raio-X

Livros Textos

- Física Quântica,

R. Eisberg e R. Resnick, 4a edição, Ed. Campus Ltda., RJ, Brasil, 1986.

-Física Moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos,

F. Caruso e V. Oguri, Ed. Campus, RJ, 2006.

-Física Moderna,

P. A. Tipler e R. A. Llewellyn, 3a edição, LTC editora, RJ, Brasil, 2001.

-Modern Physics

Serway, Moses and Moyer

-Introduction to the structure of matter, a course in modern physics,

-J.J. Brehm e W.J. Mullin, John Wiley and Sons, USA, 1989.

-Experiments in modern physics,

-Melissinos, 2a edição, Editora Academic Press, USA, 2003

-Textos adicionais:

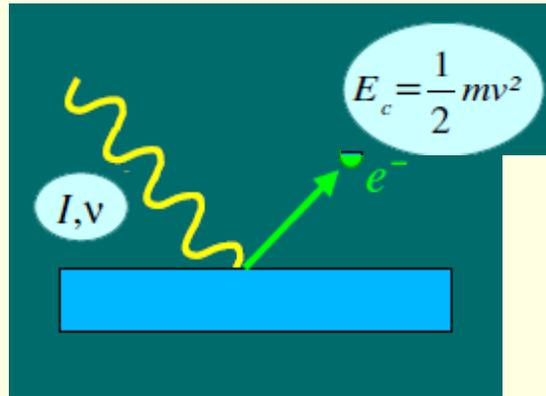
- *Thirty years that shook physics*, G. Gamow, Dover Publications, NY, USA, 1985;

- *Great experiments in physics: firsthand accounts from Galileo to Einstein*, M.H. Shamos, Dover Publ., NY, USA, 1987;

Efeito Foto-elétrico

- **Objetivo:** caracterização do efeito fotoelétrico e a medida da constante de Planck.
- **Usaremos:**
 - Célula fotoelétrica
 - Circuito para medidas de corrente e tensão
 - Análise gráfica V versus I
 - Medições controladas por computador

Efeito Foto-elétrico



- Quando a radiação eletromagnética incide sobre um material há emissão de elétrons



- Este é o chamado efeito foto-elétrico



- Este efeito foto-elétrico contradiz as previsões da teoria ondulatória (puramente) da radiação eletromagnética (clássica)

Contradições da física ondulatória clássica:

Previsões:

- 1) A energia cinética dos elétrons (E_c) deveria aumentar com a intensidade (I) da onda E-M.
- 2) Deveria “demorar” para haver emissão de elétrons, dependendo de I .
- 3) E_c não deveria depender de forma descontínua da frequência (ν) da onda E-M.

Observações experim.:

- ✗ \Rightarrow 1) E_c não varia com I .
- ✗ \Rightarrow 2) Não há atraso perceptível.
- ✗ \Rightarrow 3) Para frequências baixas ($\nu < \nu_0$) não ocorre e.f.e.

- ✓ A energia do foto-elétron depende da frequência da radiação incidente $\longrightarrow E_c \sim \nu$
- ✓ Existe uma frequência de corte para a radiação eletromagnética, abaixo desta ($\nu < \nu_0$) não ocorre efeito foto-elétrico \longrightarrow Frequência de corte depende do material da superfície emissora

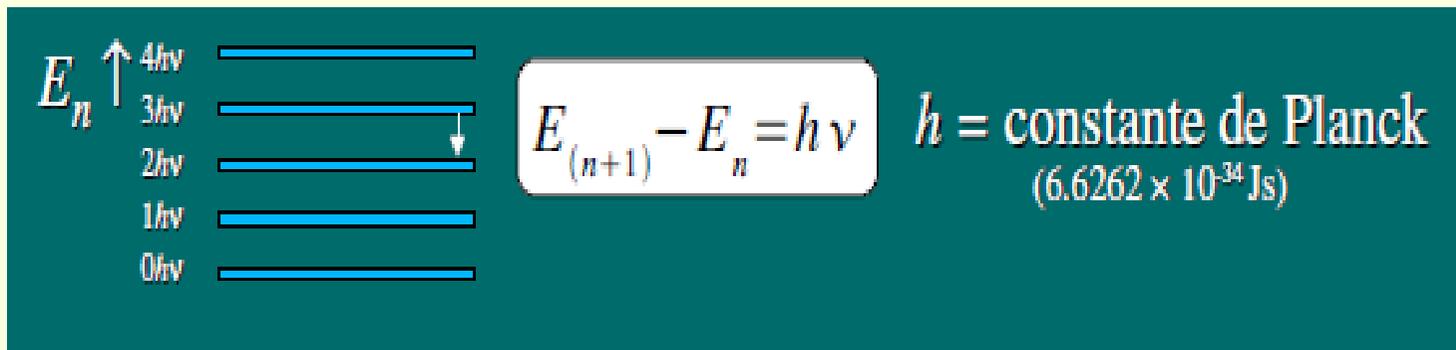
Teoria Quântica

1900 → Planck o oscilador harmônico

□ De acordo com sua hipótese, um oscilador harmônico pode ter energias que são múltiplas de uma quantidade fixa $h\nu$

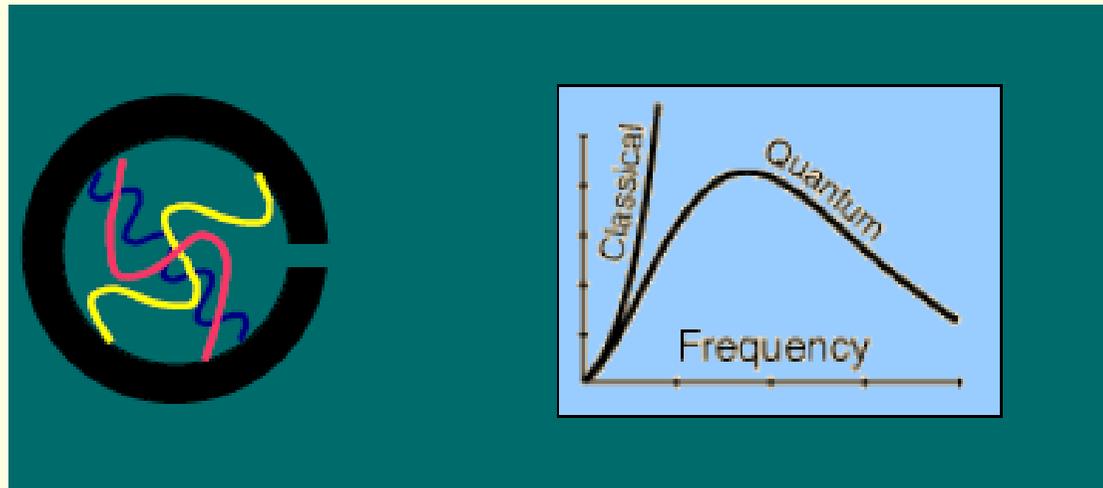
$$E_n = nh\nu$$

□ A emissão (e a absorção) de radiação pelo oscilador ocorre somente quando ele “pula” de um estado de energia para outro vizinho



Teoria Quântica

□ Postulados vieram para explicar o espectro da radiação de corpo negro



□ Mas estas idéias (principalmente de absorção) não eram muito claras quando postuladas por Planck, já que não havia ainda a noção de quantização de energia

Teoria Quântica

□ A quantização de energia é postulado por Einstein em 1905 – teoria corpuscular da luz



□ Propôs que a radiação eletromagnética é composta de “pacotes” de energia ou “fótons”. A energia E de cada fóton é proporcional a frequência ν da radiação:

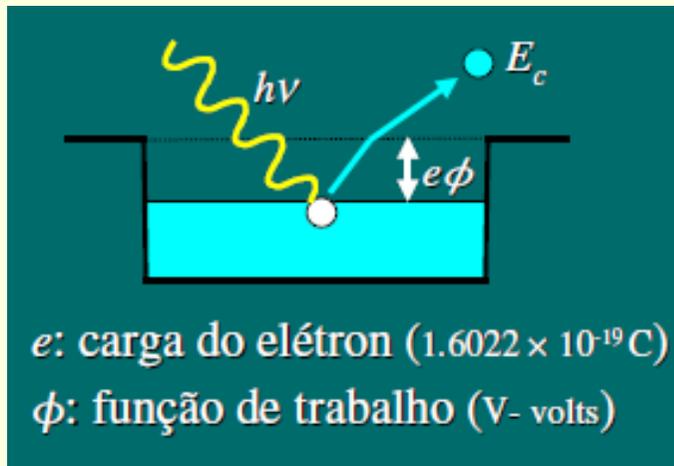
$$E_f = h\nu$$

□ onde h é a constante de Planck usada originalmente para explicar a radiação de corpo negro

Teoria Quântica

□ A energia do fóton ao incidir sobre uma superfície metálica, é totalmente absorvida por um elétron, o qual pode ser ejetado da superfície com energia cinética de:

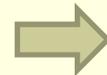
$$E_c^{máx} = h\nu - e\phi$$



□ Isto explica por que a energia máxima dos elétrons independe da intensidade da fonte, pois aumentar a intensidade da fonte significa aumentar o número de fótons que vai aumentar o número de elétrons (corrente foto-elétrica), mas a energia máxima de cada elétron é a mesma

□ No entanto se a frequência da radiação ($h\nu$) for menor que $e\phi$, isto é: $h\nu < e\phi$ nenhum elétron terá energia para escapar do metal

frequência de corte



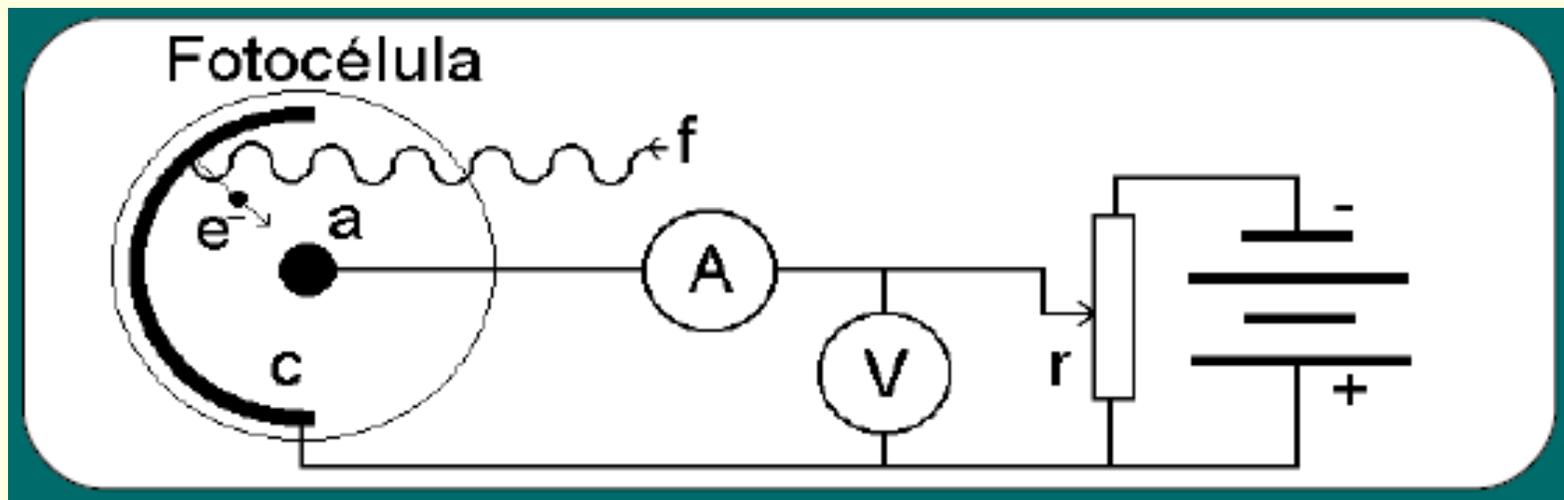
$$\nu_0 = \frac{e\phi}{h}$$

□ Não há atrasos na emissão dos fotoelétrons, mesmo baixa I (há fótons incidente) ejetando elétrons, o elétron não fica acumulando energia para depois escapar.

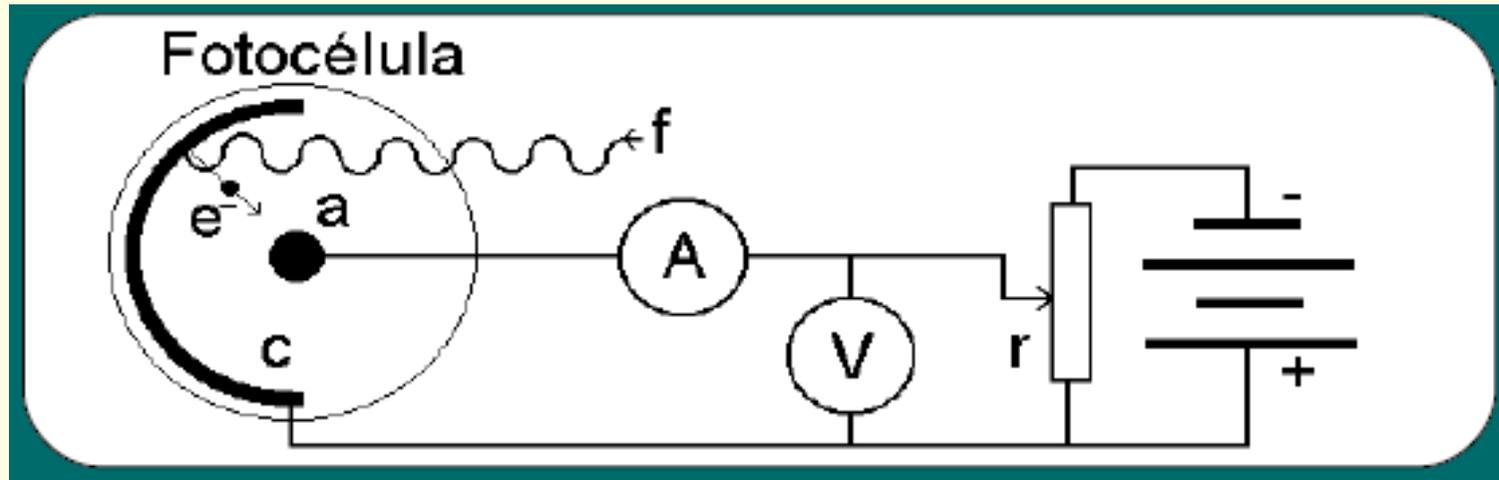
- 1) ✓
- 2) ✓
- 3) ✓

Arranjo Experimental

- ❑ A teoria prevê uma relação linear entre a energia máxima dos fotoelétrons e a frequência da radiação incidente
- ❑ Verificado experimentalmente por Millikan em 1914
- ❑ Usou uma célula fotoelétrica

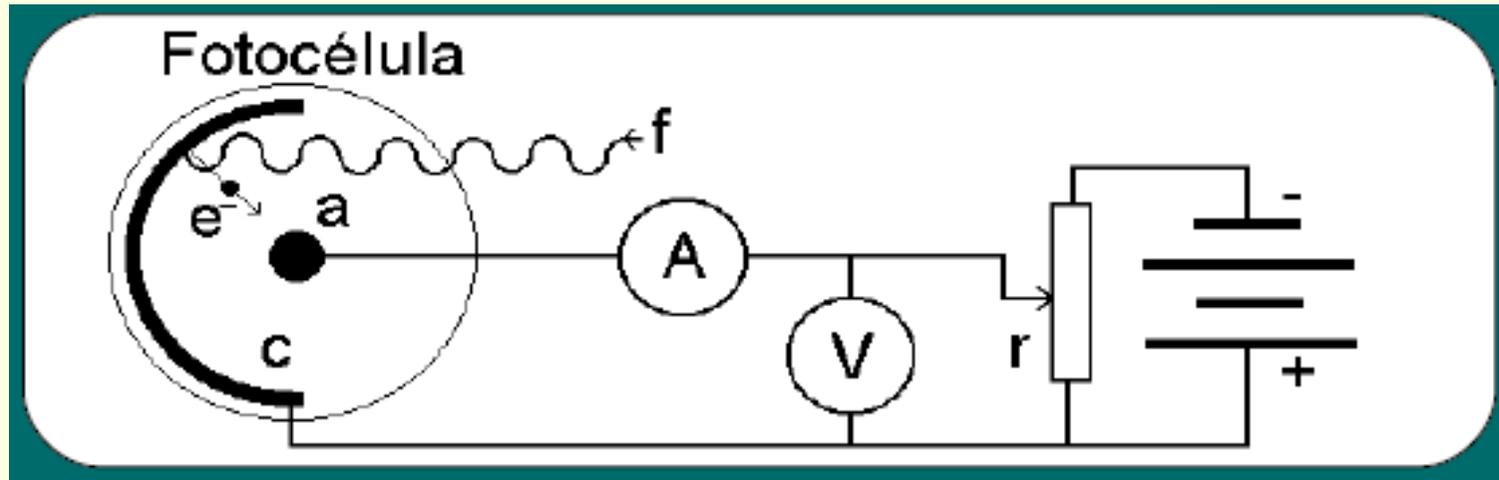


Arranjo Experimental



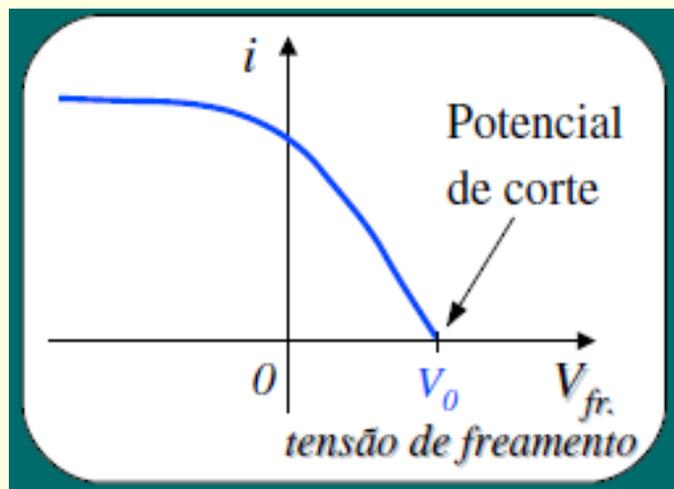
- Pico-amperímetro (A)
- Voltímetro (V)
- Fonte de tensão variável
- Na fotocélula temos:
 - Catodo feito de metal de baixa função trabalho
 - Ânodo com metal de alta função trabalho
- Fonte de luz monocromática (iluminar o catodo)

Arranjo Experimental



☐ Medida de corrente e tensão

☐ Variando a tensão V de freamento é possível determinar a tensão V_0 na qual a corrente fotoelétrica é nula



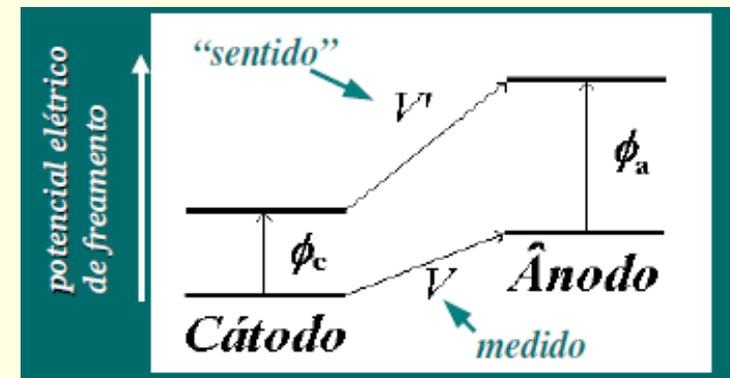
$$E_c^{m\acute{a}x} = eV_0$$

Considerações sobre o potencial de contato

- ❑ Temos um circuito fechado entre a fonte de tensão V e a fotocélula
- ❑ Campo conservativo: $\phi_c + V' = \phi_a + V$
- ❑ Temos que entre as superfícies do cátodo e ânodo os elétrons são desacelerados pela tensão:

$$V' = V - \phi_c + \phi_a$$

- ❑ ϕ_c e ϕ_a são as funções de trabalho do cátodo e ânodo
- ❑ V tensão medida no voltímetro



Considerações sobre o potencial de contato

- Variando a tensão V é possível determinar a tensão V_0 para qual se anula a corrente fotoelétrica

$$E_c^{m\acute{a}x} = h\nu - e\phi_c = eV_o'$$

- Conclusão: esta tensão corresponde a energia cinética máxima com que são emitidos os fotoelétrons

$$h\nu - e\phi_c = e(V_0 - \phi_c + \phi_a)$$

$$eV_o = h\nu - \phi_a$$

Equipamento para medida do efeito fotoelétrico

Caixa com fotocélula

Ajuste p/
alinhamento



Tubo móvel

Fenda

Filtros de cor
e intensidade



Lente e rede de difração



Lâmpada
de Hg

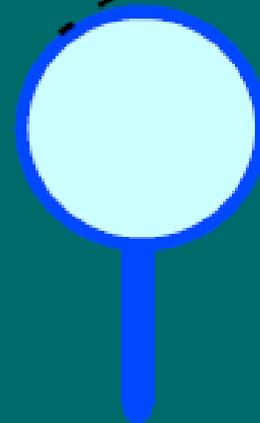
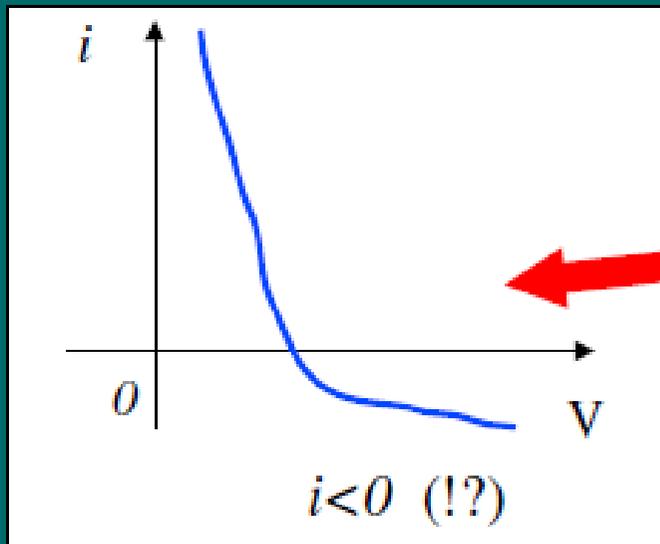
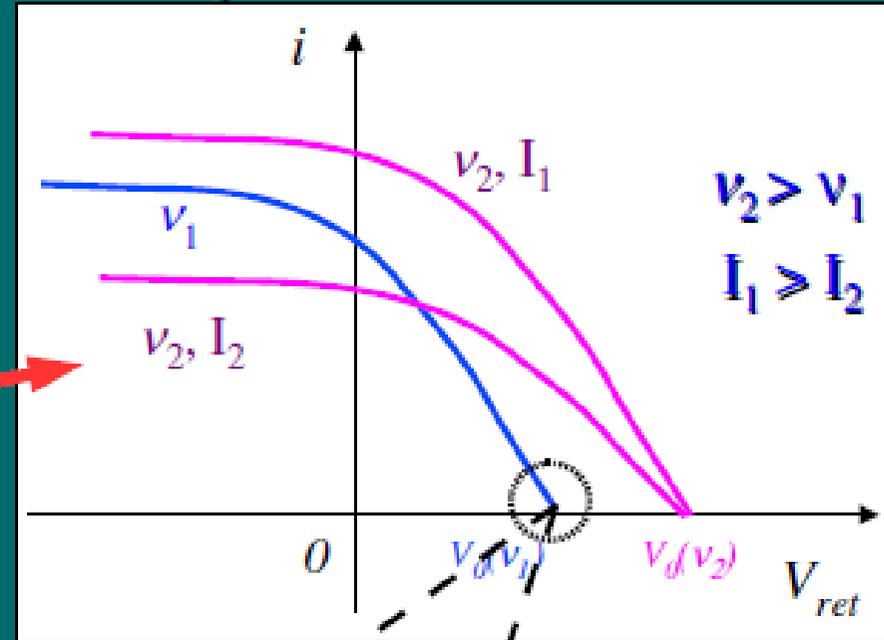
Braço móvel

Linhas espectrais do Hg

Côr	λ (Å)
Ultra-violeta	3654.83
Violeta	4046.56
Azul	4358.35
Verde	5460.74
Amarela	5789.69, 5769.60 (Dubleto)

Procedimentos, Parte I

- 0) Ler a apostila
- 1) Identificar as raias do Hg e as ligações do circuito elétrico etc.
- 2) Fazer medidas “interessantes” seguindo sugestões da apostila
- 3) Tentar entender tudo



Medidas 1º aula

- Linhas do Mercúrio
 - Quantas raias? Visíveis?
 - UV?
 - Rede de difração (feixe difratados de um lado + intenso que do outro lado?)
- Ligações do circuito
 - Amperímetro e voltímetro
- Medidas de curvas de tensão versus corrente para diversos λ e intensidade da luz incidente (valores negativos e positivos de V)
- Outras medidas interessantes?
 - Filtros (com e sem),
 - combinações possíveis
- Entendimento das correntes espúrias



*Filtros de cor
e intensidade*

Medidas 1º aula sem computador



Para permitir a realização de medições sistemáticas de maneira eficiente, será usada uma fonte de tensão variável e uma caixa inversora e o amperímetro e voltímetros serão acoplados a esta

- ❑ A tensão de freamento deve ser monitorada em um voltímetro
- ❑ O pico-amperímetro permite monitorar a corrente fotoelétrica

Tabela 1

Conexões elétricas com a caixa da chave inversora

1	Fotocélula (cabo coaxial)	
2	Não utilizado	
3	Pico-amperímetro (cabo coaxial)	
4	CAD (+)	} Voltímetro \cong (0 a 5V)
5	CAD (-)	
6	Entrada Fonte de alimentação “rampa” (-)	
7	Entrada Fonte de alimentação “rampa” (+)	