



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

# **Mecánica Cuántica I**

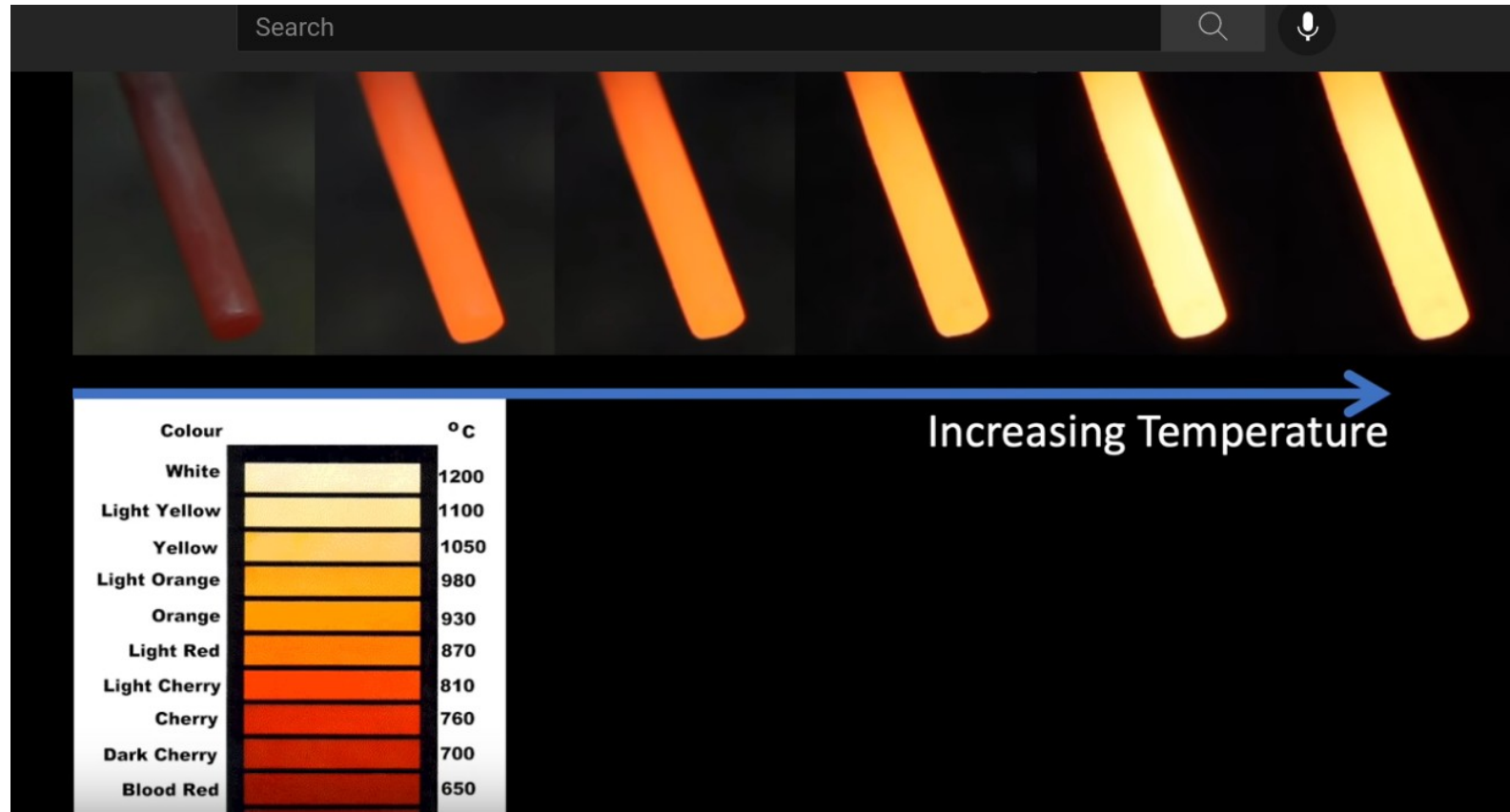
## **Grado en Física**

### **3er curso**

El autor/La autora se acoge al artículo 32 de la Ley de Propiedad Intelectual vigente respecto al uso parcial de obras ajenas, como imágenes, gráficos u otro material contenido en las diferentes diapositivas, dado el carácter y la finalidad exclusivamente docente y eminentemente ilustrativa de las explicaciones en clase de esta presentación. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante

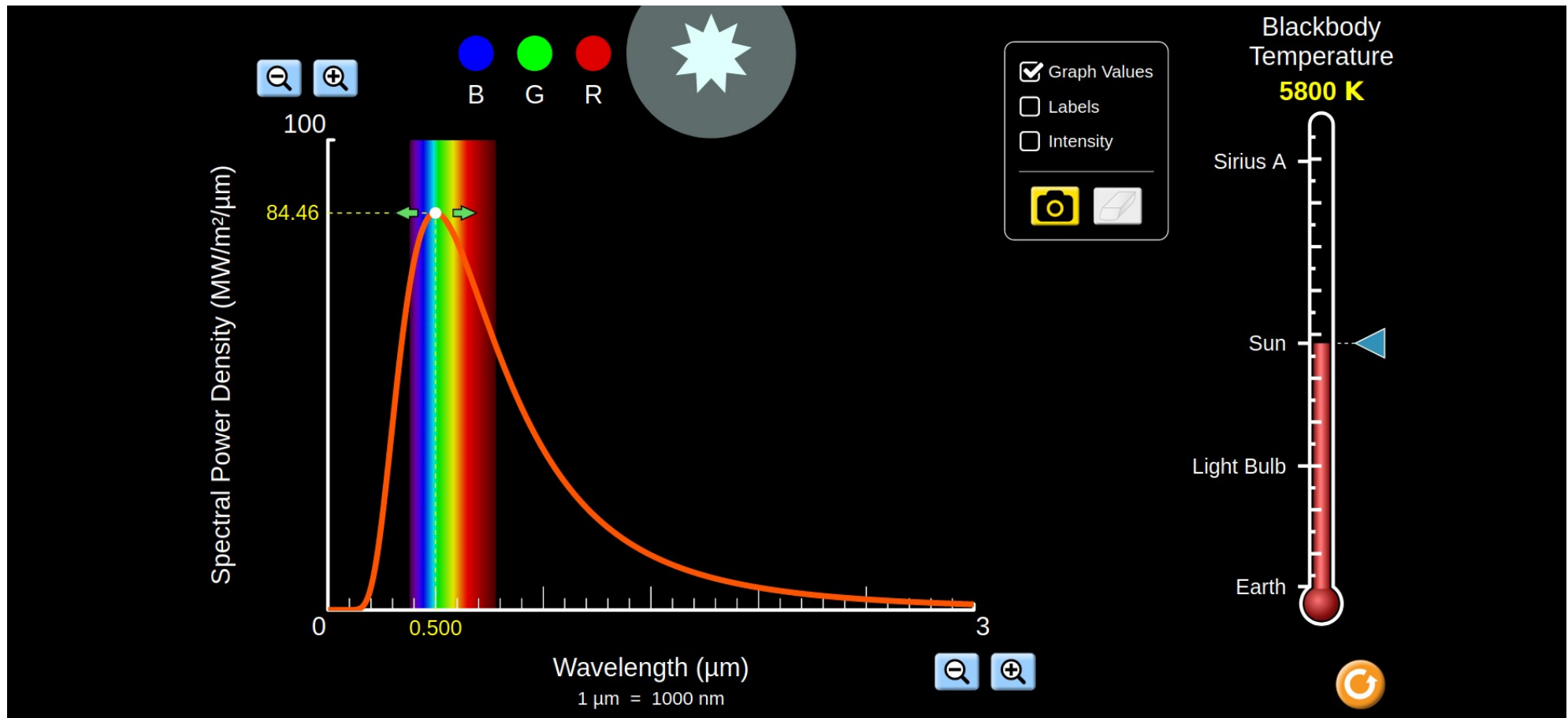
# Tema 1 – Introducción: cuerpo negro

## Radiación del cuerpo negro



<https://www.youtube.com/watch?v=rCfPQLVzus4&t=47s>

# Tema 1 – Introducción: antecedentes históricos



Blackbody Spectrum

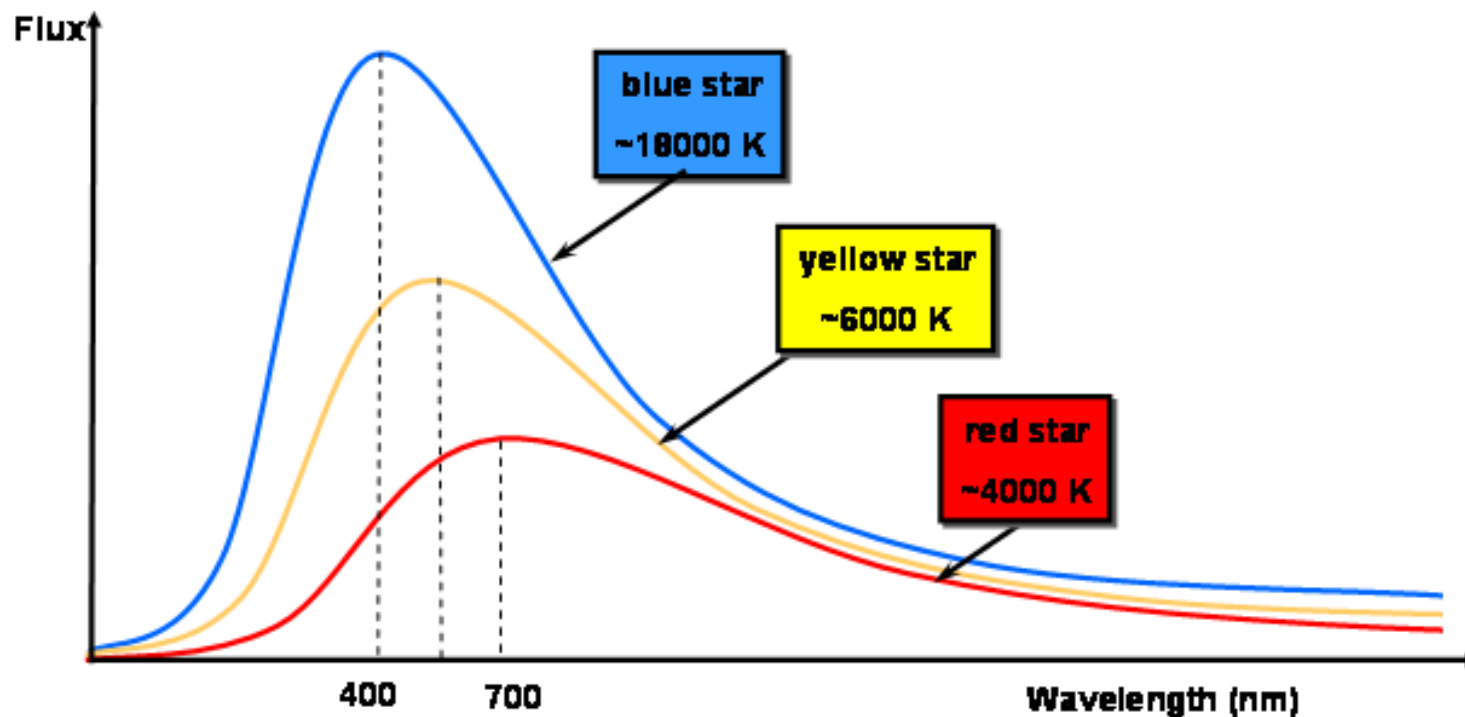


University of Colorado Boulder

[https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_en.html)

# Tema 1 – Introducción: antecedentes históricos

## Radiación del cuerpo negro

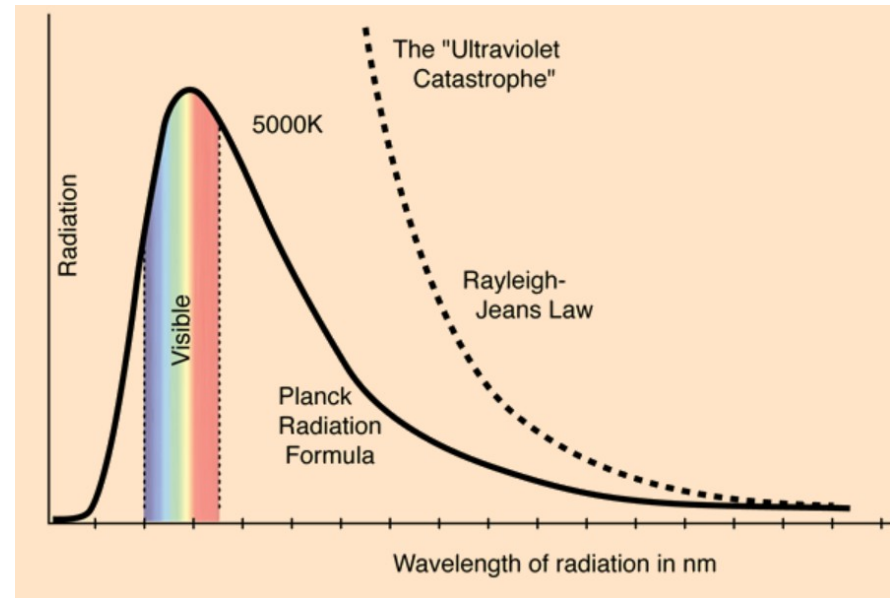
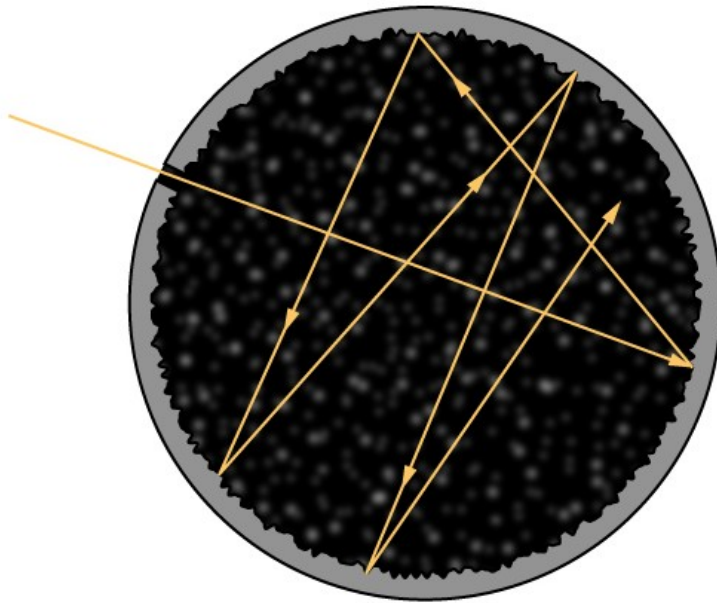


Blackbody radiation curves at several different temperatures.

Credit: Swinburne

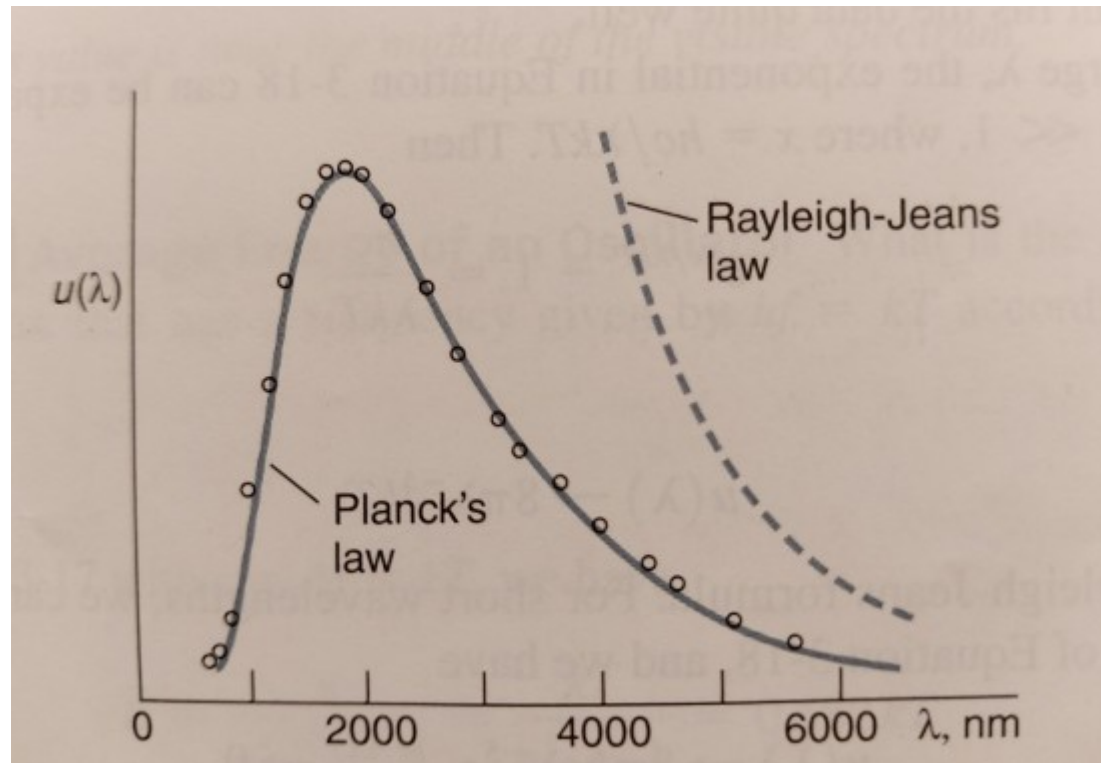
# Tema 1 – Introducción: antecedentes históricos

## Radiación del cuerpo negro



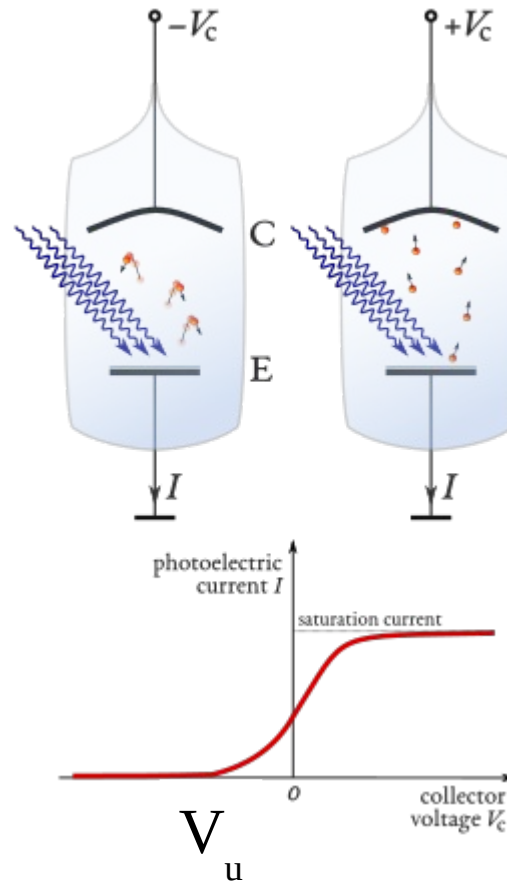
<https://opentextbc.ca/universityphysicsv3openstax/chapter/blackbody-radiation/>

# Tema 1 – Introducción: antecedentes históricos



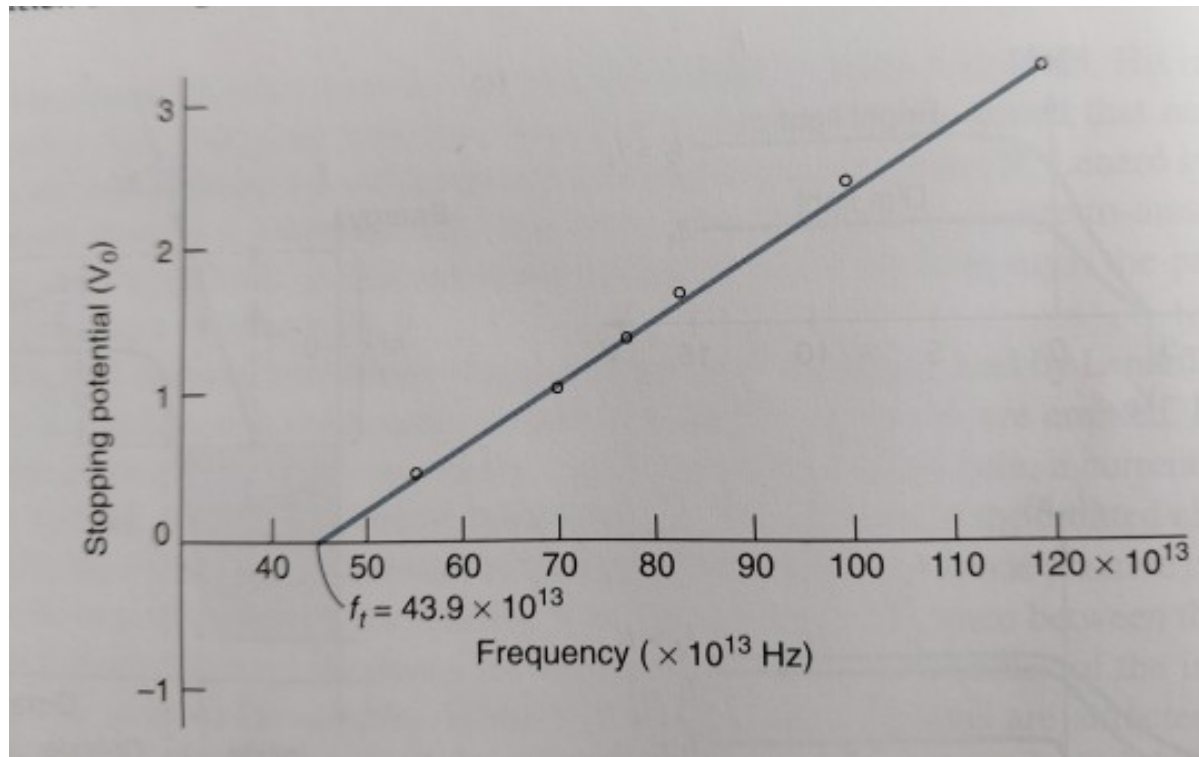
Comparación con datos experimentales a 1600K, W.W. Coblentz 1915  
Modern Physics, Tipler.

# Tema 1 – Introducció: efecte fotoelèctric



Wikipedia

# Tema 1 – Introducción: efecto fotoeléctrico



Datos de Millikan 1915  
Modern Physics, Tipler.

$$e V_0 = h \nu - \phi$$

Ecuación del efecto  
fotoeléctrico

$V_0$  = potencial de frenado

$h$  = constante de Planck

$\nu$  = frecuencia

$\phi$  = función de trabajo

$\nu_u$  = frecuencia umbral

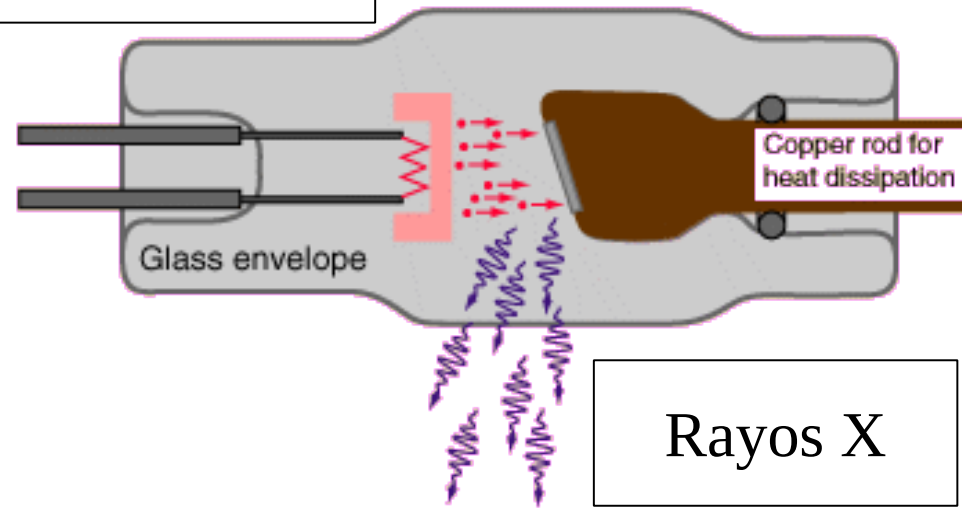
$$\nu_n = \frac{\phi}{h}$$



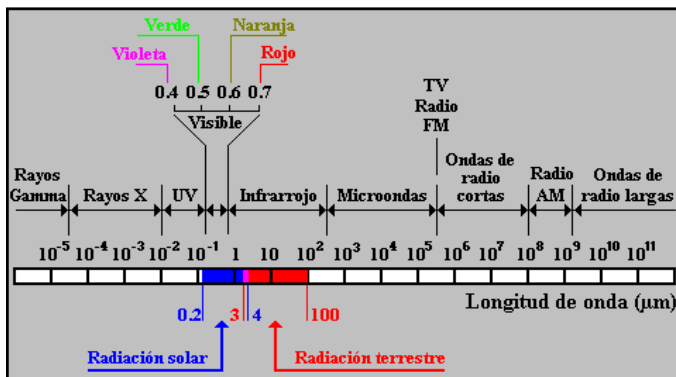
# Tema 1 – Introducción: rayos X

Filamento incandescente  
emite electrones

Electrones chocan con un metal  
emiten rayos X



## ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



Rayos X

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xtube.html>

# Descubrimiento de los Rayos X

- rayos X – Roentgen 1895



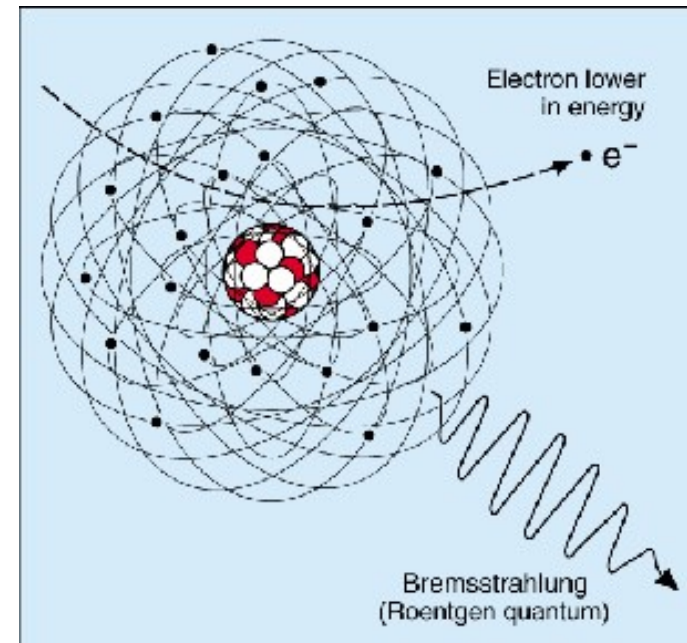
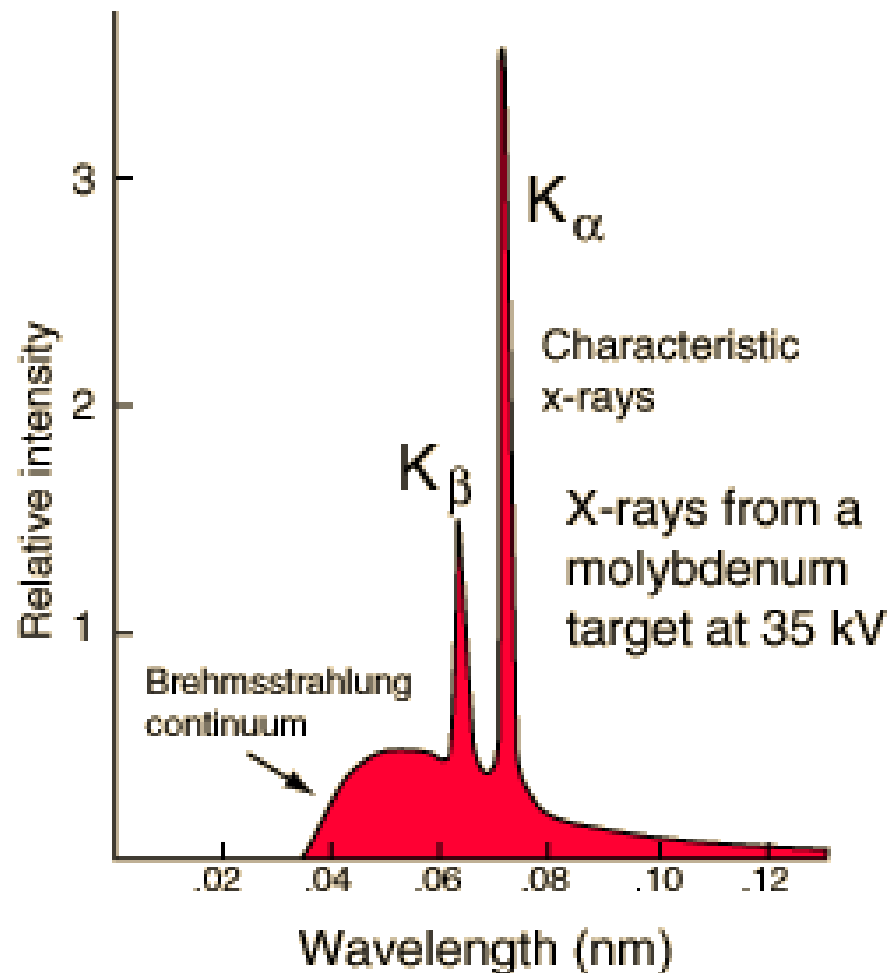
An x-radiograph produced in 1895 by Roentgen of his wife's hand.

Wellcome Library, London.

<http://www.schoolscience.co.uk/content/4/biology/abpi/history/history10.html>

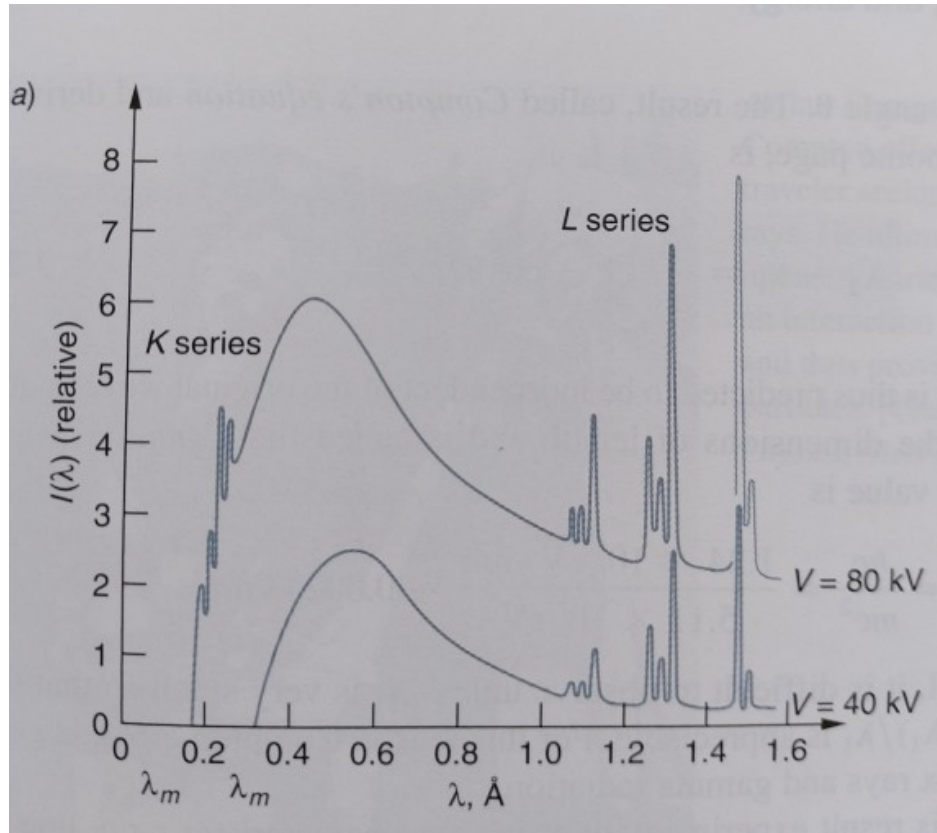
Se absorben más eficazmente en los huesos que en los tejidos blandos

# Origen del espectro de rayos-X



Bremsstrahlung

# Tema 1 – Introducción: rayos X



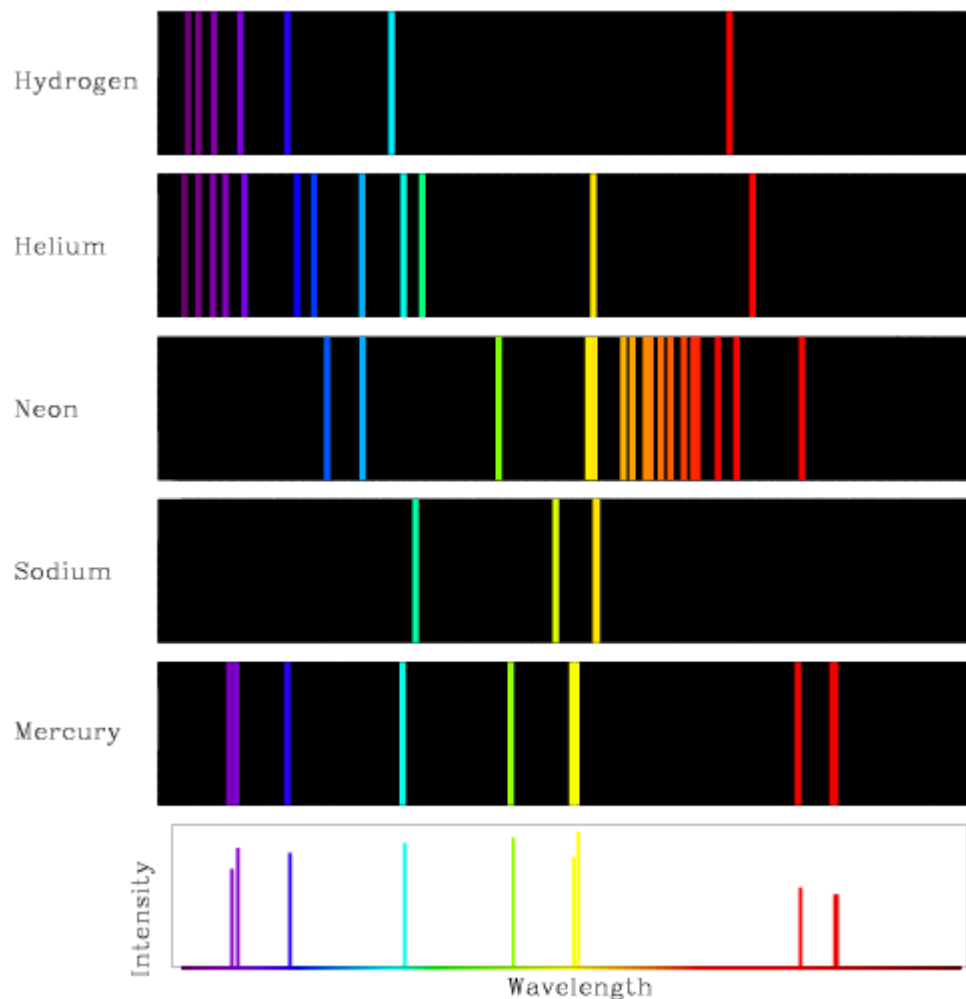
Longitud de onda mínima:

$$\lambda_m = \frac{1,24 \times 10^3}{V (\text{voltios})} \text{ nm}$$

Ley de Duane-Hunt

Emisión de rayos X  
Modern Physics, Tipler.

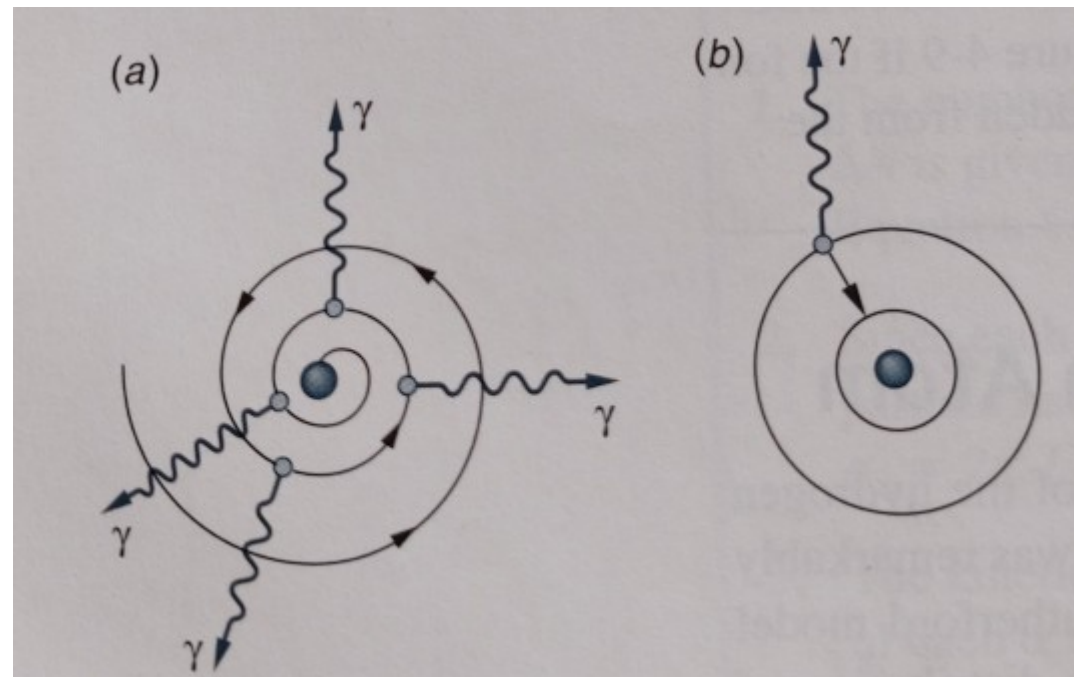
# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos



<https://practical-chemistry.com/practical-work/chemistry/atomic-structure/atomic-emission-spectra/>



# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos



Modelo del átomo de Bohr  
Modern Physics, Tipler.

# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos

## Postulados de Bohr

- Electrones orbitan alrededor del núcleo en estados estacionarios en los que no se emite radiación.
- La emisión de radiación se produce cuando el electrón realiza una transición de un estado estacionario a otro y la frecuencia de la radiación emitida es:

$$h \nu = E_i - E_f$$

- El momento angular del electrón está cuantizado

$$L_n = n \frac{h}{2\pi} = n \hbar$$

O equivalente, la energía de los estados estacionarios está cuantizada:

$$E_n = \frac{1}{2} n h f$$



# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos

Órbita circular:

$$F = \frac{m v^2}{r}$$

Potencial de Coulomb:

$$V = -K \frac{Z e^2}{r}$$

donde  $K$  es la constante de Coulomb,  $e$  la unidad fundamental de carga y  $Z$  el número atómico.

Momento angular:

$$L = m v r$$

De estas ecuaciones y los postulados de Bohr podemos obtener el radio de los estados estacionarios en función de  $n$ , y las distintas constantes, así como la energía y la longitud de onda de la frecuencia de radiación emitida al pasar de un estado estacionario a otro.





# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos

Longitud de onda de la radiación emitida en una transición de una órbita a otra:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_0 Z^2}{hc} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Permite obtener el valor de la constante de Rydberg:

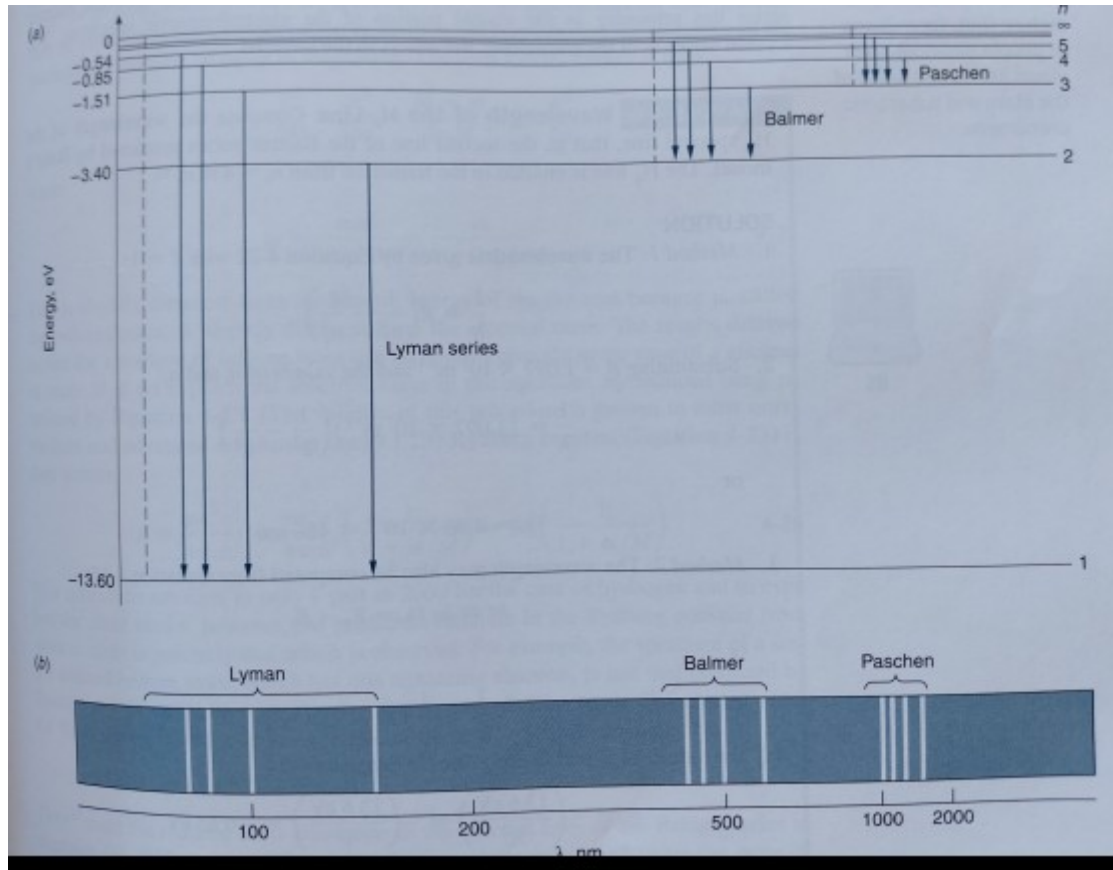
$$R = \frac{E_0}{hc} = \frac{m K^2 e^4}{4 \pi c \hbar^3}$$

donde  $K$  es la constante de Coulomb,  $e$  la unidad fundamental de carga,  $Z$  el número atómico y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío.



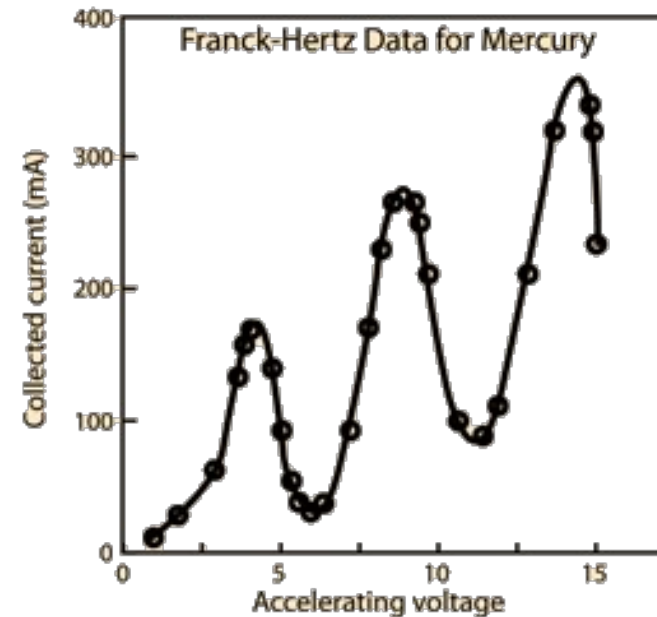
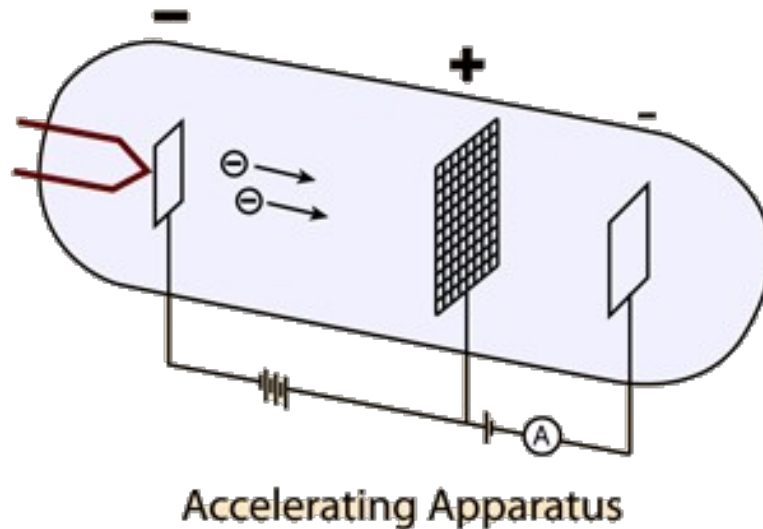
# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos

Diagrama de niveles de energía para el hidrógeno (Modern Physics, Tipler)



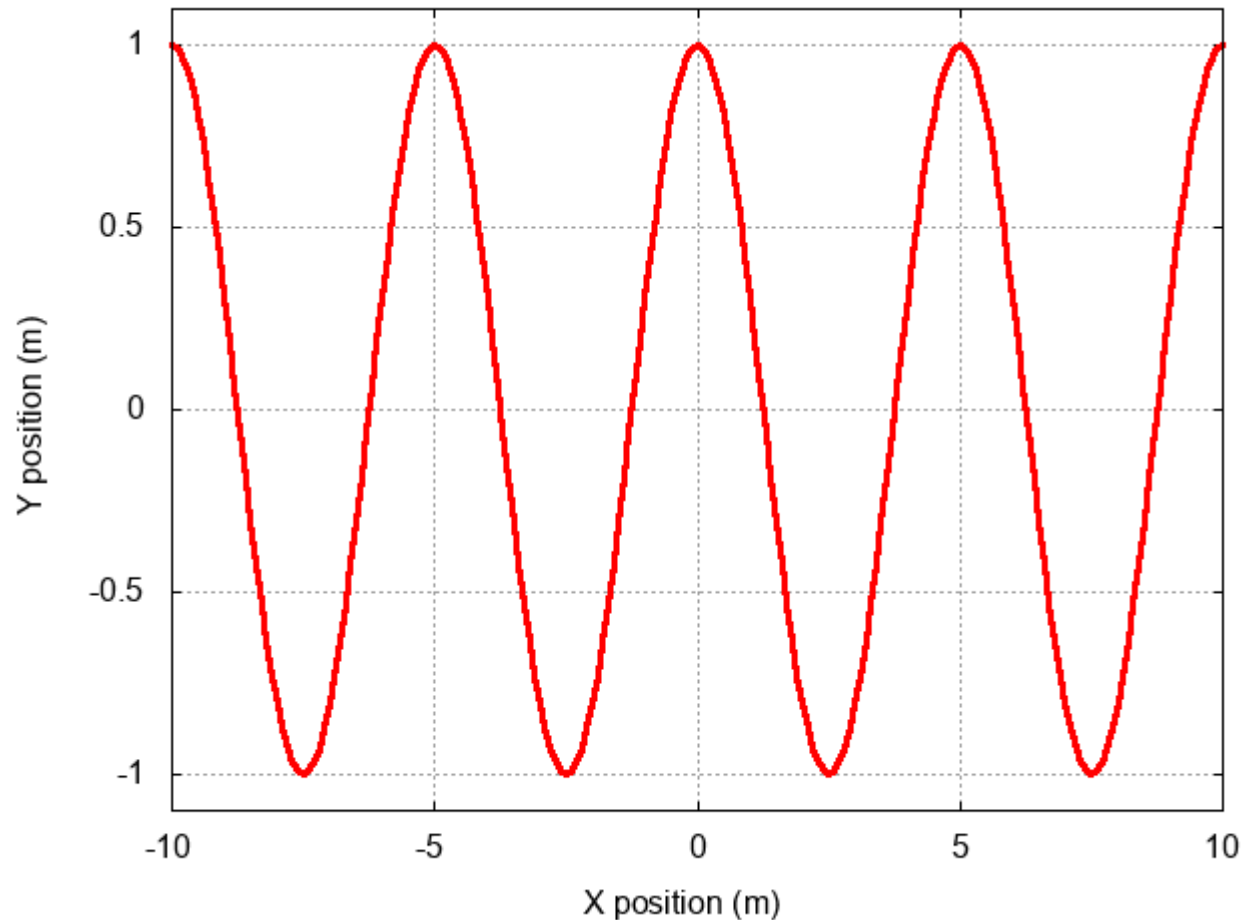
# Tema 1 – Introducción: espectros atómicos

## Experimento de Franck-Hertz



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/frhz.html>

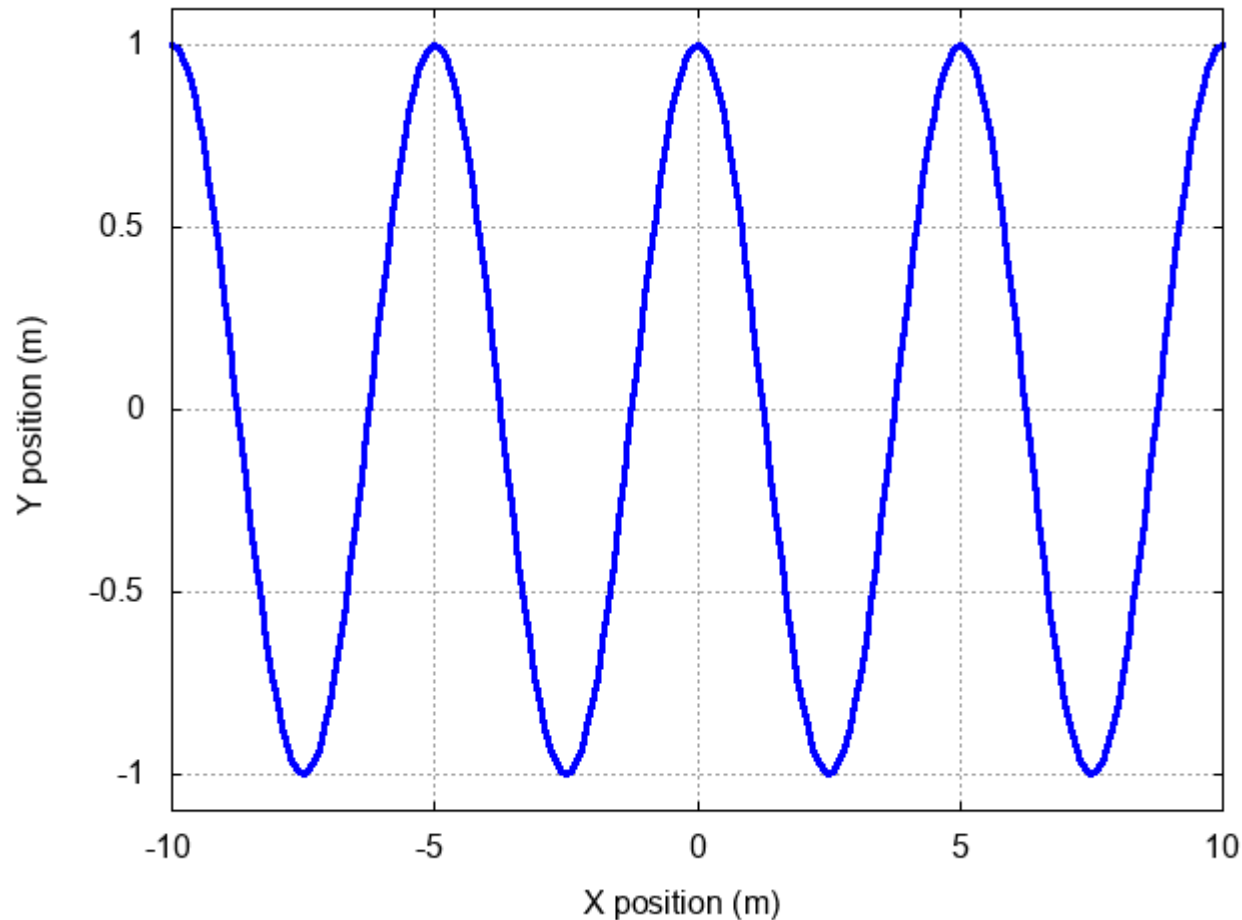
# Tema 1 – Introducción: repaso ondas



<http://spiff.rit.edu/classes/phys283/lectures/travel/travel.html>



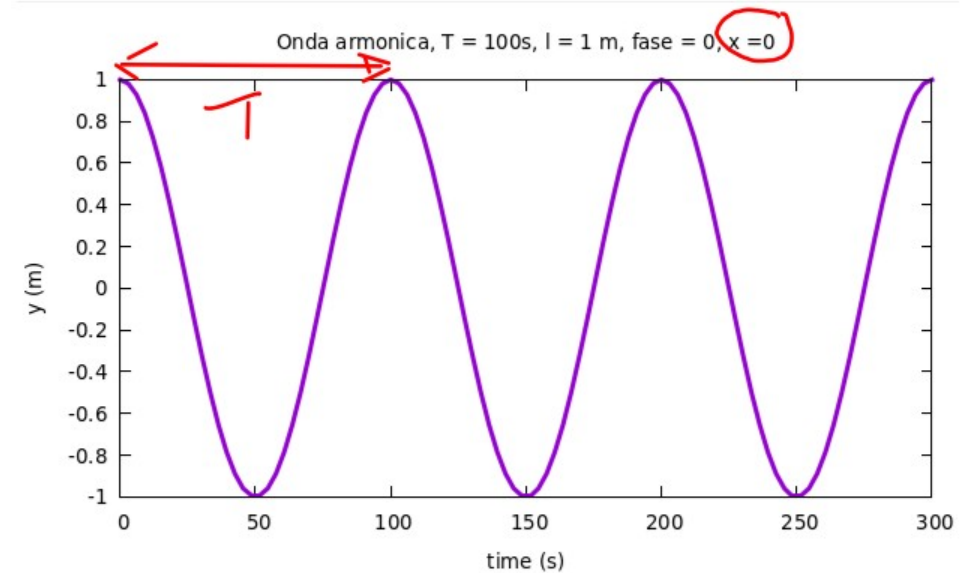
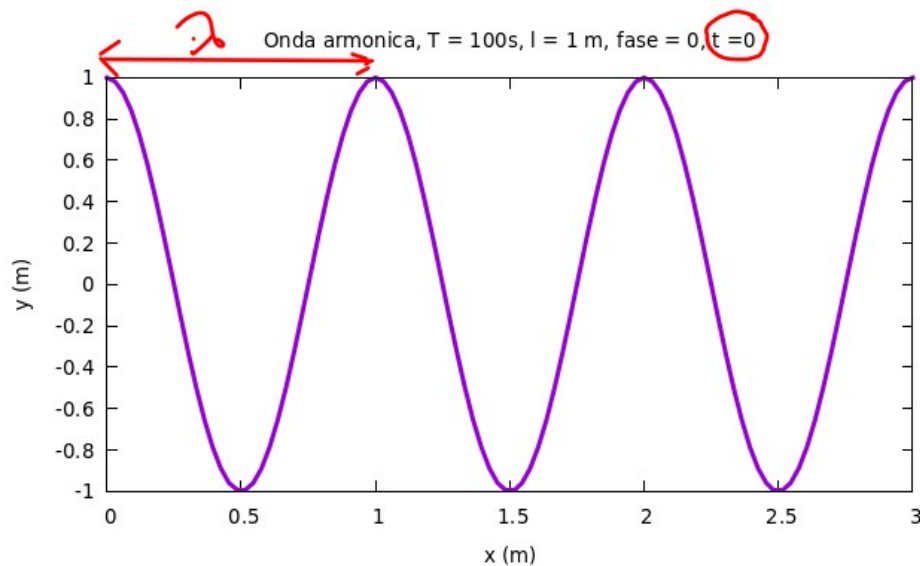
# Tema 1 – Introducción: repaso ondas



<http://spiff.rit.edu/classes/phys283/lectures/travel/travel.html>



# Tema 1 – Introducción: repaso ondas



Ejemplo para  $\lambda = 1\text{ m}$ ,  $y_0 = 1\text{ m}$ ,  $T = 100\text{s}$ .  
 $\phi_0 = 0$ .

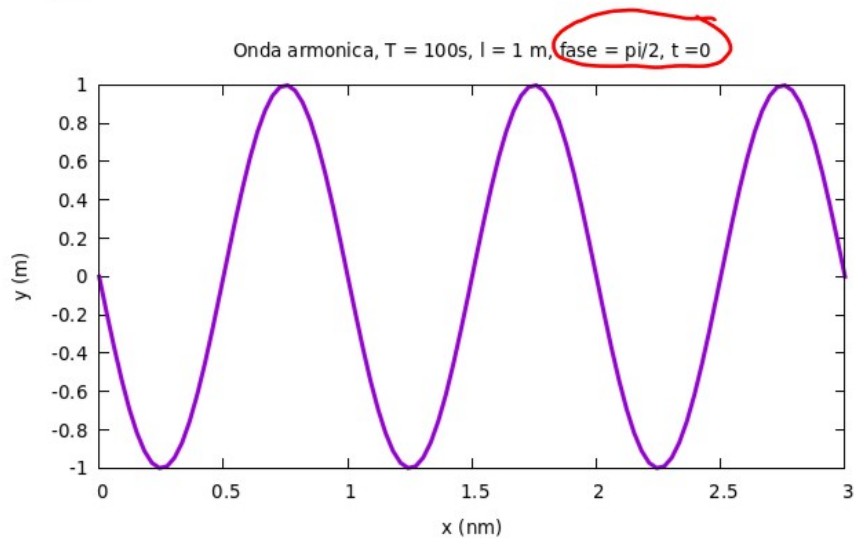
$$y = y_0 (6,28x - 0,0628t)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = 6,2832\text{ m}^{-1}$$
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,062832\text{ s}^{-1}$$

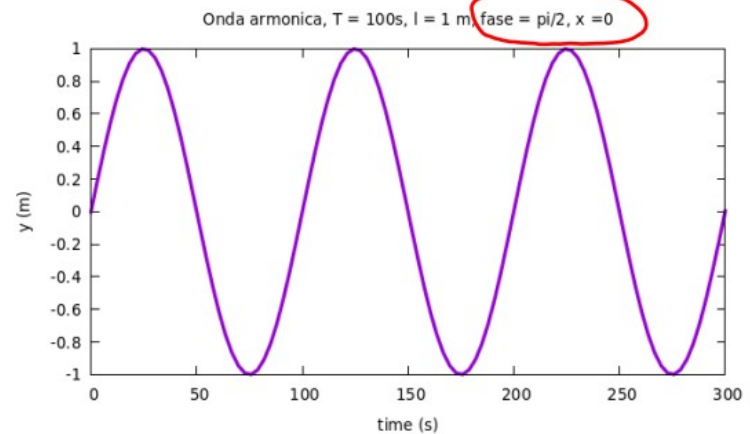


# Tema 1 – Introducción: repaso ondas

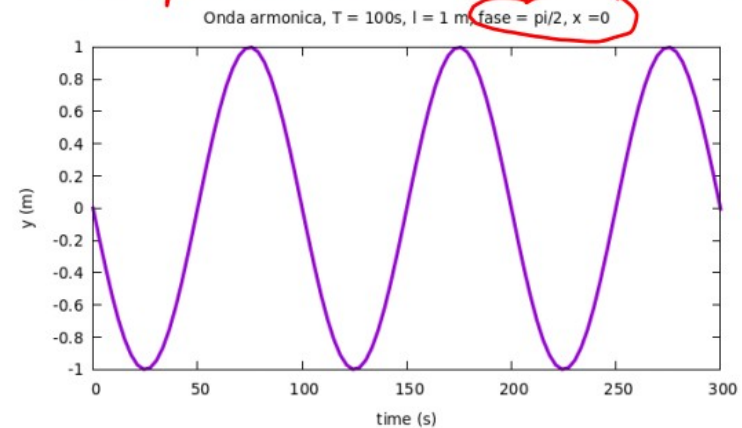
$$y = \cos\left(6,28x \pm 0,0628t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ m}$$



Desplazándose a la derecha  
→

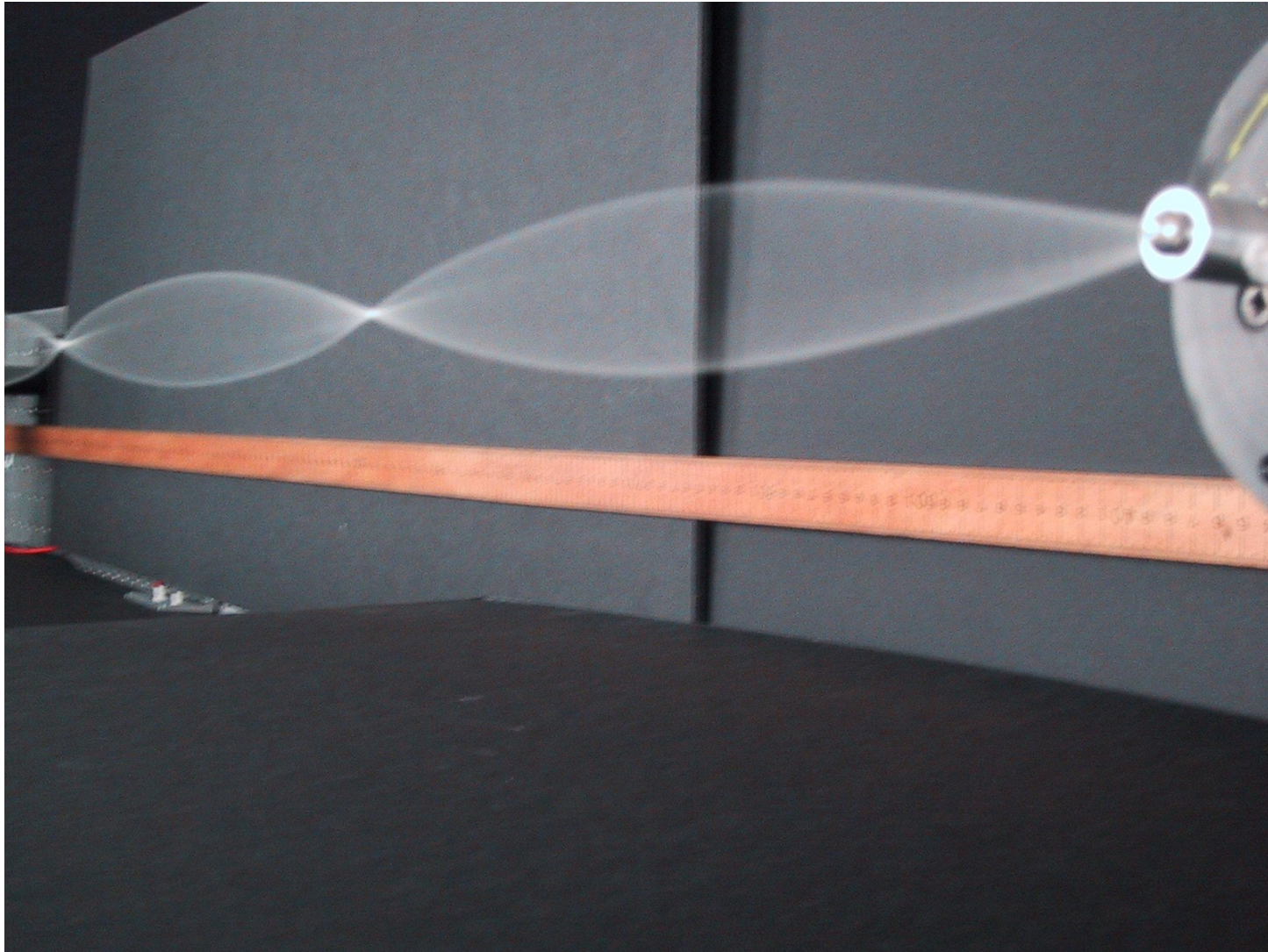


Desplazándose a la izquierda  
←





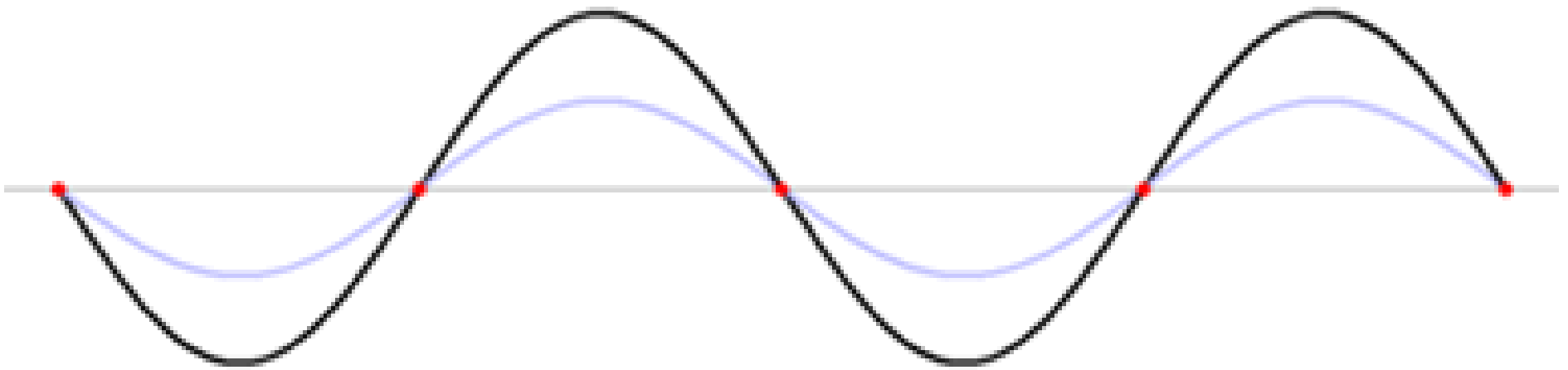
# Stationary waves or Standing waves



<http://saaphysics.com/PhysicsText/Ch1Sect2.htm>

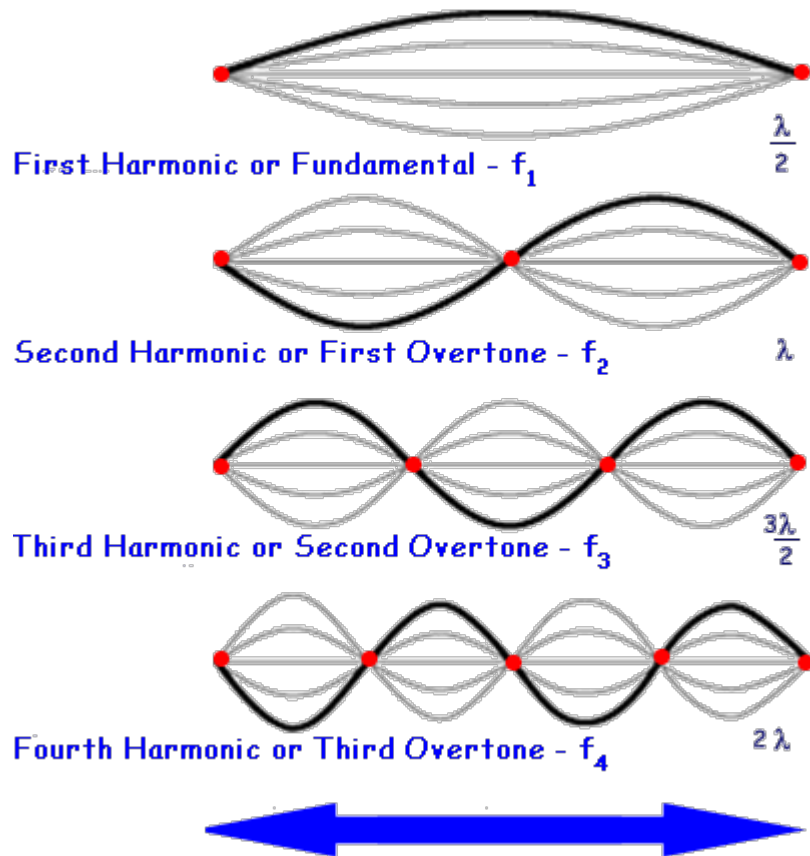


# Standing Waves



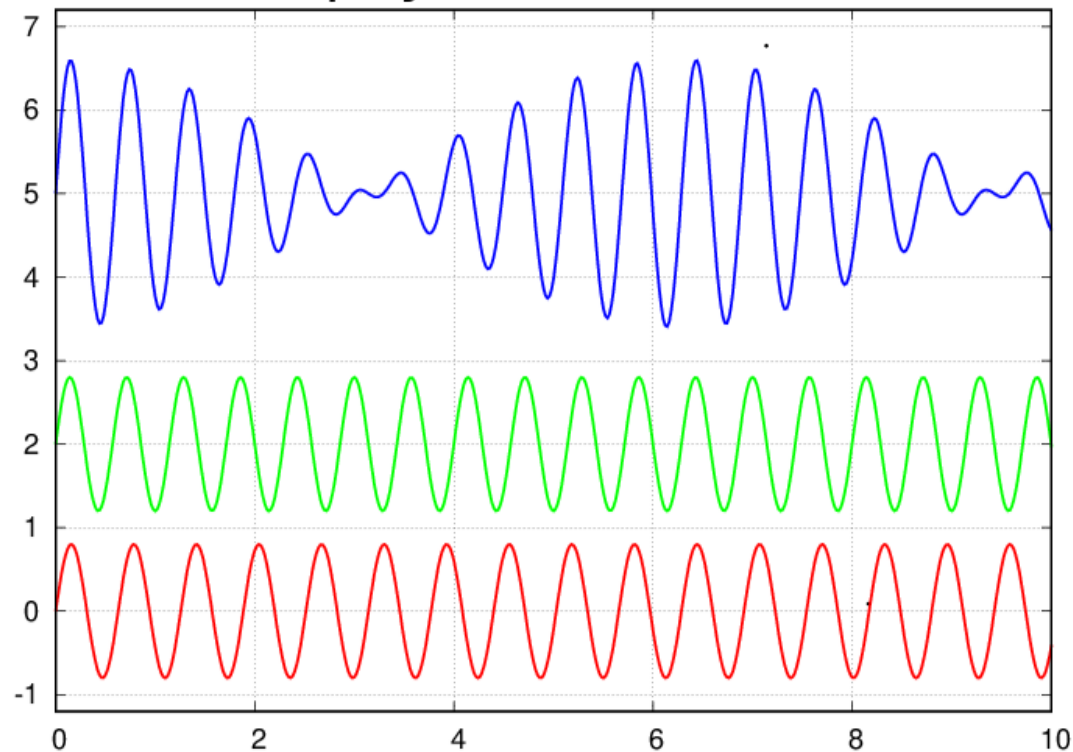
[https://www.cyberphysics.co.uk/topics/waves/standing\\_waves.htm](https://www.cyberphysics.co.uk/topics/waves/standing_waves.htm)

In order to generate standing waves the length must be a multiple of half the wave length



# Tema 1 – Interferencia y difracción

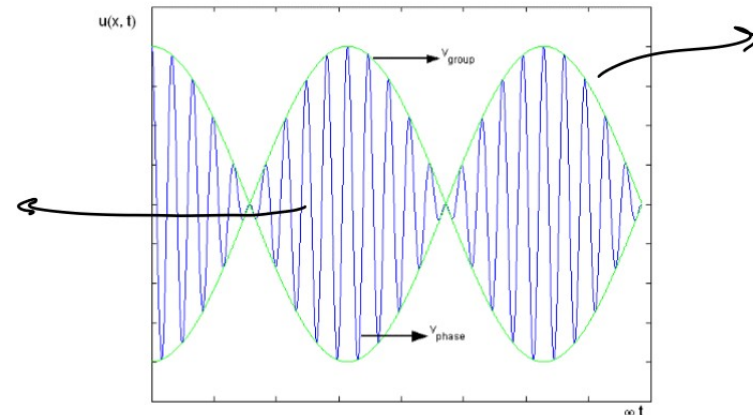
<http://spiff.rit.edu/classes/phys283/lectures/velocities/velocities.html>



# Tema 1 – Interferencia y difracción

Dentro de la  
envolvente la onda  
se desplaza  
con velocidad  
 $v_g = \frac{\langle \omega \rangle}{\langle k \rangle}$

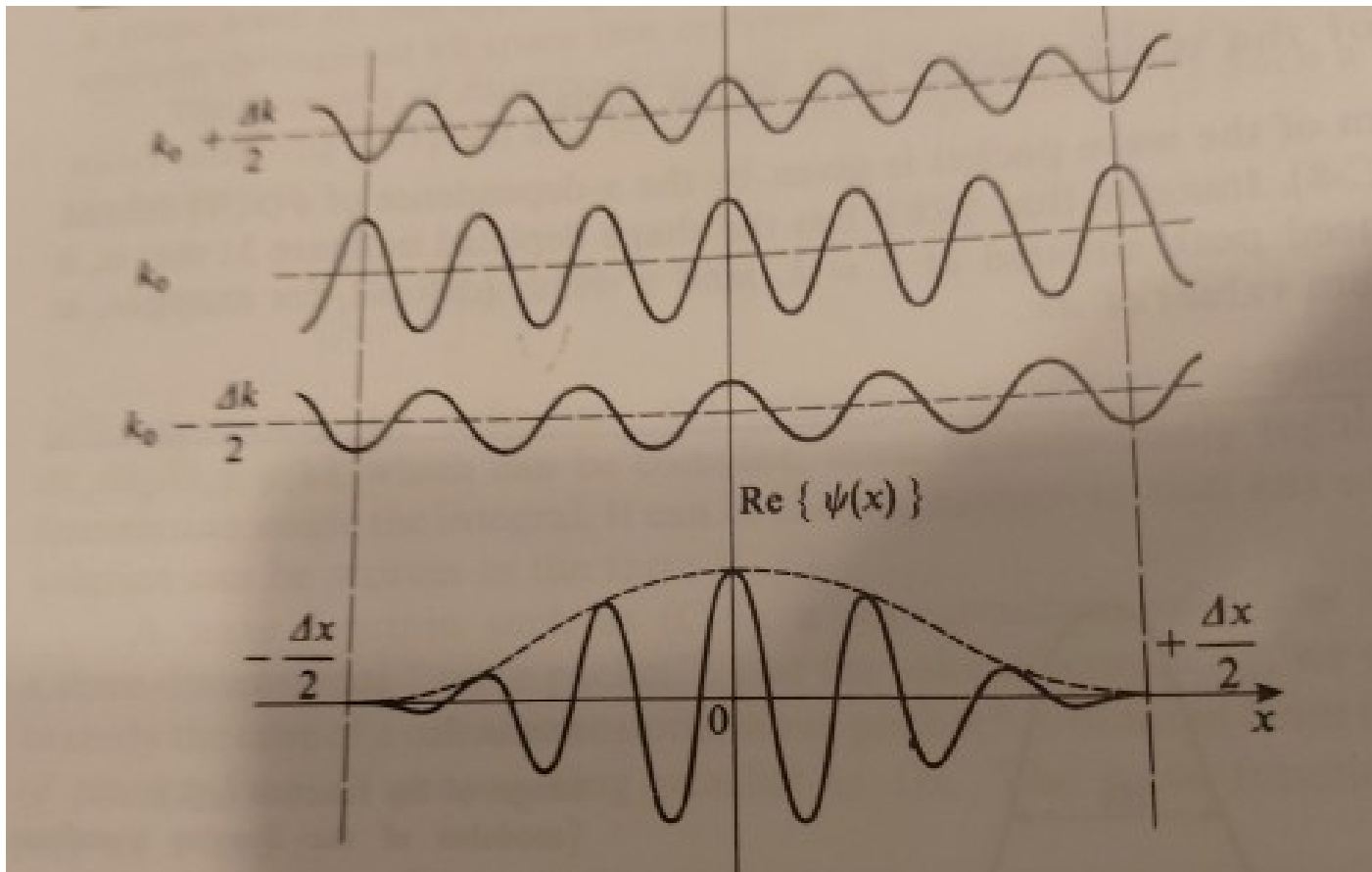
Paquete de ondas.



La línea verde indica  
la envolvente que  
viene dada por el  
segundo término de  
la función de onda  
anterior  $(\cos(\frac{\Delta k}{2}x - \frac{\Delta \omega}{2}t))$   
que se desplaza con  
una velocidad  $v_g = \frac{\Delta \omega}{\Delta k}$ .

[http://physics.gmu.edu/~dmaria/590%20Web%20Page/public\\_html/qm\\_topics/phase\\_vel/phase.html](http://physics.gmu.edu/~dmaria/590%20Web%20Page/public_html/qm_topics/phase_vel/phase.html)

# Tema 1 – Interferencia y difracción



Cohen-Tannoudji

# Tema 1 – Interferencia y difracción

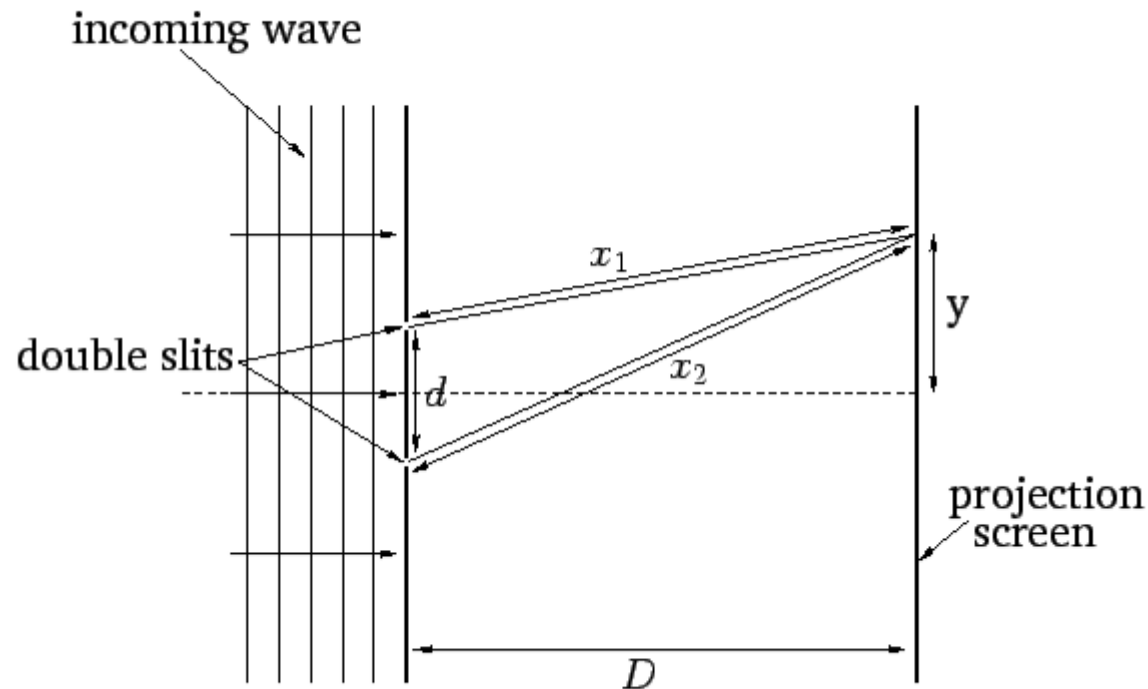
<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fourier/latest/fourier.html?simulation=fourier>

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-interference>



# Tema 1 – Introducción: repaso ondas

## Experimento de Young de la doble rendija



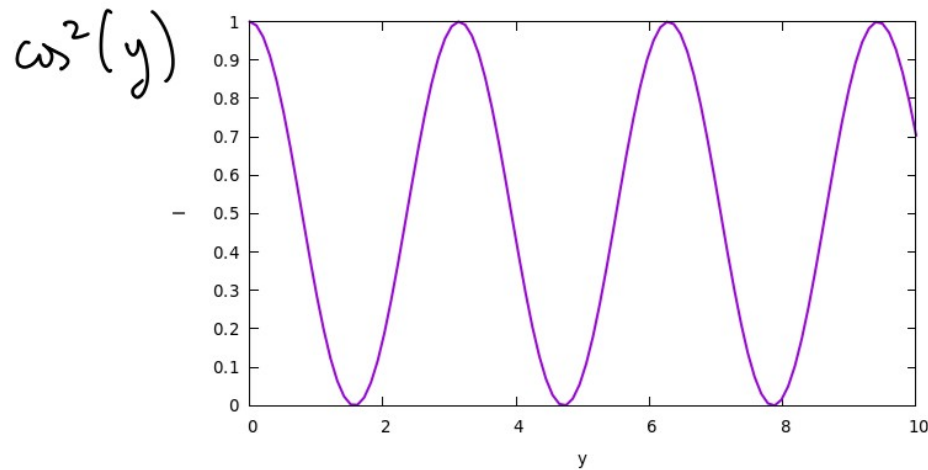
<http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qmech/Quantum/node21.html>



# Tema 1 – Introducción: repaso ondas

Experimento de Young de la doble rendija

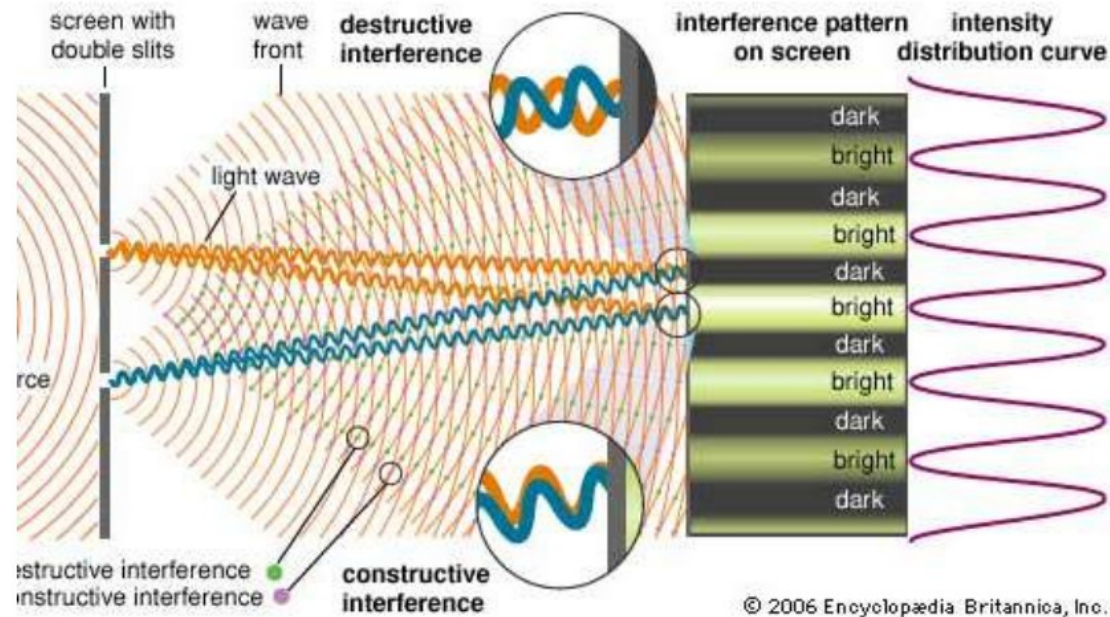
$$I \propto \cos^2\left(\frac{k}{2} \frac{d}{D} y\right)$$





# Tema 1 – Introducción: repaso ondas

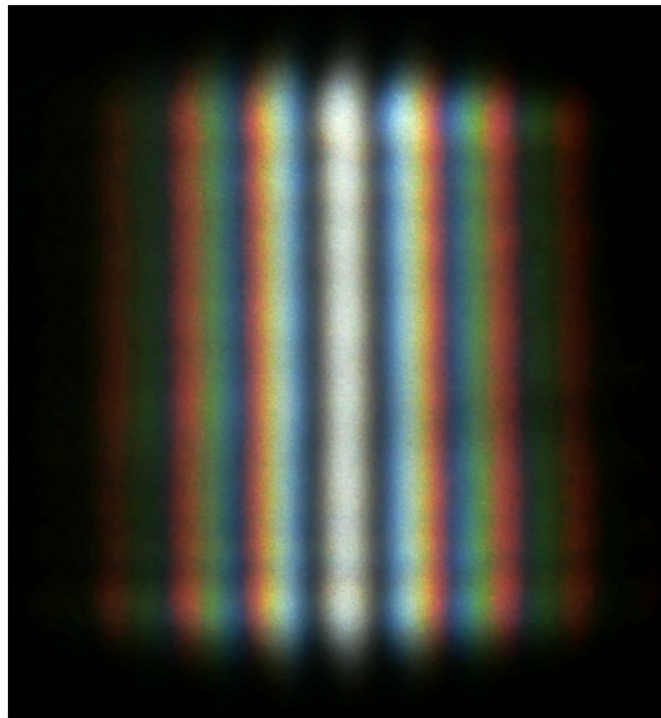
## Experimento de Young de la doble rendija



<https://www.britannica.com/science/light/Youngs-double-slit-experiment>

# Tema 1 – Introducció: repaso ondas

Experimento de Young de la doble rendija

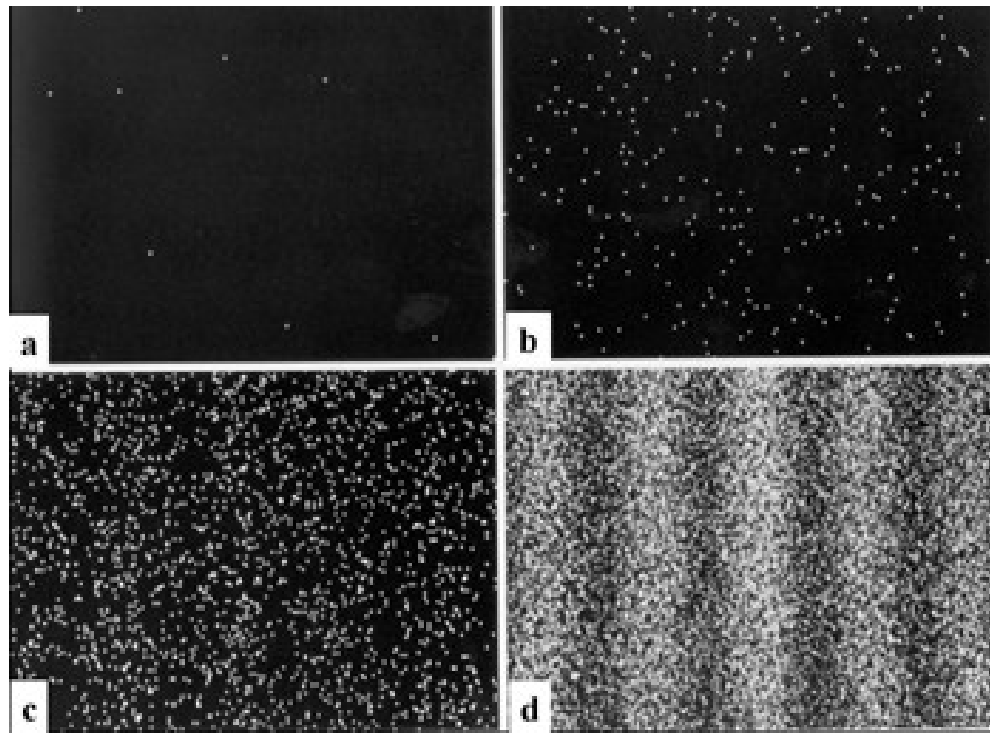


The pattern which Young produced by splitting sunlight



# Tema 1 – Introducción: repaso ondas

Hitachi double slit experiment



<https://www.youtube.com/watch?v=1LVkQfCptEs>



# Tema 1 – Introducción: repaso ondas

Otro double slit experiment

<https://www.youtube.com/watch?v=I9Ab8BLW3kA>

<https://aapt.scitation.org/doi/full/10.1119/1.4955173>

