

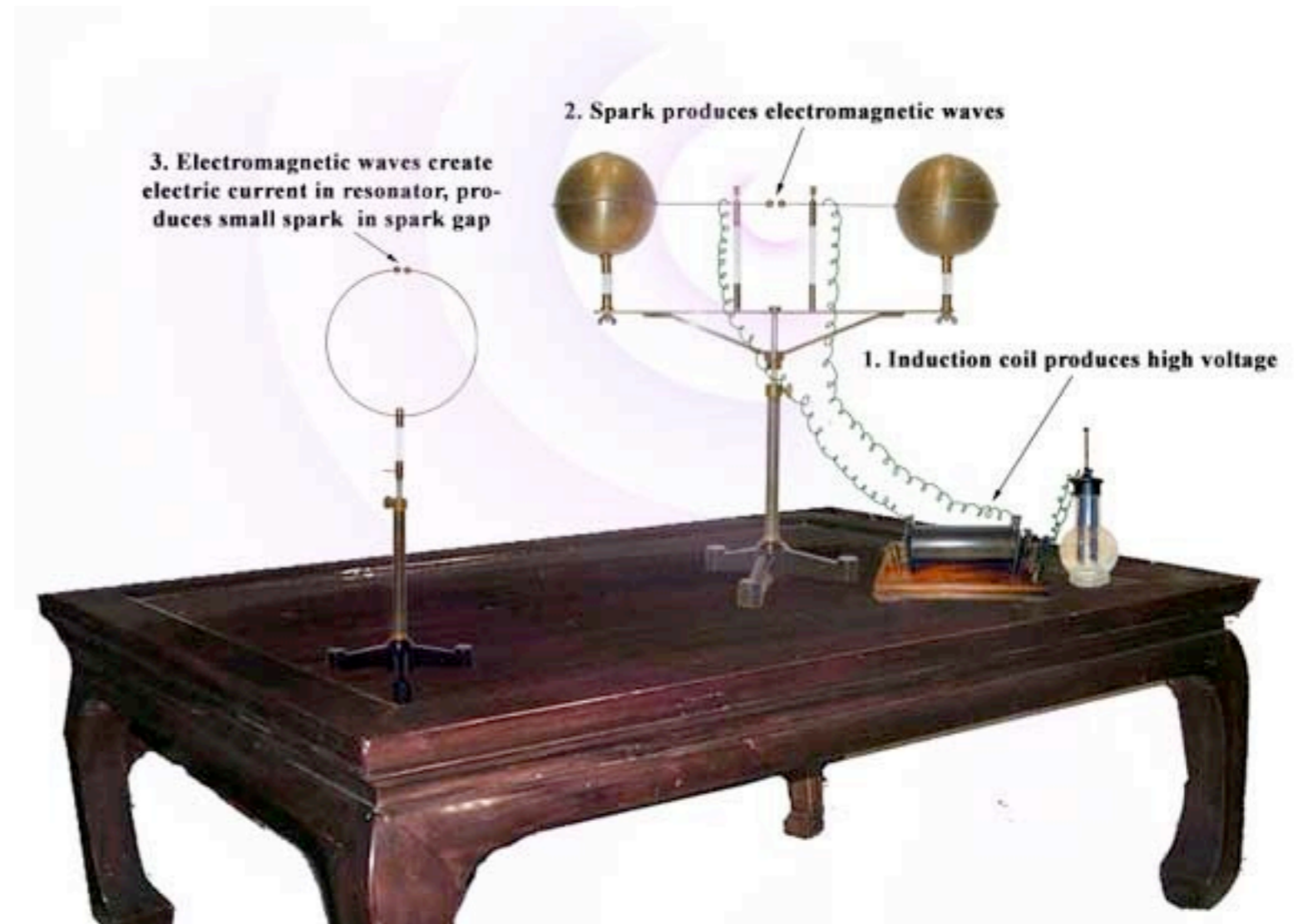
Física Moderna I

Aula 04

Marcelo G Munhoz
Pelletron, sala 245, ramal 6940
munhoz@if.usp.br

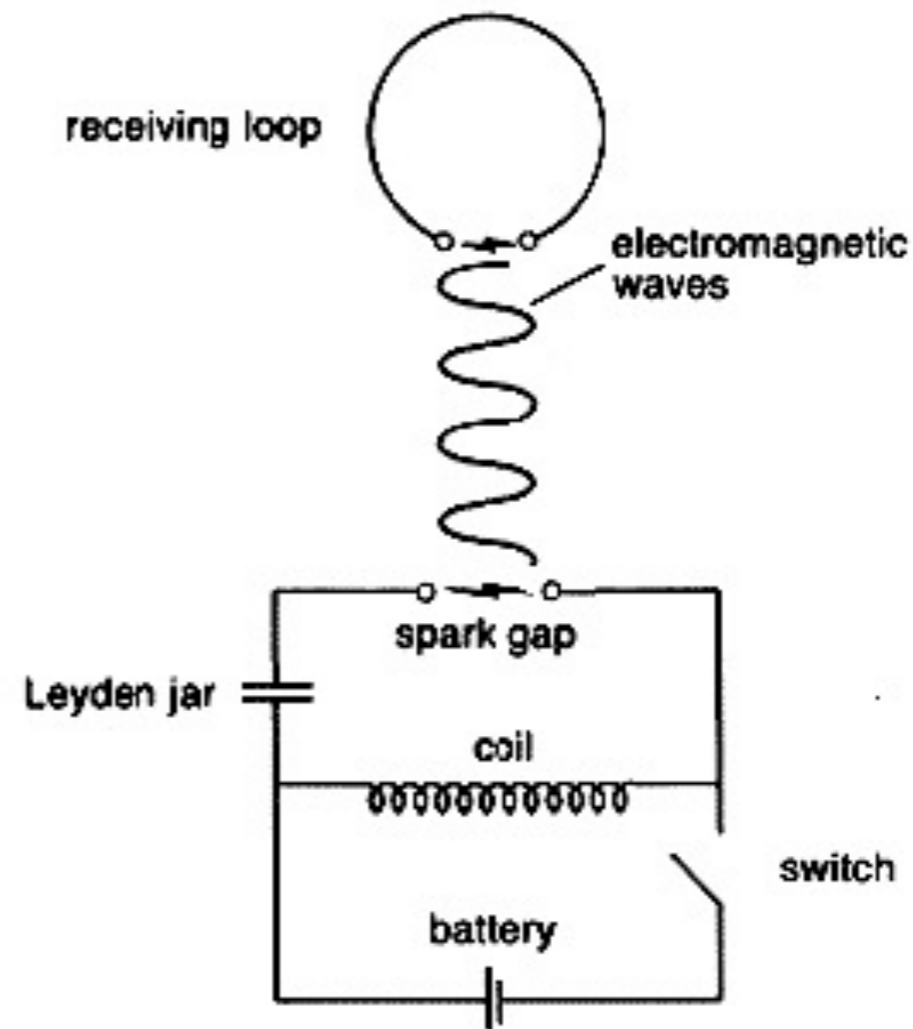
Existem essas ondas?

- Heinrich Hertz elabora experimentos para testar essa teoria (1887)



Existem essas ondas?

- Heinrich Hertz elabora experimentos para testar essa teoria (1887)



Existem essas ondas?

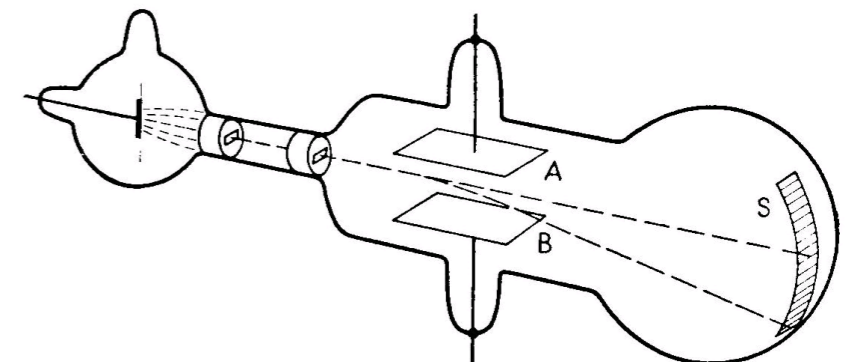
- Heinrich Hertz elabora experimentos para testar essa teoria (1887)



É essencial que as superfícies dos pólos do arco de faíscas sejam constante polidas

J.J. Thomson descobre o elétron (1897)

- Thomson também estudava descargas elétricas em gases utilizando tubos de raios catódicos
- Através de um experimento e princípios simples de eletromagnetismo, ele mediu a razão e/m do elétron



Combinando os experimentos

- Phillip von Lenard, *Annales de Physique, Leipzig* 8, p. 149, 1902
- Realizou um experimento onde ele faz incidir luz em um eletrodo e mede a corrente gerada entre os eletrodos e a energia cinética dos recém descobertos elétrons quando emitidos pelo efeito da luz do eletrodo
- O que esperar sobre o resultado desse experimento segundo a física clássica?

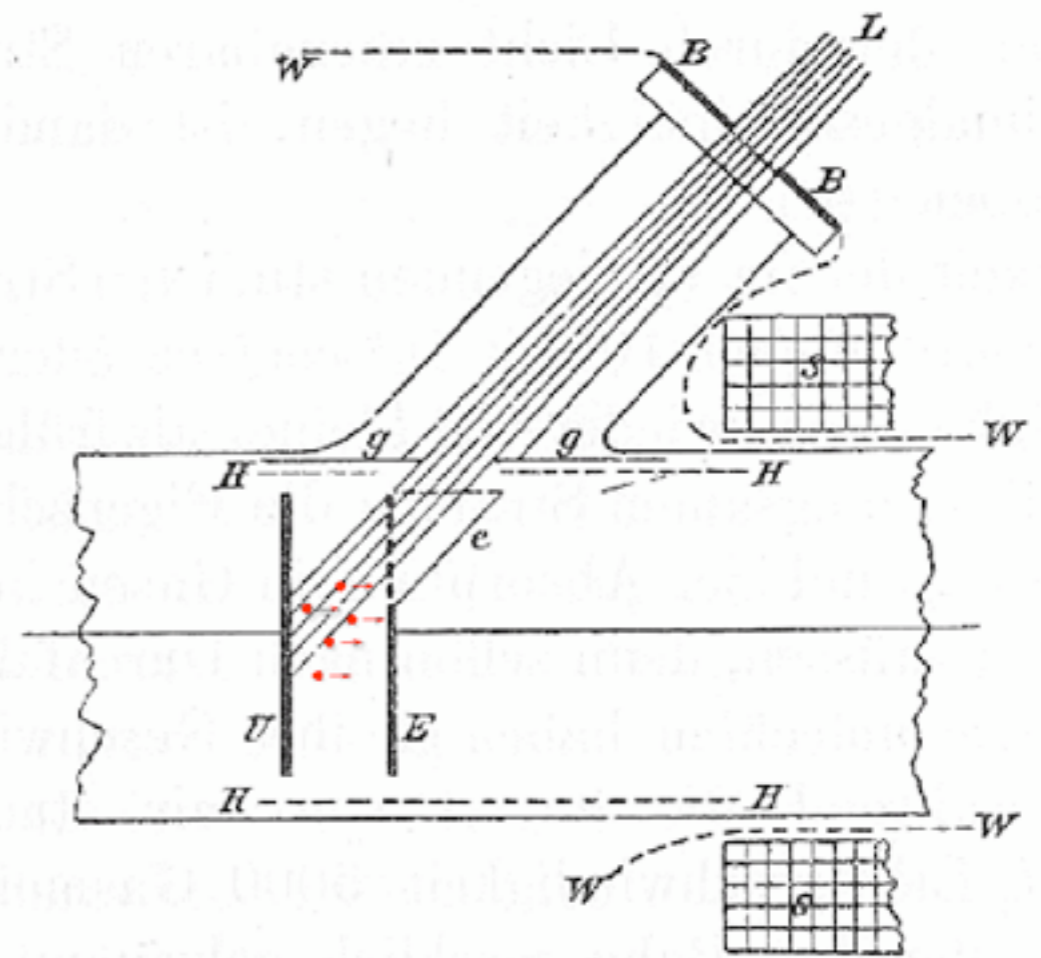


Fig. 1.

Previsão da física clássica

- A previsão da física clássica para essas observações são:
 - a intensidade do campo é proporcional a sua amplitude ao quadrado ($I \propto E^2$). Como a força sobre um elétron é proporcional à amplitude do campo ($F = eE$), a energia cinética dos mesmos deve aumentar com a intensidade da luz
 - este efeito deve ocorrer para qualquer frequência de luz, sendo importante apenas a intensidade da mesma
 - deve haver um intervalo de tempo finito entre a incidência da luz e o início da emissão de elétrons

Combinando os experimentos

- Phillip von Lenard, *Annales de Physique*, Leipzig 8, p. 149, 1902
- “the number of electrons projected is proportional to the energy carried by the incident light,
- whilst their speed, that is to say, their **kinetic energy**, is quite independent of this number and varies only with the wavelength and increases when this diminishes.”
(Nobel Lectures, Physics 1901-1921, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967)

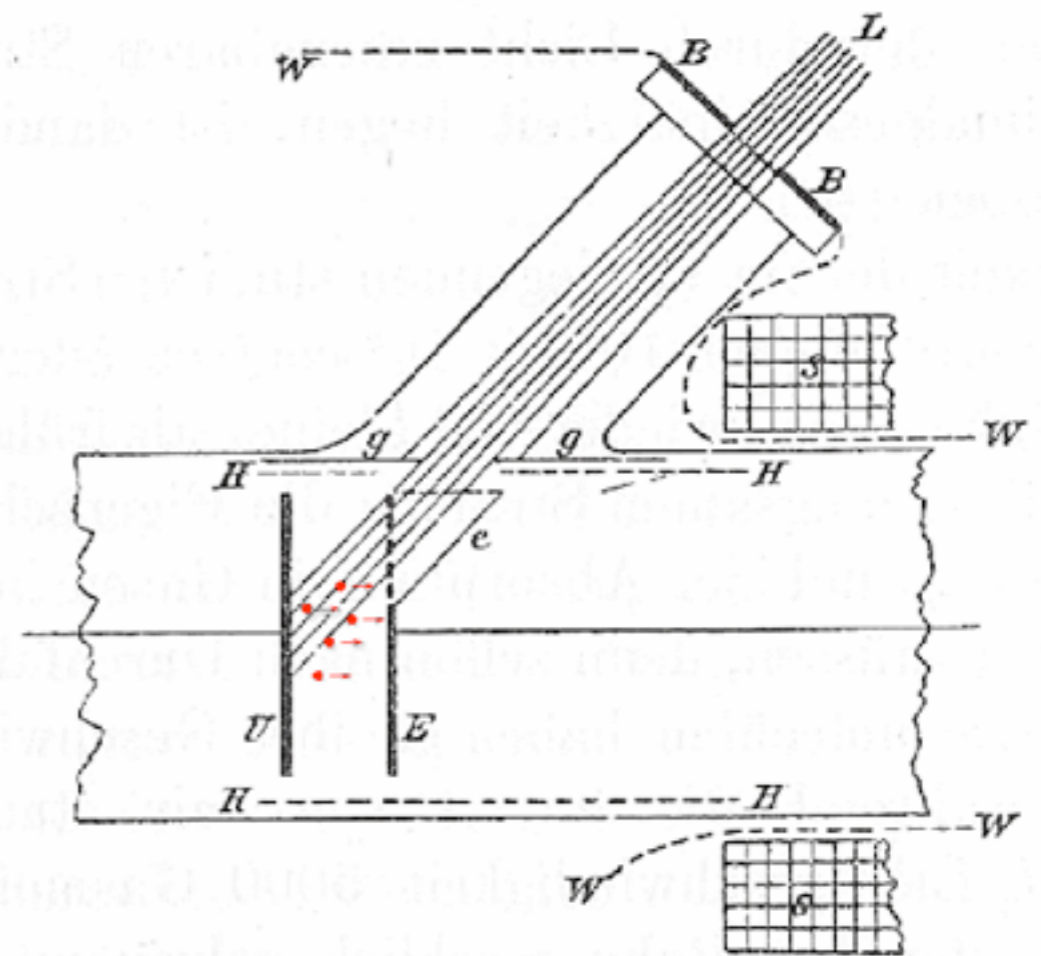
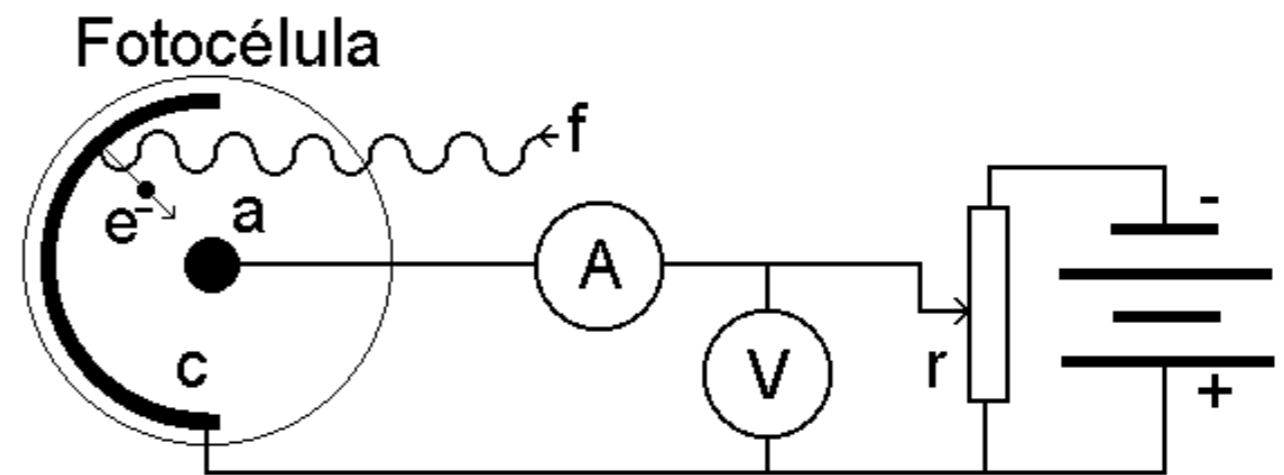


Fig. 1.

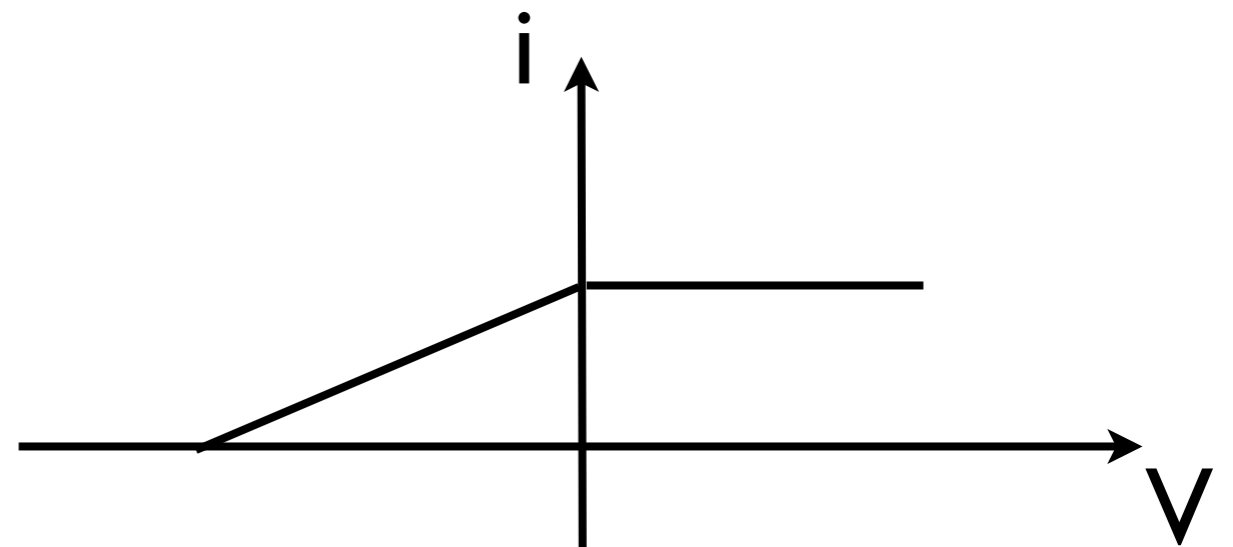
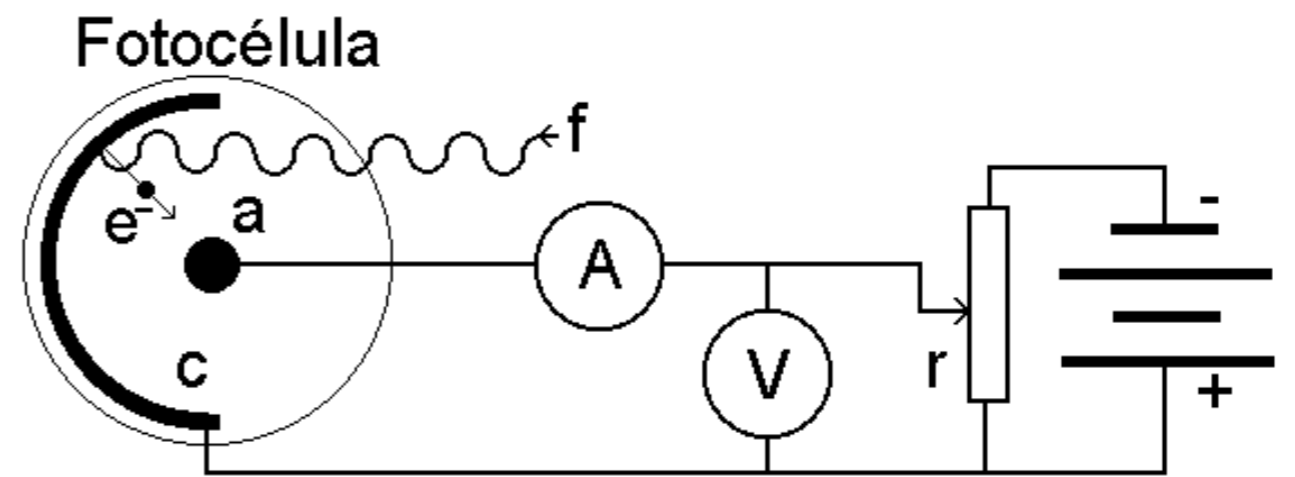
Medida da Energia Cinética dos elétrons

- Esta é a medida chave do estudo de Lenard
- Como medir E_c ?
 - Aplicar uma tensão no circuito que retarda a velocidade dos elétrons. Quando eles param ($i = 0$), tem-se: $e \cdot V_0 = E_c$



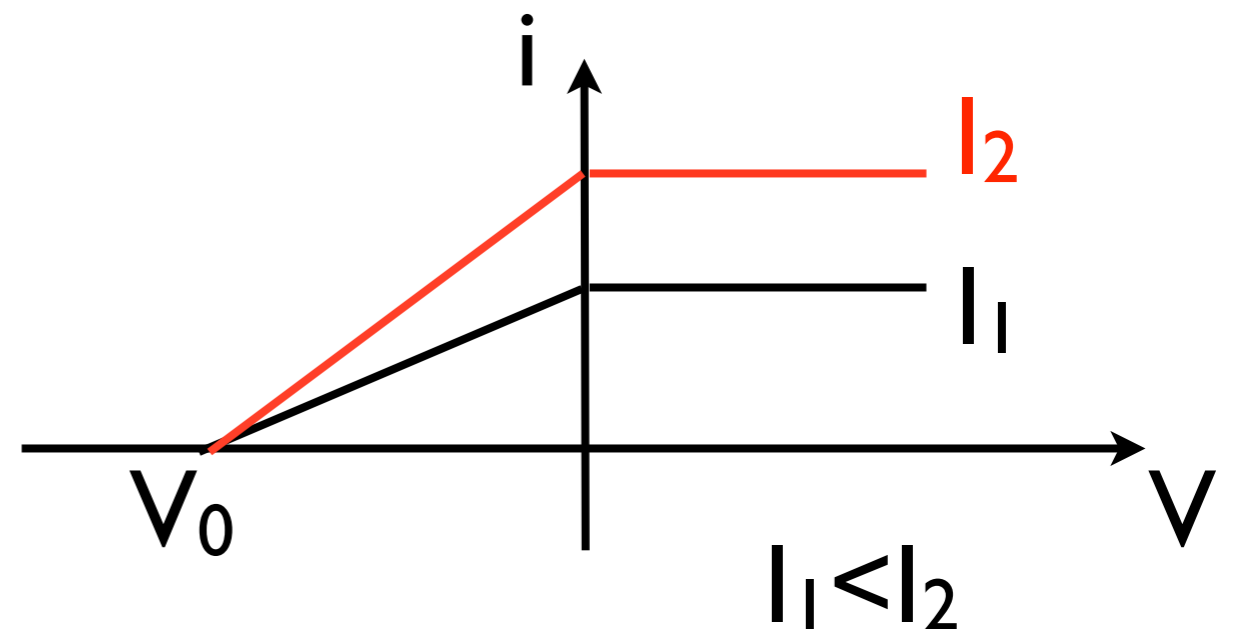
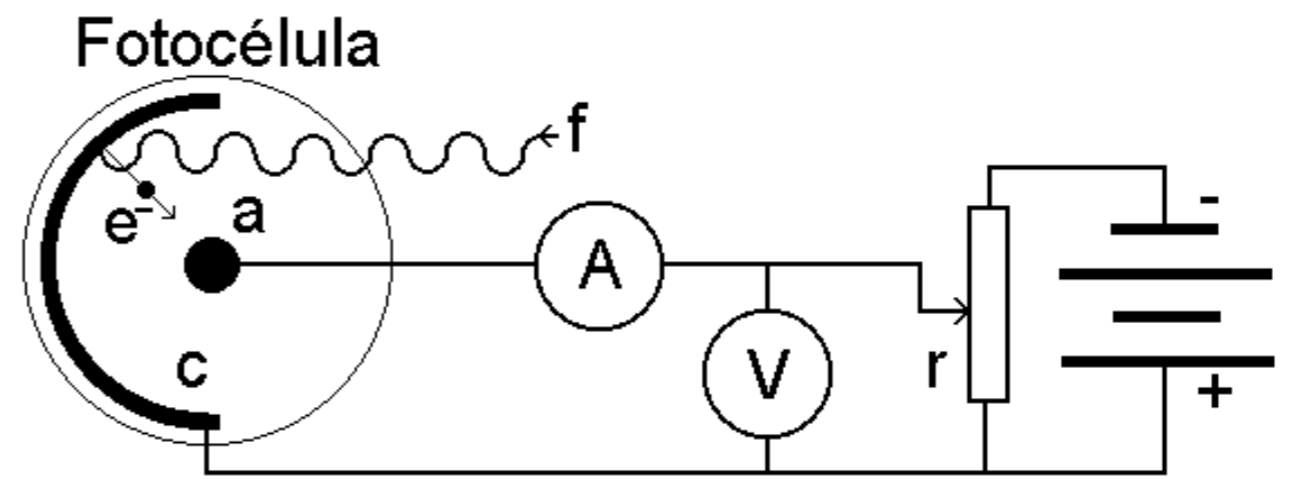
Resultados observados por Lenard

- Lenard observou que:
- Quando $V > 0 \Rightarrow i \rightarrow i_{\max}$
- Quando $V < 0 \Rightarrow i \rightarrow 0$



Resultados observados por Lenard

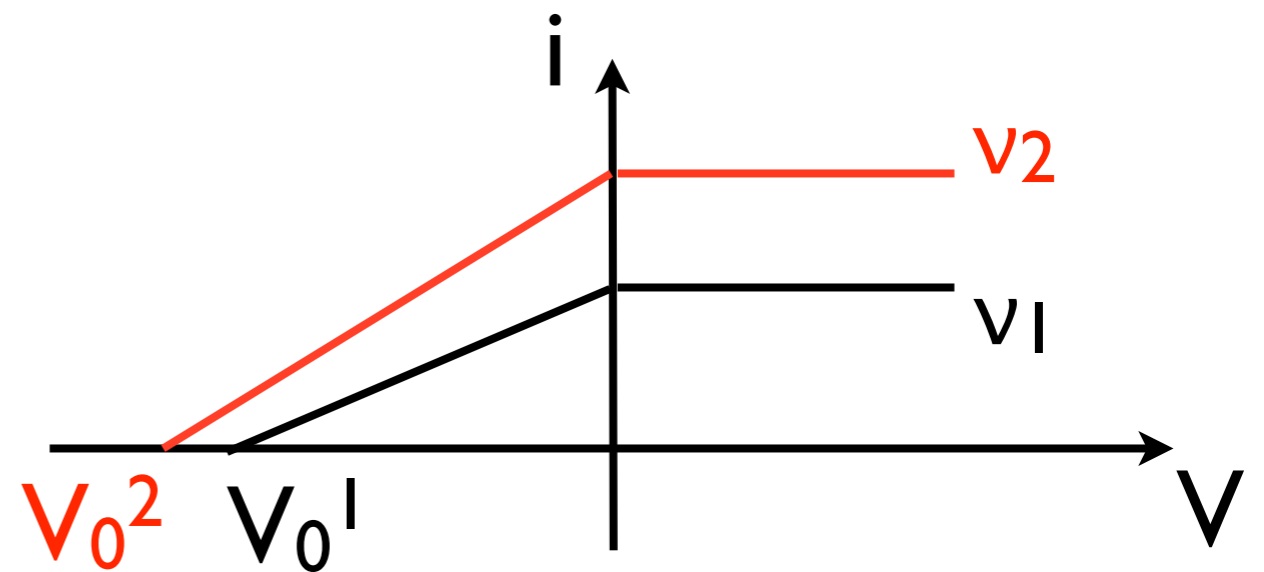
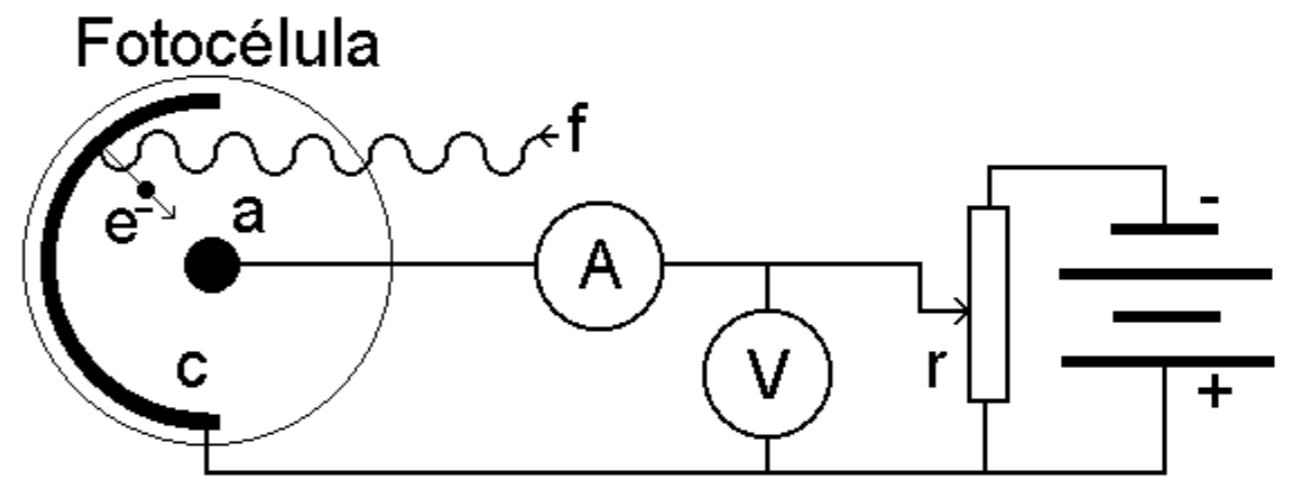
- Lenard observou que:
- Quando $V > 0 \Rightarrow i \rightarrow i_{\max}$
- Quando $V < 0 \Rightarrow i \rightarrow 0$
- $i_{\max}^1 < i_{\max}^2$ se $I_1 < I_2$



Resultados observados por Lenard

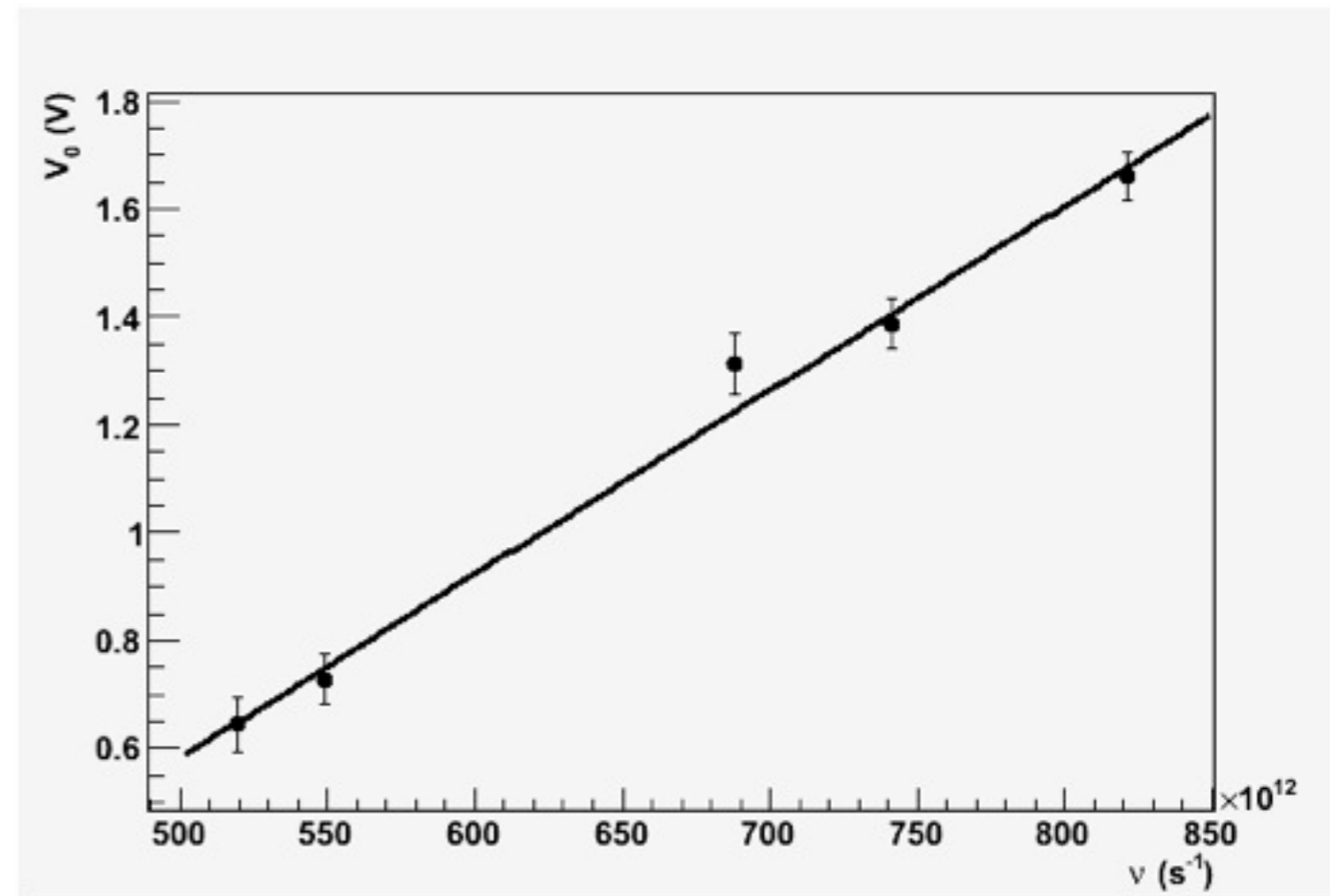
- Lenard observou que:
- Quando $V > 0 \Rightarrow i \rightarrow i_{\max}$
- Quando $V < 0 \Rightarrow i \rightarrow 0$

- $i_{\max}^1 < i_{\max}^2$ se $l_1 < l_2$
- $V_0^1 < V_0^2$ se $v_1 < v_2$



Resultados observados por Lenard

- Lenard observou que:
 - E_c apresenta uma dependência linear com ν
 - Não há atraso entre o início da incidência de luz no eletrodo e a emissão de elétrons



Descrição da física clássica

- As observações contradizem a descrição teórica clássica:
 - a intensidade do campo é proporcional a sua amplitude ao quadrado ($I \propto E^2$). Como a força sobre um elétron é proporcional à amplitude do campo ($F = eE$), a energia cinética dos mesmos deveria aumentar com a intensidade da luz
 - este efeito deveria ocorrer para qualquer frequência de luz, sendo importante apenas a intensidade da mesma
 - deve haver um intervalo de tempo finito entre a incidência da luz e o início da emissão de elétrons

Nova e revolucionária descrição teórica!

- Albert Einstein, *Annales de Physique, Leipzig* 17, p. 132, 1905
- “... the incident light consists of energy quanta of magnitude $E = h\nu$...”
- “... a light quantum delivers its entire energy to a single electron ...”
- “we shall assume that in leaving the body each electron must perform an amount of work $e\phi$ characteristic of the substance.”

Nova e revolucionária descrição teórica!

- Albert Einstein, *Annales de Physique, Leipzig* 17, p. 132, 1905
- “The kinetic energy of such electrons is given by $E_c = h\nu - e\phi$ ”
- “If the body is charged to a positive potential V and is surrounded by conductors at zero potential, and if V is just large enough to prevent loss of electricity ($i=0$) by the body (V_0), it follows that: $eV_0 = h\nu - e\phi$ ”

Previsão dessa descrição teórica

- Albert Einstein, *Annales de Physique, Leipzig* 17, p. 132, 1905
- “If the derived formula is correct, then V_0 , when represented in Cartesian coordinates as a function of the frequency of the incident light, must be a straight line whose slope is independent of the nature of the emitting substance.” ($V_0 = h/e \cdot \nu - \phi$)

Dualidade onda-partícula da radiação eletromagnética

- A luz é uma onda eletromagnética e uma partícula (fóton) ao mesmo tempo!
- Ela se propaga como onda e interage como partícula...

