

50 problemas de Física Moderna desde cero

Fotones, cuántica, átomos, relatividad y física nuclear

Una colección progresiva para entender los problemas fundamentales de la física moderna: fotones, efecto fotoeléctrico, ondas de materia, espectros atómicos, relatividad, radiactividad, energía nuclear y modelos fundamentales.

MATEMÁTICAS CON JUAN

Los 50 problemas están explicados y resueltos en formato vídeo:

<https://youtu.be/JjgrH1YOQEO>

Duración aproximada: 4 h 53 min. Cada ejercicio incluye su marca temporal enlazada al vídeo.

Propósito de la colección.

La física moderna nace cuando la física clásica empieza a quedarse corta. La luz no siempre se comporta como una onda continua; la materia puede mostrar comportamiento ondulatorio; el tiempo y la longitud dependen del movimiento; y el núcleo atómico contiene enormes cantidades de energía.

Esta versión está sincronizada con la superclase final grabada: conserva los cinco bloques, los 50 enunciados, el orden real de resolución y los resultados trabajados en el vídeo. El objetivo no es memorizar fórmulas, sino aprender a reconocer qué idea física aparece en cada situación y poder alternar cómodamente entre la explicación audiovisual y el PDF.

Trabajaremos siempre que sea posible con unidades del Sistema Internacional y con notación científica. Cuando usemos electronvoltios o megaelectronvoltios, indicaremos claramente la conversión.

La física moderna no empieza con fórmulas difíciles, sino con ideas nuevas.

Cómo usar esta colección

Antes de cada bloque conviene leer la caja inicial: ahí aparece la idea física que organiza los ejercicios. En cada problema se indica un nivel y una idea clave. Esa pequeña orientación ayuda a saber qué se está practicando antes de empezar a calcular.

La recomendación es avanzar en orden. Los primeros ejercicios de cada bloque construyen confianza; los últimos conectan varias ideas. Si un cálculo parece grande, conviene mirar primero las unidades y las potencias de diez: en física moderna la notación científica no es decoración, es parte del lenguaje.

Constantes que usaremos

Constante	Símbolo	Valor aproximado
Velocidad de la luz	c	$3,00 \cdot 10^8$ m/s
Constante de Planck	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s
Constante reducida de Planck	$\hbar$	$1,05 \cdot 10^{-34}$ J · s
Carga elemental	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ C
Electronvoltio	1 eV	$1,60 \cdot 10^{-19}$ J
Masa del electrón	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$ kg
Masa del protón	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ kg
Unidad de masa atómica	1 u	$1,66 \cdot 10^{-27}$ kg
Equivalencia nuclear	1 u c^2	931,5 MeV
Constante de Rydberg	R	$1,097 \cdot 10^7$ m ⁻¹
Radio de Bohr	a_0	$5,29 \cdot 10^{-11}$ m

Índice de bloques

Bloque	Tema	Ejercicios
A	Fotones, radiación y energía de la luz	1–10
B	Efecto fotoeléctrico, dualidad onda-partícula e incertidumbre	11–20
C	Átomos, espectros y modelo de Bohr	21–30
D	Relatividad especial y energía relativista	31–40
E	Física nuclear, radiactividad, fisión y fusión	41–50

Índice completo de problemas

Pulsa sobre el título o sobre el número de página para ir directamente al problema. En cada ejercicio encontrarás también un enlace para regresar a este índice y otro que abre el momento exacto de la explicación en vídeo.

Problema	Página
BLOQUE A. Fotones, radiación y energía de la luz	
1. Energía de un fotón de luz verde	4
2. Energía de un fotón conocida la frecuencia	5
3. Número de fotones en un pulso láser	6
4. Fotones emitidos por segundo	7
5. Momento lineal de un fotón	8
6. De dónde sale la presión de radiación	8
7. Fuerza sobre una vela solar reflectante	10
8. Temperatura de una estrella usando la ley de Wien	11
9. Energía de un fotón de rayos X	11
10. Comparación entre luz visible y rayos X	12
BLOQUE B. Efecto fotoeléctrico, dualidad onda-partícula e incertidumbre	
11. Frecuencia, intensidad y emisión fotoeléctrica	15
12. Energía cinética máxima en el efecto fotoeléctrico	17
13. Longitud de onda umbral	18
14. Potencial de frenado	19
15. Longitud de onda de De Broglie de un electrón	20
16. Electrón acelerado por una diferencia de potencial	21
17. Longitud de onda de un objeto cotidiano	22
18. Incertidumbre en la velocidad de un electrón	23
19. Energía asociada al confinamiento de un electrón	24
20. Fotón y electrón con la misma longitud de onda	25
BLOQUE C. Átomos, espectros y modelo de Bohr	
21. Niveles de energía e ionización del hidrógeno	29
22. Transición del nivel $n = 4$ al nivel $n = 2$	29
23. Longitudes límite de la serie de Lyman	30
24. Cálculo de la constante de Rydberg	31
25. Relación entre velocidad y radio orbital	32
26. Máximo número de líneas espectrales desde $n = 5$	32
27. Velocidad del electrón para $n = 2$	33
28. Deducción del radio de Bohr y cálculo para $n = 3$	33
29. Hidrógeno bombardeado con electrones de 12,2 eV	34
30. Transición $3 \rightarrow 2$ en el hidrógeno y en Li^{2+}	35
BLOQUE D. Relatividad especial y energía relativista	
31. Factor relativista para $v = 0,60c$	37
32. Velocidad correspondiente a $\gamma = 2$	37

Problema	Página
33. Dilatación temporal entre dos señales	38
34. Viaje relativista a una estrella	38
35. Muones atmosféricos desde dos sistemas de referencia	39
36. Composición relativista de velocidades	40
37. Energía en reposo del electrón	40
38. Energías relativistas de un protón	41
39. Electrón con energía cinética de 1 MeV	42
40. Energía cinética clásica frente a relativista	43
BLOQUE E. Física nuclear, radiactividad, fisión y fusión	
41. Composición de núcleos atómicos	45
42. Energía equivalente a una unidad de masa atómica	45
43. Energía de enlace del nitrógeno 15	46
44. Desintegración alfa del uranio 238	47
45. Desintegración beta del carbono 14	47
46. Energía liberada en una fisión nuclear	48
47. Energía liberada en una fusión nuclear	48
48. Constante de desintegración	49
49. Masa radiactiva restante	50
50. Datación mediante carbono 14	50

Bloque A. Fotones, radiación y energía de la luz

Qué aprenderás en este bloque.

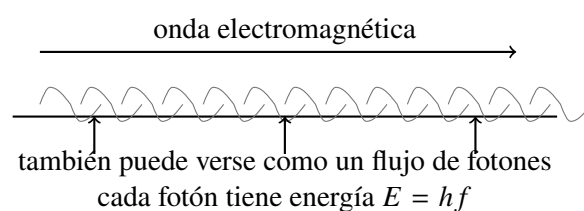
En este bloque aprenderás a relacionar la luz con frecuencia, longitud de onda y energía. La idea esencial es que la luz puede describirse como onda, pero también intercambia energía en paquetes llamados fotones.

$$c = \lambda f$$

$$E = hf$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Error frecuente. No debemos confundir longitud de onda con frecuencia. Si la longitud de onda disminuye, la frecuencia aumenta, porque $c = \lambda f$.



Ejercicio 1. Energía de un fotón de luz verde**Nivel:** básico **Idea clave:** relacionar longitud de onda, frecuencia y energía del fotón**Momento en la superclase:** 0:44**Índice de problemas**

Un fotón de luz verde tiene longitud de onda:

$$\lambda = 500 \text{ nm}$$

Calcula su frecuencia y su energía en julios y en electronvoltios.

Solución.

Primero pasamos la longitud de onda al Sistema Internacional:

$$500 \text{ nm} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Usamos:

$$c = \lambda f$$

Despejamos la frecuencia:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Sustituimos:

$$f = \frac{3,00 \cdot 10^8}{5,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$f = 6,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Ahora calculamos la energía del fotón:

$$E = hf$$

$$E = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6,00 \cdot 10^{14}$$

$$E = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Pasamos a electronvoltios:

$$E = \frac{3,98 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E \approx 2,49 \text{ eV}$$

Por tanto:

$$f = 6,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$E = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 2,49 \text{ eV}$$

Ejercicio 2. Energía de un fotón conocida la frecuencia**Nivel:** básico **Idea clave:** usar $E=hf$ cuando conocemos la frecuencia**Momento en la superclase:** 8:23**Índice de problemas**

Una radiación tiene frecuencia:

$$f = 7,50 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Calcula la energía de cada fotón en julios y en electronvoltios.

Solución.

La energía de un fotón es:

$$E = hf$$

Sustituimos:

$$E = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 7,50 \cdot 10^{14}$$

$$E = 4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Pasamos a electronvoltios:

$$E = \frac{4,97 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E \approx 3,11 \text{ eV}$$

Por tanto:

$$E = 4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 3,11 \text{ eV}$$

Ejercicio 3. Número de fotones en un pulso láser**Nivel:** medio **Idea clave:** dividir la energía total entre la energía de cada fotón**Momento en la superclase:** 11:50**Índice de problemas**

Un pulso láser tiene energía total:

$$E_T = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

y longitud de onda:

$$\lambda = 650 \text{ nm}$$

Calcula cuántos fotones contiene aproximadamente el pulso.

Solución.

Primero pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda = 650 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 6,50 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

La energía de un fotón es:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

Sustituimos:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{6,50 \cdot 10^{-7}}$$

$$E_f \approx 3,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

El número de fotones es:

$$N = \frac{E_T}{E_f}$$

$$N = \frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{3,06 \cdot 10^{-19}}$$

$$N \approx 6,5 \cdot 10^{15}$$

Por tanto:

$$N \approx 6,5 \cdot 10^{15} \text{ fotones}$$

Ejercicio 4. Fotones emitidos por segundo

Nivel: medio **Idea clave:** relacionar potencia con energía por unidad de tiempo

Momento en la superclase: 17:09

Índice de problemas

Una fuente monocromática emite luz de longitud de onda:

$$\lambda = 600 \text{ nm}$$

con una potencia luminosa de:

$$P = 3,0 \text{ W}$$

Calcula el número de fotones emitidos por segundo.

Solución.

La energía de cada fotón es:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda = 600 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 6,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Sustituimos:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{6,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$E_f \approx 3,32 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

La potencia es energía por unidad de tiempo. Por tanto:

$$P = \frac{E_T}{t}$$

Si queremos fotones por segundo:

$$\frac{N}{t} = \frac{P}{E_f}$$

Sustituimos:

$$\frac{N}{t} = \frac{3,0}{3,32 \cdot 10^{-19}}$$

$$\frac{N}{t} \approx 9,0 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$$

Por tanto:

$$\frac{N}{t} \approx 9,0 \cdot 10^{18} \text{ fotones/s}$$

Ejercicio 5. Momento lineal de un fotón

Nivel: medio **Idea clave:** calcular el momento lineal de un fotón

Momento en la superclase: 22:04

Índice de problemas

Un fotón de luz violeta tiene longitud de onda:

$$\lambda = 400 \text{ nm}$$

Calcula su momento lineal.

Solución.

El momento lineal de un fotón es:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$400 \text{ nm} = 4,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Sustituimos:

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{4,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$p \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg m/s}$$

Por tanto:

$$p \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg m/s}$$

Aunque el fotón no tiene masa en reposo, sí transporta energía y momento.

Ejercicio 6. De dónde sale la presión de radiación

Nivel: medio **Idea clave:** deducir la presión de radiación a partir del momento de los fotones

Momento en la superclase: 25:11

Índice de problemas

Una superficie absorbe luz de intensidad:

$$I = 800 \text{ W/m}^2$$

El área iluminada es:

$$A = 0,20 \text{ m}^2$$

Sabiendo que un fotón cumple:

$$p_{\text{fotón}} = \frac{E}{c}$$

deduce la presión de radiación para luz absorbida y calcula la fuerza ejercida sobre la superficie.

Solución.

La intensidad representa energía por unidad de tiempo y por unidad de superficie:

$$I = \frac{E}{A \Delta t}$$

Por tanto, la energía que llega a la superficie en un tiempo Δt es:

$$E = I A \Delta t$$

Como la luz transporta momento, y para la luz se cumple:

$$p_{\text{luz}} = \frac{E}{c}$$

el momento que llega a la superficie es:

$$\Delta p = \frac{I A \Delta t}{c}$$

Si la luz es absorbida, ese momento se transfiere a la superficie. La fuerza es variación de momento por unidad de tiempo:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Sustituimos:

$$F = \frac{I A \Delta t}{c \Delta t}$$

$$F = \frac{I A}{c}$$

La presión de radiación es fuerza dividida entre área:

$$p_{\text{rad}} = \frac{F}{A}$$

Por tanto:

$$p_{\text{rad}} = \frac{I}{c}$$

Ahora calculamos:

$$p_{\text{rad}} = \frac{800}{3,00 \cdot 10^8}$$

$$p_{\text{rad}} \approx 2,67 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

La fuerza será:

$$F = p_{\text{rad}} A$$

$$F = 2,67 \cdot 10^{-6} \cdot 0,20$$

$$F \approx 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

Por tanto:

$$p_{\text{rad}} \approx 2,67 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

$$F \approx 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

La fuerza es muy pequeña, pero confirma una idea fundamental: la luz transporta momento.

Ejercicio 7. Fuerza sobre una vela solar reflectante

Nivel: medio **Idea clave:** comparar absorción y reflexión de la luz

Momento en la superclase: 34:25

Índice de problemas

Una vela solar reflectante recibe luz solar de intensidad aproximada:

$$I = 1360 \text{ W/m}^2$$

El área de la vela es:

$$A = 1000 \text{ m}^2$$

Si la vela refleja la luz, la presión de radiación es:

$$p_{\text{rad}} = \frac{2I}{c}$$

Calcula la fuerza ejercida por la luz sobre la vela.

Solución.

Cuando la luz se absorbe, entrega a la superficie un momento asociado a la energía que transporta.

Pero si la luz se refleja, el cambio de momento es aproximadamente el doble, porque la luz llega en un sentido y sale en el sentido contrario.

Por eso, para una superficie reflectante:

$$p_{\text{rad}} = \frac{2I}{c}$$

Sustituimos:

$$p_{\text{rad}} = \frac{2 \cdot 1360}{3,00 \cdot 10^8}$$

$$p_{\text{rad}} \approx 9,07 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

La fuerza sobre la vela es:

$$F = p_{\text{rad}} A$$

$$F = 9,07 \cdot 10^{-6} \cdot 1000$$

$$F \approx 9,07 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Por tanto:

$$F \approx 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Es una fuerza pequeña, pero en el espacio puede actuar durante mucho tiempo y producir cambios de velocidad acumulados.

Ejercicio 8. Temperatura de una estrella usando la ley de Wien

Nivel: medio **Idea clave:** relacionar color dominante y temperatura

Momento en la superclase: 38:21

Índice de problemas

La radiación de una estrella tiene máximo de emisión en:

$$\lambda_m = 500 \text{ nm}$$

Usa la ley de Wien:

$$\lambda_m T = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

para estimar su temperatura superficial.

Solución.

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda_m = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda_m = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

La ley de Wien es:

$$\lambda_m T = 2,90 \cdot 10^{-3}$$

Despejamos la temperatura:

$$T = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{\lambda_m}$$

Sustituimos:

$$T = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{5,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$T = 5,80 \cdot 10^3 \text{ K}$$

Por tanto:

$$T \approx 5,8 \cdot 10^3 \text{ K}$$

La luz que recibimos de una estrella no solo nos ilumina: también contiene información sobre su temperatura.

Ejercicio 9. Energía de un fotón de rayos X**Nivel:** medio **Idea clave:** ver por qué los rayos X son mucho más energéticos que la luz visible**Momento en la superclase:** 41:24**Índice de problemas**

Un fotón de rayos X tiene longitud de onda:

$$\lambda = 0,10 \text{ nm}$$

Calcula su energía en julios, electronvoltios y kiloelectronvoltios.

Solución.

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$0,10 \text{ nm} = 0,10 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Usamos:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Sustituimos:

$$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{1,0 \cdot 10^{-10}}$$

$$E = 1,99 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Pasamos a electronvoltios:

$$E = \frac{1,99 \cdot 10^{-15}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E \approx 1,24 \cdot 10^4 \text{ eV}$$

Como:

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

entonces:

$$E \approx 12,4 \text{ keV}$$

Por tanto:

$$E = 1,99 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$E \approx 1,24 \cdot 10^4 \text{ eV} = 12,4 \text{ keV}$$

Los rayos X tienen longitudes de onda muy pequeñas, y por eso sus fotones tienen energías muy grandes.

Ejercicio 10. Comparación entre luz visible y rayos X

Nivel: alto **Idea clave:** comparar energías usando la relación inversa entre energía y longitud de onda

Momento en la superclase: 46:06

Índice de problemas

Compara la energía de estos dos fotones:

$$\lambda_{\text{verde}} = 500 \text{ nm}$$

$$\lambda_X = 0,10 \text{ nm}$$

¿Cuántas veces más energético es el fotón de rayos X que el fotón de luz verde?

Solución.

La energía de un fotón es:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Como h y c son constantes, la energía es inversamente proporcional a la longitud de onda:

$$E \propto \frac{1}{\lambda}$$

Por tanto, el cociente entre las energías es:

$$\frac{E_X}{E_{\text{verde}}} = \frac{\lambda_{\text{verde}}}{\lambda_X}$$

Sustituimos directamente en nanómetros, porque ambas longitudes de onda están en la misma unidad:

$$\frac{E_X}{E_{\text{verde}}} = \frac{500}{0,10}$$

$$\frac{E_X}{E_{\text{verde}}} = 5000$$

Por tanto:

$$E_X = 5000 E_{\text{verde}}$$

El fotón de rayos X es unas cinco mil veces más energético que el fotón de luz verde.

Si el fotón verde tiene una energía aproximada de:

$$E_{\text{verde}} \approx 2,49 \text{ eV}$$

entonces:

$$E_X \approx 5000 \cdot 2,49$$

$$E_X \approx 1,25 \cdot 10^4 \text{ eV}$$

$$E_X \approx 12,5 \text{ keV}$$

Por tanto:

$$E_X \approx 12,5 \text{ keV}$$

Esta comparación muestra de forma muy clara por qué no todas las radiaciones electromagnéticas son iguales: una pequeña longitud de onda implica una energía enorme por fotón.

Bloque B. Efecto fotoeléctrico, dualidad onda-partícula e incertidumbre

Qué aprenderás en este bloque.

En este bloque estudiaremos tres ideas decisivas de la física cuántica. En primer lugar, veremos que la luz puede arrancar electrones de un metal, pero solamente si cada fotón tiene energía suficiente. Después estudiaremos que las partículas materiales, como los electrones, también tienen una longitud de onda asociada. Finalmente, analizaremos el principio de incertidumbre y veremos que, en el mundo microscópico, no es posible conocer simultáneamente la posición y el momento de una partícula con precisión arbitraria. Para el efecto fotoeléctrico:

$$K_{\text{máx}} = hf - \phi$$

$$eV_f = K_{\text{máx}}$$

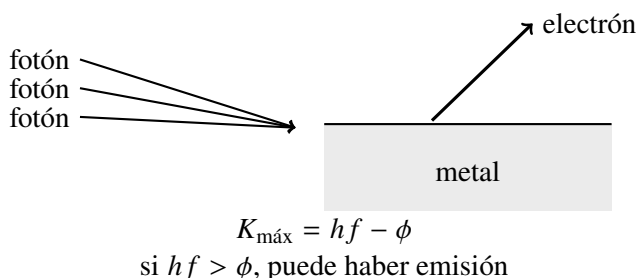
Para la longitud de onda de De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Para el principio de incertidumbre:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Error frecuente. En el efecto fotoeléctrico, aumentar la intensidad no compensa que la frecuencia sea menor que la frecuencia umbral. Si cada fotón no tiene energía suficiente, no se arrancan electrones, por muy intensa que sea la luz.



Ejercicio 11. Frecuencia, intensidad y emisión fotoeléctrica

Nivel: básico **Idea clave:** distinguir el efecto de la frecuencia y de la intensidad

Momento en la superclase: 49:16

Índice de problemas

Un metal tiene una función de trabajo:

$$\phi = 2,5 \text{ eV}$$

El metal se ilumina en dos situaciones diferentes:

- a) con luz de longitud de onda 600 nm y gran intensidad;
- b) con luz de longitud de onda 400 nm y menor intensidad.

Determina en qué caso se produce emisión fotoeléctrica y explica qué efecto tiene la intensidad de la luz.

Solución.

Para que se produzca emisión fotoeléctrica, la energía de cada fotón debe ser mayor o igual que la función de trabajo del metal:

$$E_f \geq \phi$$

La energía de un fotón es:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

a) Luz de 600 nm.

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda_1 = 600 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 6,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

La energía de cada fotón es:

$$E_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{6,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$E_1 \approx 3,32 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

En electronvoltios:

$$E_1 = \frac{3,32 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_1 \approx 2,07 \text{ eV}$$

Comparamos con la función de trabajo:

$$2,07 \text{ eV} < 2,5 \text{ eV}$$

Por tanto, los fotones no tienen energía suficiente para arrancar electrones.

Con luz de 600 nm no hay emisión fotoeléctrica

Esto ocurre aunque la intensidad de la luz sea muy grande.

b) Luz de 400 nm.

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda_2 = 400 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 4,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

La energía de cada fotón es:

$$E_2 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{4,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$E_2 \approx 4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

En electronvoltios:

$$E_2 \approx \frac{4,97 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_2 \approx 3,11 \text{ eV}$$

Ahora se cumple:

$$3,11 \text{ eV} > 2,5 \text{ eV}$$

Por tanto, sí se produce emisión fotoeléctrica.

La energía cinética máxima de los electrones será:

$$K_{\text{máx}} = E_2 - \phi$$

$$K_{\text{máx}} = 3,11 - 2,5$$

$$K_{\text{máx}} = 0,61 \text{ eV}$$

Por tanto:

Con luz de 400 nm sí hay emisión fotoeléctrica

$$K_{\text{máx}} \approx 0,61 \text{ eV}$$

La frecuencia determina la energía de cada fotón y, por tanto, decide si puede producirse la emisión.

La intensidad indica cuántos fotones llegan por unidad de tiempo. Si los fotones tienen energía suficiente, aumentar la intensidad puede aumentar el número de electrones emitidos, pero no aumenta la energía cinética máxima de cada electrón.

Ejercicio 12. Energía cinética máxima en el efecto fotoeléctrico

Nivel: básico **Idea clave:** aplicar la ecuación fotoeléctrica de Einstein

Momento en la superclase: 1:01:05

Índice de problemas

Un metal tiene una función de trabajo:

$$\phi = 2,0 \text{ eV}$$

Se ilumina con luz de longitud de onda:

$$\lambda = 450 \text{ nm}$$

Calcula la energía cinética máxima de los electrones emitidos en electronvoltios y en julios.

Solución.

La energía de cada fotón es:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda = 450 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 4,50 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Sustituimos:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{4,50 \cdot 10^{-7}}$$

$$E_f \approx 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Pasamos la energía a electronvoltios:

$$E_f = \frac{4,42 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_f \approx 2,76 \text{ eV}$$

La ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico es:

$$K_{\text{máx}} = E_f - \phi$$

Sustituimos:

$$K_{\text{máx}} = 2,76 - 2,0$$

$$K_{\text{máx}} = 0,76 \text{ eV}$$

Pasamos a julios:

$$K_{\text{máx}} = 0,76 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}$$

$$K_{\text{máx}} \approx 1,22 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Por tanto:

$$K_{\text{máx}} \approx 0,76 \text{ eV}$$

$$K_{\text{máx}} \approx 1,22 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Parte de la energía del fotón se emplea en arrancar el electrón del metal y el resto aparece como energía cinética.

Ejercicio 13. Longitud de onda umbral

Nivel: medio **Idea clave:** hallar la longitud de onda máxima capaz de producir emisión

Momento en la superclase: 1:06:52

Índice de problemas

La función de trabajo de un metal es:

$$\phi = 2,3 \text{ eV}$$

Calcula la longitud de onda umbral para que empiece el efecto fotoeléctrico.

Solución.

En el umbral, la energía del fotón es exactamente igual a la función de trabajo:

$$E_f = \phi$$

Como:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda_0}$$

tenemos:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = \phi$$

Pasamos la función de trabajo a julios:

$$\phi = 2,3 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}$$

$$\phi = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Despejamos la longitud de onda umbral:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\phi}$$

Sustituimos:

$$\lambda_0 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{3,68 \cdot 10^{-19}}$$

$$\lambda_0 \approx 5,40 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Pasamos a nanómetros:

$$\lambda_0 \approx 540 \text{ nm}$$

Por tanto:

$$\lambda_0 \approx 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_0 \approx 540 \text{ nm}$$

Esta es la longitud de onda máxima capaz de producir emisión fotoeléctrica en este metal.

Para longitudes de onda mayores que 540 nm, los fotones tienen menos energía que la función de trabajo y no se emiten electrones.

Ejercicio 14. Potencial de frenado

Nivel: medio **Idea clave:** relacionar energía cinética máxima y potencial de frenado

Momento en la superclase: 1:13:33

Índice de problemas

Un metal tiene una función de trabajo:

$$\phi = 2,1 \text{ eV}$$

Se ilumina con luz de longitud de onda:

$$\lambda = 300 \text{ nm}$$

Calcula el potencial de frenado necesario para detener a los electrones más rápidos.

Solución.

La energía de cada fotón es:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda = 300 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 3,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Sustituimos:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{3,00 \cdot 10^{-7}}$$

$$E_f = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

En electronvoltios:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_f \approx 4,14 \text{ eV}$$

La energía cinética máxima de los electrones es:

$$K_{\text{máx}} = E_f - \phi$$

$$K_{\text{máx}} = 4,14 - 2,1$$

$$K_{\text{máx}} = 2,04 \text{ eV}$$

El potencial de frenado es el potencial mínimo necesario para impedir que incluso los electrones más rápidos alcancen el colector.

Se cumple:

$$eV_f = K_{\text{máx}}$$

Cuando la energía cinética está expresada en electronvoltios, el potencial de frenado en voltios tiene el mismo valor numérico.

Por tanto:

$$V_f \approx 2,04 \text{ V}$$

Ejercicio 15. Longitud de onda de De Broglie de un electrón

Nivel: básico **Idea clave:** asociar una longitud de onda a una partícula material

Momento en la superclase: 1:19:35

Índice de problemas

Un electrón se mueve con velocidad:

$$v = 2,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Calcula su longitud de onda de De Broglie usando la aproximación no relativista.

Solución.

Según De Broglie, una partícula con momento lineal p tiene asociada una longitud de onda:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Para una partícula no relativista:

$$p = mv$$

Por tanto:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Sustituimos la masa y la velocidad del electrón:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2,0 \cdot 10^6}$$

Calculamos el momento lineal:

$$p = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2,0 \cdot 10^6$$

$$p \approx 1,82 \cdot 10^{-24} \text{ kg m/s}$$

Por tanto:

$$\lambda \approx 3,64 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Así que:

$$\lambda \approx 3,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Esta longitud de onda es del orden de las distancias existentes entre los átomos de un cristal. Por eso los electrones pueden producir fenómenos de difracción.

Ejercicio 16. Electrón acelerado por una diferencia de potencial

Nivel: medio **Idea clave:** relacionar diferencia de potencial, momento y longitud de onda

Momento en la superclase: 1:23:58

Índice de problemas

Un electrón parte del reposo y se acelera mediante una diferencia de potencial:

$$V = 150 \text{ V}$$

Calcula su longitud de onda de De Broglie usando la aproximación no relativista.

Solución.

Cuando un electrón atraviesa una diferencia de potencial V , gana una energía cinética:

$$K = eV$$

Para una partícula no relativista:

$$K = \frac{p^2}{2m_e}$$

Iguualamos ambas expresiones:

$$\frac{p^2}{2m_e} = eV$$

Despejamos el momento lineal:

$$p = \sqrt{2m_e eV}$$

La longitud de onda de De Broglie es:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Por tanto:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eV}}$$

Sustituimos:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 150}}$$

$$\lambda \approx 1,00 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Por tanto:

$$\boxed{\lambda \approx 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}}$$

Esta longitud de onda es comparable con las separaciones entre átomos de un cristal. Por eso un haz de electrones acelerados puede producir difracción, del mismo modo que lo hacen las ondas.

Ejercicio 17. Longitud de onda de un objeto cotidiano

Nivel: básico **Idea clave:** explicar por qué no observamos ondas de materia en objetos macroscópicos

Momento en la superclase: 1:30:45

Índice de problemas

Una pelota de masa:

$$m = 0,050 \text{ kg}$$

se mueve con velocidad:

$$v = 20 \text{ m/s}$$

Calcula su longitud de onda de De Broglie y compárala con la de un electrón, que suele ser del orden de 10^{-10} m .

Solución.

La longitud de onda de De Broglie es:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Calculamos el momento lineal de la pelota:

$$p = mv$$

$$p = 0,050 \cdot 20$$

$$p = 1,0 \text{ kg m/s}$$

Por tanto:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,0}$$

$$\lambda = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

Así que:

$$\lambda \approx 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

La longitud de onda de un electrón puede ser aproximadamente:

$$\lambda_e \sim 10^{-10} \text{ m}$$

La longitud de onda de la pelota es aproximadamente 24 órdenes de magnitud menor.

$$\frac{\lambda_e}{\lambda_{\text{pelota}}} \sim 10^{24}$$

Toda la materia tiene una longitud de onda asociada, pero en los objetos cotidianos esa longitud de onda es tan pequeña que su comportamiento ondulatorio resulta completamente inapreciable.

Ejercicio 18. Incertidumbre en la velocidad de un electrón

Nivel: medio **Idea clave:** estimar la incertidumbre mínima producida al localizar una partícula

Momento en la superclase: 1:34:20

Índice de problemas

La posición de un electrón se conoce con una incertidumbre aproximada de:

$$\Delta x = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Estima la incertidumbre mínima en su velocidad.

Dato:

$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Solución.

El principio de incertidumbre de Heisenberg establece:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

La incertidumbre mínima en el momento se obtiene tomando aproximadamente la igualdad:

$$\Delta x \Delta p_{\text{mín}} \approx \frac{\hbar}{2}$$

Por tanto:

$$\Delta p_{\text{mín}} \approx \frac{\hbar}{2\Delta x}$$

En la aproximación no relativista:

$$\Delta p \approx m_e \Delta v$$

Por tanto:

$$m_e \Delta v_{\text{mín}} \approx \frac{\hbar}{2\Delta x}$$

Despejamos:

$$\Delta v_{\text{mín}} \approx \frac{\hbar}{2m_e \Delta x}$$

Sustituimos:

$$\Delta v_{\text{mín}} \approx \frac{1,05 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,0 \cdot 10^{-10}}$$

$$\Delta v_{\text{mín}} \approx 5,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

Por tanto:

$$\Delta v_{\text{mín}} \approx 5,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

Localizar el electrón dentro de una región del tamaño aproximado de un átomo implica una incertidumbre enorme en su velocidad.

Esta incertidumbre no aparece porque los instrumentos de medida sean defectuosos. Es una propiedad intrínseca de la descripción cuántica de las partículas.

Ejercicio 19. Energía asociada al confinamiento de un electrón

Nivel: alto **Idea clave:** relacionar confinamiento, incertidumbre en el momento y energía

Momento en la superclase: 1:38:14

Índice de problemas

Un electrón está localizado en una región de anchura aproximada:

$$\Delta x = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Calcula:

- la incertidumbre mínima en su momento;
- una estimación de la energía cinética mínima asociada a esa incertidumbre.

Datos:

$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Solución.

a) Incertidumbre mínima en el momento.

El principio de incertidumbre establece:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Tomando el valor mínimo aproximado:

$$\Delta p_{\text{mín}} \approx \frac{\hbar}{2\Delta x}$$

Sustituimos:

$$\Delta p_{\text{mín}} \approx \frac{1,05 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 1,0 \cdot 10^{-10}}$$

$$\Delta p_{\text{mín}} \approx 5,25 \cdot 10^{-25} \text{ kg m/s}$$

Por tanto:

$$\Delta p_{\text{mín}} \approx 5,25 \cdot 10^{-25} \text{ kg m/s}$$

b) Energía cinética asociada.

Podemos estimar la energía cinética característica asociada a esa incertidumbre mediante:

$$K_{\text{mín}} \approx \frac{(\Delta p_{\text{mín}})^2}{2m_e}$$

Sustituimos:

$$K_{\text{mín}} \approx \frac{(5,25 \cdot 10^{-25})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}}$$

$$K_{\text{mín}} \approx 1,51 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Pasamos a electronvoltios:

$$K_{\text{mín}} \approx \frac{1,51 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$K_{\text{mín}} \approx 0,95 \text{ eV}$$

Por tanto:

$$K_{\text{mín}} \approx 1,51 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$K_{\text{mín}} \approx 0,95 \text{ eV}$$

Este resultado expresa una idea fundamental: cuanto más confinamos una partícula, mayor debe ser la incertidumbre en su momento y mayor es la energía asociada a su movimiento.

Un electrón no puede imaginarse simplemente localizado en un punto y completamente quieto.

Ejercicio 20. Fotón y electrón con la misma longitud de onda

Nivel: alto **Idea clave:** comparar momento y energía de dos partículas diferentes

Momento en la superclase: 1:43:33

Índice de problemas

Un fotón y un electrón tienen la misma longitud de onda:

$$\lambda = 0,20 \text{ nm}$$

Calcula:

- a) el momento lineal del fotón y del electrón;
- b) la energía del fotón;
- c) la energía cinética no relativista del electrón;
- d) cuántas veces es mayor la energía del fotón.

Explica por qué tener la misma longitud de onda no significa tener la misma energía.

Solución.

Pasamos la longitud de onda a metros:

$$\lambda = 0,20 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 2,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

a) Momento lineal.

Tanto para un fotón como para una partícula material se cumple la relación de De Broglie:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Sustituimos:

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{2,0 \cdot 10^{-10}}$$

$$p \approx 3,32 \cdot 10^{-24} \text{ kg m/s}$$

Como ambos tienen la misma longitud de onda, ambos tienen el mismo módulo del momento lineal:

$$p_{\text{fotón}} = p_e \approx 3,32 \cdot 10^{-24} \text{ kg m/s}$$

b) Energía del fotón.

Para un fotón:

$$E_f = pc$$

También podemos escribir:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

Sustituimos:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{2,0 \cdot 10^{-10}}$$

$$E_f \approx 9,95 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

En electronvoltios:

$$E_f \approx \frac{9,95 \cdot 10^{-16}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_f \approx 6,22 \cdot 10^3 \text{ eV}$$

Por tanto:

$$E_f \approx 6,22 \text{ keV}$$

c) Energía cinética del electrón.

Para un electrón no relativista:

$$K_e = \frac{p^2}{2m_e}$$

Sustituimos:

$$K_e = \frac{(3,32 \cdot 10^{-24})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}}$$

$$K_e \approx 6,0 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

En electronvoltios:

$$K_e \approx \frac{6,0 \cdot 10^{-18}}{1,60 \cdot 10^{-19}}$$

$$K_e \approx 38 \text{ eV}$$

Por tanto:

$$K_e \approx 38 \text{ eV}$$

Podemos comprobar que la aproximación no relativista es válida. La velocidad del electrón sería:

$$v = \frac{p}{m_e}$$

$$v = \frac{3,32 \cdot 10^{-24}}{9,11 \cdot 10^{-31}}$$

$$v \approx 3,6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Esta velocidad es aproximadamente el 1,2 % de la velocidad de la luz, por lo que la aproximación no relativista es adecuada.

d) Comparación entre las energías.

Calculamos el cociente:

$$\frac{E_f}{K_e} = \frac{6,22 \cdot 10^3}{38}$$

$$\frac{E_f}{K_e} \approx 164$$

Por tanto:

$$E_f \approx 164 K_e$$

El fotón tiene aproximadamente 164 veces más energía que el electrón, aunque ambos tengan la misma longitud de onda y el mismo momento lineal.

La razón es que la relación entre energía y momento no es la misma para ambos.

Para el fotón:

$$E_f = pc$$

Para el electrón no relativista:

$$K_e = \frac{p^2}{2m_e}$$

Por tanto:

misma longitud de onda $\Rightarrow$ mismo momento, pero no la misma energía

Bloque C. Átomos, espectros y modelo de Bohr

Qué aprenderás en este bloque.

Estudiaremos los niveles de energía del átomo de hidrógeno, las transiciones electrónicas, las series espectrales, la fórmula de Rydberg, la cuantización del momento angular y el radio de Bohr. Cerraremos el bloque comparando el hidrógeno con un ion hidrogenoide, el ion Li^{2+} .

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

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

$$m_e v r = n \hbar, \quad r_n = a_0 n^2$$

Error frecuente. En una emisión, el electrón pasa de un nivel de energía mayor a otro menor. La energía del fotón emitido es positiva y coincide con el módulo de la diferencia entre los dos niveles.

Ejercicio 21. Niveles de energía e ionización del hidrógeno

Nivel: básico **Idea clave:** interpretar los niveles negativos de energía y la ionización

Momento en la superclase: 1:50:49

Índice de problemas

Para el átomo de hidrógeno, los niveles de energía vienen dados por:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

Calcula E_1 , E_2 y la energía necesaria para ionizar el átomo desde el estado fundamental.

Solución.

Para $n = 1$:

$$E_1 = -\frac{13,6}{1^2} = -13,6 \text{ eV}$$

Para $n = 2$:

$$E_2 = -\frac{13,6}{2^2} = -3,4 \text{ eV}$$

El signo negativo indica que el electrón está ligado al átomo. Ionizar desde $n = 1$ significa llevarlo desde $-13,6 \text{ eV}$ hasta 0 eV :

$$E_{\text{ion}} = 0 - E_1 = 13,6 \text{ eV}$$

$$E_1 = -13,6 \text{ eV}, \quad E_2 = -3,4 \text{ eV}$$

$$E_{\text{ion}} = 13,6 \text{ eV}$$

Ejercicio 22. Transición del nivel $n = 4$ al nivel $n = 2$

Nivel: medio **Idea clave:** calcular la longitud de onda y la energía de una línea de Balmer

Momento en la superclase: 1:55:01**Índice de problemas**

El electrón de un átomo de hidrógeno pasa del nivel $n_i = 4$ al nivel $n_f = 2$. Calcula la longitud de onda y la energía del fotón emitido.

Dato:

$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Solución.

Aplicamos la fórmula de Rydberg:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right) = R \frac{3}{16}$$

Por tanto:

$$\lambda = \frac{16}{3R}$$

$$\lambda \approx 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Esta radiación pertenece al espectro visible. La energía del fotón es:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E \approx \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{4,9 \cdot 10^{-7}} \approx 4,01 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

En electronvoltios:

$$E \approx \frac{4,01 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}} \approx 2,51 \text{ eV}$$

$$\lambda \approx 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$E \approx 4,01 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 2,51 \text{ eV}$$

Ejercicio 23. Longitudes límite de la serie de Lyman

Nivel: medio **Idea clave:** identificar las longitudes de onda máxima y mínima de una serie espectral

Momento en la superclase: 2:05:10**Índice de problemas**

Para la serie de Lyman del hidrógeno, calcula:

- la longitud de onda máxima;
- la longitud de onda mínima o límite.

Dato:

$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Solución.

En la serie de Lyman, el nivel final es siempre $n_f = 1$:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(1 - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

a) Longitud de onda máxima.

La longitud máxima corresponde a la transición de menor energía, $n_i = 2 \rightarrow n_f = 1$:

$$\frac{1}{\lambda_{\text{máx}}} = R \left(1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{3R}{4}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{4}{3R} \approx 1,216 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 121,6 \text{ nm}$$

b) Longitud de onda mínima.

El límite se obtiene cuando $n_i \rightarrow \infty$:

$$\frac{1}{\lambda_{\text{mín}}} = R$$

$$\lambda_{\text{mín}} = \frac{1}{R} \approx 9,12 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 91,2 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 121,6 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{mín}} = 91,2 \text{ nm}$$

Ejercicio 24. Cálculo de la constante de Rydberg

Nivel: medio **Idea clave:** despejar una constante física a partir de una línea espectral

Momento en la superclase: 2:16:20

Índice de problemas

La longitud de onda más larga de la serie de Lyman es:

$$\lambda_{\text{máx}} = 1215 \text{ Å}$$

Calcula la constante de Rydberg.

Solución.

La línea de mayor longitud de onda de Lyman corresponde a $n_i = 2 \rightarrow n_f = 1$:

$$\frac{1}{\lambda_{\text{máx}}} = R \left(1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{3R}{4}$$

Despejamos:

$$R = \frac{4}{3\lambda_{\text{máx}}}$$

Pasamos a metros:

$$1215 \text{ Å} = 1215 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1,215 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Sustituimos:

$$R = \frac{4}{3 \cdot 1,215 \cdot 10^{-7}} \approx 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$R \approx 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Ejercicio 25. Relación entre velocidad y radio orbital

Nivel: medio **Idea clave:** identificar la fuerza eléctrica como fuerza centrípeta

Momento en la superclase: 2:20:47

Índice de problemas

Un electrón gira circularmente alrededor de un núcleo de carga positiva $+Ze$. Según el modelo de Bohr, deduce cómo se relacionan la velocidad del electrón y el radio de su órbita.

Solución.

La fuerza electrostática atractiva es:

$$F_e = k \frac{Ze^2}{r^2}$$

Como esta fuerza mantiene al electrón en una trayectoria circular, actúa como fuerza centrípeta:

$$k \frac{Ze^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$$

Multiplicamos por r y despejamos:

$$v^2 = \frac{kZe^2}{m_e r}$$

Por tanto:

$$v = \sqrt{\frac{kZe^2}{m_e r}}$$

Para un mismo núcleo, la velocidad disminuye cuando aumenta el radio orbital.

Ejercicio 26. Máximo número de líneas espectrales desde $n = 5$

Nivel: básico **Idea clave:** contar todas las transiciones posibles entre niveles

Momento en la superclase: 2:23:52

Índice de problemas

Un conjunto de átomos de hidrógeno se encuentra inicialmente en el nivel $n = 5$. Al transcurrir el tiempo, los electrones evolucionan hacia niveles de menor energía. ¿Cuál es el número máximo de líneas espectrales diferentes que pueden emitirse?

Solución.

Cada línea corresponde a una transición diferente entre dos de los cinco niveles disponibles. El número de pares de niveles es:

$$N = \binom{5}{2} = \frac{5 \cdot 4}{2} = 10$$

También puede contarse directamente:

$$4 + 3 + 2 + 1 = 10$$

$$N_{\text{máx}} = 10 \text{ líneas espectrales}$$

Ejercicio 27. Velocidad del electrón para $n = 2$

Nivel: medio **Idea clave:** usar la cuantización del momento angular

Momento en la superclase: 2:26:27

Índice de problemas

El electrón de un átomo de hidrógeno se encuentra en el nivel $n = 2$. El radio de la órbita es:

$$r_2 = 2,12 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Calcula la velocidad del electrón usando:

$$m_e v r = n \hbar$$

Solución.

Despejamos la velocidad:

$$v = \frac{n \hbar}{m_e r}$$

Para $n = 2$:

$$v_2 = \frac{2 \cdot 1,055 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2,12 \cdot 10^{-10}}$$

$$v_2 \approx 1,09 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$v_2 \approx 1,09 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Ejercicio 28. Deducción del radio de Bohr y cálculo para $n = 3$

Nivel: alto **Idea clave:** combinar fuerza centrípeta y cuantización del momento angular

Momento en la superclase: 2:29:49

Índice de problemas

Deduce la expresión general del radio de las órbitas permitidas en el modelo de Bohr y calcula el radio correspondiente a $n = 3$.

Solución.

La fuerza eléctrica proporciona la fuerza centrípeta:

$$k \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$$

Además, el momento angular está cuantizado:

$$m_e v r = n \hbar$$

Despejamos la velocidad:

$$v = \frac{n\hbar}{m_e r}$$

Sustituimos en la ecuación dinámica:

$$k \frac{e^2}{r^2} = \frac{n^2 \hbar^2}{m_e r^3}$$

Despejando r :

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{k e^2 m_e}$$

Definimos el radio de Bohr:

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{k e^2 m_e} \approx 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Por tanto:

$$r_n = a_0 n^2$$

Para $n = 3$:

$$r_3 = 5,29 \cdot 10^{-11} \cdot 3^2 \approx 4,76 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$r_3 \approx 4,76 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Ejercicio 29. Hidrógeno bombardeado con electrones de 12,2 eV

Nivel: alto **Idea clave:** determinar el nivel máximo de excitación y las líneas emitidas

Momento en la superclase: 2:38:20

Índice de problemas

Átomos de hidrógeno en el estado fundamental $n = 1$ son bombardeados con electrones de energía cinética 12,2 eV. Determina:

- el nivel de energía más alto que pueden alcanzar;
- las líneas espectrales que pueden emitir después.

Solución.

Los primeros niveles son:

$$E_1 = -13,6 \text{ eV}, \quad E_2 = -3,4 \text{ eV}, \quad E_3 \approx -1,51 \text{ eV}, \quad E_4 = -0,85 \text{ eV}$$

Las energías necesarias desde $n = 1$ son:

$$\Delta E_{1 \rightarrow 2} = 10,2 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{1 \rightarrow 3} \approx 12,09 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{1 \rightarrow 4} = 12,75 \text{ eV}$$

Como:

$$12,09 < 12,2 < 12,75$$

el nivel más alto alcanzable es:

$$n_{\text{máx}} = 3$$

Después pueden producirse las transiciones $3 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 1$ y $2 \rightarrow 1$.

Para $3 \rightarrow 2$:

$$\lambda_{32} \approx 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 656 \text{ nm}$$

Para $3 \rightarrow 1$:

$$\lambda_{31} \approx 1,026 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 102,6 \text{ nm}$$

Para $2 \rightarrow 1$:

$$\lambda_{21} \approx 1,216 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 121,6 \text{ nm}$$

$$\lambda = 656 \text{ nm}, 102,6 \text{ nm}, 121,6 \text{ nm}$$

Los electrones incidentes pueden ceder solamente la energía necesaria para la excitación y continuar después dispersados.

Ejercicio 30. Transición $3 \rightarrow 2$ en el hidrógeno y en Li^{2+}

Nivel: alto **Idea clave:** comparar transiciones en átomos hidrogenoides

Momento en la superclase: 2:53:46

Índice de problemas

Compara la transición $n = 3 \rightarrow n = 2$ en el átomo de hidrógeno y en el ion Li^{2+} , tanto en energía como en longitud de onda.

Para un átomo hidrogenoide:

$$E_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ eV}$$

Solución.

La energía del fotón emitido es:

$$\Delta E = 13,6 Z^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = 13,6 Z^2 \frac{5}{36} \text{ eV}$$

Para el hidrógeno, $Z = 1$:

$$\Delta E_H \approx 1,89 \text{ eV} \approx 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Para Li^{2+} , $Z = 3$:

$$\Delta E_{\text{Li}^{2+}} = 9 \Delta E_H \approx 17,0 \text{ eV} \approx 2,72 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Como $\lambda = hc/E$:

$$\frac{\lambda_{\text{Li}^{2+}}}{\lambda_H} = \frac{E_H}{E_{\text{Li}^{2+}}} = \frac{1}{9}$$

Por tanto:

$$E_{\text{Li}^{2+}} = 9 E_H$$

$$\lambda_{\text{Li}^{2+}} = \frac{\lambda_H}{9}$$

Bloque D. Relatividad especial y energía relativista

Qué aprenderás en este bloque.

Estudiaremos el factor relativista, la dilatación temporal, la contracción de longitudes, la composición relativista de velocidades y la relación entre masa, energía y momento.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\Delta t = \gamma \Delta \tau, \quad L = \frac{L_0}{\gamma}$$

$$E = \gamma mc^2, \quad E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

Error frecuente. El tiempo propio se mide con un solo reloj en el lugar donde ocurren los dos sucesos. La longitud propia se mide en el sistema en el que los extremos del objeto están en reposo.

Ejercicio 31. Factor relativista para $v = 0,60c$

Nivel: básico **Idea clave:** calcular el factor de Lorentz

Momento en la superclase: 3:03:31

Índice de problemas

Una nave se mueve con velocidad:

$$v = 0,60c$$

Calcula el factor relativista γ .

Solución.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,60^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,64}} = \frac{1}{0,8} = 1,25$$

$\gamma = 1,25$

Ejercicio 32. Velocidad correspondiente a $\gamma = 2$

Nivel: medio **Idea clave:** despejar la velocidad a partir del factor relativista

Momento en la superclase: 3:07:07

Índice de problemas

El factor relativista de una partícula es:

$$\gamma = 2$$

Calcula su velocidad como fracción de c y en unidades del Sistema Internacional.

Solución.

$$2 = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Elevamos al cuadrado y despejamos:

$$4 = \frac{1}{1 - v^2/c^2}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4}$$

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2}c \approx 0,866c$$

$$v \approx 0,866 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \approx 2,60 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$v \approx 0,866c \approx 2,60 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ejercicio 33. Dilatación temporal entre dos señales

Nivel: básico **Idea clave:** distinguir tiempo propio y tiempo medido desde la Tierra

Momento en la superclase: 3:13:30

Índice de problemas

Una nave se mueve con velocidad $0,8c$. Un reloj situado en ella registra un intervalo propio:

$$\Delta\tau = 3,0 \cdot 10^3 \text{ s}$$

entre la emisión de dos señales desde el mismo punto de la nave. Calcula el intervalo medido desde la Tierra.

Solución.

Para $v = 0,8c$:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,8^2}} = \frac{1}{0,6} = \frac{5}{3}$$

Aplicamos la dilatación temporal:

$$\Delta t = \gamma \Delta\tau$$

$$\Delta t = \frac{5}{3} \cdot 3,0 \cdot 10^3 = 5,0 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\Delta t = 5,0 \cdot 10^3 \text{ s}$$

Ejercicio 34. Viaje relativista a una estrella

Nivel: medio **Idea clave:** combinar tiempo de viaje, dilatación temporal y contracción de longitudes

Momento en la superclase: 3:17:43

Índice de problemas

La distancia propia entre la Tierra y una estrella es:

$$L_0 = 2,4 \cdot 10^{17} \text{ m}$$

Una nave viaja a $v = 0,8c$. Calcula:

- a) el tiempo de viaje medido desde la Tierra;
- b) el tiempo medido por los astronautas;
- c) la distancia medida desde la nave.

Solución.

a) Tiempo desde la Tierra.

$$t_T = \frac{L_0}{v} = \frac{2,4 \cdot 10^{17}}{0,8 \cdot 3,0 \cdot 10^8} = 1,0 \cdot 10^9 \text{ s}$$

b) Tiempo de los astronautas.

Para $0,8c$, $\gamma = 5/3$:

$$\tau = \frac{t_T}{\gamma} = \frac{1,0 \cdot 10^9}{5/3} = 6,0 \cdot 10^8 \text{ s}$$

c) Distancia desde la nave.

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = \frac{2,4 \cdot 10^{17}}{5/3} = 1,44 \cdot 10^{17} \text{ m}$$

$$t_T = 1,0 \cdot 10^9 \text{ s}$$

$$\tau = 6,0 \cdot 10^8 \text{ s}$$

$$L = 1,44 \cdot 10^{17} \text{ m}$$

Ejercicio 35. Muones atmosféricos desde dos sistemas de referencia

Nivel: alto **Idea clave:** explicar un fenómeno real mediante dilatación temporal y contracción de longitudes

Momento en la superclase: 3:26:51

Índice de problemas

Un muón se crea a una altura:

$$h = 1,00 \cdot 10^4 \text{ m}$$

Su tiempo de vida propio es:

$$\tau_0 = 2,20 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

y se mueve hacia la superficie terrestre con velocidad:

$$v = 0,998c$$

Calcula:

- a) su tiempo de vida medio medido desde la Tierra;
- b) la distancia media recorrida desde la Tierra;
- c) la altura inicial medida desde el sistema del muón.

Solución.

El factor relativista es:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,998^2}} \approx 15,8$$

a) Vida media desde la Tierra.

$$\tau_T = \gamma \tau_0 = 15,8 \cdot 2,20 \cdot 10^{-6} \approx 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

b) Distancia recorrida desde la Tierra.

$$d_T = v \tau_T$$

$$d_T \approx 0,998 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} \approx 1,05 \cdot 10^4 \text{ m}$$

c) Altura medida por el muón.

$$h_\mu = \frac{h}{\gamma} = \frac{1,00 \cdot 10^4}{15,8} \approx 6,3 \cdot 10^2 \text{ m}$$

$$\tau_T \approx 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$d_T \approx 1,05 \cdot 10^4 \text{ m}$$

$$h_\mu \approx 6,3 \cdot 10^2 \text{ m}$$

Ejercicio 36. Composición relativista de velocidades

Nivel: medio **Idea clave:** componer velocidades sin superar la velocidad de la luz

Momento en la superclase: 3:34:54

Índice de problemas

Una nave se aleja de la Tierra a $0,8c$. Desde ella se lanza una sonda, en el mismo sentido, a $0,7c$ respecto de la nave. Calcula la velocidad de la sonda respecto de la Tierra.

Solución.

La suma clásica daría $1,5c$, resultado físicamente imposible. Usamos la composición relativista:

$$u = \frac{u' + v}{1 + u'v/c^2}$$

$$u = \frac{0,7c + 0,8c}{1 + 0,7 \cdot 0,8} = \frac{1,5}{1,56}c \approx 0,96c$$

En unidades del Sistema Internacional:

$$u \approx 0,96 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \approx 2,88 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$u \approx 0,96c \approx 2,88 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ejercicio 37. Energía en reposo del electrón

Nivel: básico **Idea clave:** aplicar la equivalencia entre masa y energía

Momento en la superclase: 3:39:18

Índice de problemas

Calcula la energía en reposo de un electrón en julios y en megaelectronvoltios.

Dato:

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Solución.

$$E_0 = m_e c^2$$

$$E_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \left(3,00 \cdot 10^8 \right)^2 \approx 8,20 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

Pasamos a megaelectronvoltios:

$$E_0 \approx \frac{8,20 \cdot 10^{-14}}{1,60 \cdot 10^{-13}} \approx 0,512 \text{ MeV}$$

$$E_0 \approx 8,20 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$E_0 \approx 0,512 \text{ MeV}$$

Ejercicio 38. Energías relativistas de un protón

Nivel: medio **Idea clave:** distinguir energía en reposo, total y cinética

Momento en la superclase: 3:42:51

Índice de problemas

Un protón se mueve con velocidad $0,6c$. Calcula:

- a) la energía en reposo;
- b) la energía total;
- c) la energía cinética.

Dato:

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Solución.

a) Energía en reposo.

$$E_0 = m_p c^2 \approx 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

b) Energía total.

Para $0,6c$, $\gamma = 1,25$:

$$E = \gamma E_0 \approx 1,25 \cdot 1,50 \cdot 10^{-10} \approx 1,88 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

c) Energía cinética.

$$K = E - E_0 \approx 1,88 \cdot 10^{-10} - 1,50 \cdot 10^{-10}$$

$$K \approx 3,8 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$E_0 \approx 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$E \approx 1,88 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$K \approx 3,8 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Ejercicio 39. Electrón con energía cinética de 1 MeV

Nivel: alto **Idea clave:** relacionar energía total, momento relativista y velocidad

Momento en la superclase: 3:47:45

Índice de problemas

Un electrón tiene una energía cinética:

$$K = 1,0 \text{ MeV}$$

Calcula:

- a) su energía total;
- b) su momento relativista;
- c) su velocidad.

Solución.

La energía en reposo del electrón es:

$$E_0 \approx 8,20 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

La energía cinética en julios es:

$$K = 1,0 \cdot 10^6 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

a) Energía total.

$$E = E_0 + K \approx 2,42 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

b) Momento relativista.

$$E^2 = p^2 c^2 + E_0^2$$

$$p = \frac{\sqrt{E^2 - E_0^2}}{c}$$

$$p \approx 7,59 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

c) Velocidad.

Como $p = \gamma m v$ y $E = \gamma m c^2$:

$$v = \frac{pc^2}{E}$$

$$v \approx 2,82 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$E \approx 2,42 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$p \approx 7,59 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

$$v \approx 2,82 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ejercicio 40. Energía cinética clásica frente a relativista

Nivel: alto **Idea clave:** medir el error de la aproximación clásica a gran velocidad

Momento en la superclase: 3:59:37

Índice de problemas

Un electrón se mueve con velocidad:

$$v = 0,9c$$

Calcula:

- su energía cinética clásica;
- su energía cinética relativista;
- el porcentaje en que la expresión clásica subestima el valor relativista.

Solución.

a) Energía cinética clásica.

$$K_{cl} = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$K_{cl} \approx 3,32 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

b) Energía cinética relativista.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,9^2}} \approx 2,29$$

$$K_{rel} = (\gamma - 1) m_e c^2$$

$$K_{rel} \approx 1,06 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

c) Porcentaje de subestimación.

$$\% \text{ de subestimación} = \frac{K_{rel} - K_{cl}}{K_{rel}} \cdot 100$$

$$\% \text{ de subestimación} \approx 68,6 \%$$

$$K_{\text{cl}} \approx 3,32 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$K_{\text{rel}} \approx 1,06 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\text{Subestimación} \approx 68,6 \%$$

Bloque E. Física nuclear, radiactividad, fisión y fusión

Qué aprenderás en este bloque.

Aprenderemos a interpretar la notación nuclear, calcular defectos de masa y energías de enlace, completar desintegraciones alfa y beta, calcular la energía liberada en reacciones de fisión y fusión y aplicar la ley de decaimiento radiactivo.

$$A = Z + N$$

$$E = \Delta m c^2$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Error frecuente. En las reacciones nucleares se conservan el número másico y la carga total. En una desintegración beta menos, el número másico no cambia y el número atómico aumenta en una unidad.

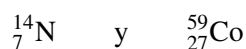
Ejercicio 41. Composición de núcleos atómicos

Nivel: básico **Idea clave:** interpretar el número atómico y el número másico

Momento en la superclase: 4:06:48

Índice de problemas

Indica el número de protones y de neutrones de los núcleos:



Solución.

Para un núcleo A_ZX :

$$Z = \text{número de protones}, \quad N = A - Z$$

Para el nitrógeno 14:

$$Z = 7, \quad N = 14 - 7 = 7$$

Para el cobalto 59:

$$Z = 27, \quad N = 59 - 27 = 32$$

$${}^1_7\text{N} : 7 \text{ protones y } 7 \text{ neutrones}$$

$${}^{59}_{27}\text{Co} : 27 \text{ protones y } 32 \text{ neutrones}$$

Ejercicio 42. Energía equivalente a una unidad de masa atómica

Nivel: básico **Idea clave:** aplicar $E = mc^2$ a la escala nuclear

Momento en la superclase: 4:10:04

Índice de problemas

Calcula la energía equivalente a una unidad de masa atómica y expresa el resultado en megaelectronvoltios.

Dato:

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Solución.

$$E = mc^2$$

$$E = 1,66 \cdot 10^{-27} (3,00 \cdot 10^8)^2$$

$$E = 1,494 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

Como $1 \text{ MeV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$:

$$E \approx \frac{1,494 \cdot 10^{-10}}{1,60 \cdot 10^{-13}} \approx 933,75 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ u } c^2 \approx 933,75 \text{ MeV}$$

Ejercicio 43. Energía de enlace del nitrógeno 15

Nivel: alto **Idea clave:** calcular defecto de masa, energía total de enlace y energía por nucleón

Momento en la superclase: 4:15:22

Índice de problemas

Para el isótopo ${}^{15}_7\text{N}$, de masa atómica 15,001089 u, calcula:

- el defecto de masa;
- la energía total de enlace;
- la energía de enlace por nucleón.

En la clase se emplean las masas:

$$m_p = 1,007276 \text{ u}, \quad m_n = 1,008665 \text{ u}$$

Solución.

El núcleo contiene 7 protones y 8 neutrones. El defecto de masa se calcula como:

$$\Delta m = 7m_p + 8m_n - M$$

Con los valores numéricos utilizados en la resolución del vídeo se obtiene:

$$\Delta m \approx 0,120143 \text{ u}$$

En kilogramos:

$$\Delta m \approx 0,120143 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \approx 1,994 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

La energía total de enlace es:

$$E_b = \Delta mc^2$$

$$E_b \approx 1,8 \cdot 10^{-11} \text{ J} \approx 112,5 \text{ MeV}$$

La energía por nucleón es:

$$\frac{E_b}{A} = \frac{112,5}{15} = 7,5 \text{ MeV/nucleón}$$

$$\Delta m \approx 0,120143 \text{ u}$$

$$E_b \approx 112,5 \text{ MeV}$$

$$E_b/A \approx 7,5 \text{ MeV/nucleón}$$

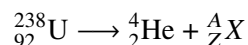
Ejercicio 44. Desintegración alfa del uranio 238

Nivel: básico **Idea clave:** conservar número másico y número atómico

Momento en la superclase: 4:23:15

Índice de problemas

Completa la desintegración alfa:



Solución.

Conservamos el número másico:

$$238 = 4 + A$$

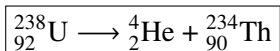
$$A = 234$$

Conservamos el número atómico:

$$92 = 2 + Z$$

$$Z = 90$$

El elemento de número atómico 90 es el torio:



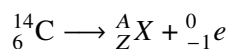
Ejercicio 45. Desintegración beta del carbono 14

Nivel: básico **Idea clave:** identificar el núcleo hijo en una desintegración beta menos

Momento en la superclase: 4:25:43

Índice de problemas

Completa la desintegración beta menos e identifica el núcleo hijo:



Solución.

El número másico se conserva:

$$14 = A + 0$$

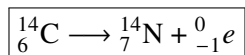
$$A = 14$$

La carga también se conserva:

$$6 = Z - 1$$

$$Z = 7$$

El elemento de número atómico 7 es el nitrógeno:



En una descripción más completa también se emite un antineutrino electrónico, aunque no se utiliza en el balance elemental realizado en la clase.

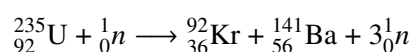
Ejercicio 46. Energía liberada en una fisión nuclear

Nivel: medio **Idea clave:** transformar un defecto de masa en energía

Momento en la superclase: 4:27:29

Índice de problemas

Considera la reacción:



Con las masas empleadas en la clase, calcula la energía liberada.

Solución.

El defecto de masa es:

$$\Delta m = m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}}$$

Usando los datos de la resolución se obtiene:

$$\Delta m \approx 0,1874 \text{ u}$$

La energía liberada es:

$$Q = \Delta mc^2$$

En julios:

$$Q \approx 0,1874 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \left(3,00 \cdot 10^8\right)^2$$

$$Q \approx 2,8 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

En megaelectronvoltios:

$$Q \approx 175 \text{ MeV}$$

$$Q \approx 2,8 \cdot 10^{-11} \text{ J} \approx 175 \text{ MeV}$$

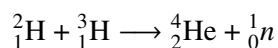
Ejercicio 47. Energía liberada en una fusión nuclear

Nivel: medio **Idea clave:** calcular la energía de la fusión de deuterio y tritio

Momento en la superclase: 4:32:36

Índice de problemas

Considera la reacción:



Datos:

$$m({}^2\text{H}) = 2,014102 \text{ u}$$

$$m({}^3\text{H}) = 3,016049 \text{ u}$$

$$m({}^4\text{He}) = 4,002603 \text{ u}, \quad m_n = 1,008665 \text{ u}$$

Solución.

$$\Delta m = 2,014102 + 3,016049 - 4,002603 - 1,008665$$

$$\Delta m = 0,018883 \text{ u}$$

La energía liberada es:

$$Q = \Delta mc^2$$

$$Q \approx 2,82 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

En megaelectronvoltios:

$$Q \approx 17,6 \text{ MeV}$$

$$Q \approx 2,82 \cdot 10^{-12} \text{ J} \approx 17,6 \text{ MeV}$$

Ejercicio 48. Constante de desintegración

Nivel: básico **Idea clave:** relacionar periodo de semidesintegración y constante de decaimiento

Momento en la superclase: 4:37:15

Índice de problemas

Una sustancia radiactiva tiene un periodo de semidesintegración:

$$T_{1/2} = 5 \text{ días}$$

Calcula su constante de desintegración.

Solución.

La ley de decaimiento es:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Al cabo de un periodo de semidesintegración:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

Aplicamos logaritmos:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5} \approx 0,139 \text{ d}^{-1}$$

$$\lambda \approx 0,139 \text{ d}^{-1}$$

Ejercicio 49. Masa radiactiva restante

Nivel: medio **Idea clave:** aplicar la ley exponencial de decaimiento

Momento en la superclase: 4:40:53

Índice de problemas

Una muestra radiactiva tiene masa inicial:

$$m_0 = 80 \text{ g}$$

Su periodo de semidesintegración es de 5 días. ¿Qué masa activa quedará después de 15 días?

Solución.

La constante de desintegración es:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5} \approx 0,139 \text{ d}^{-1}$$

Aplicamos:

$$m(t) = m_0 e^{-\lambda t}$$

$$m(15) = 80 e^{-0,139 \cdot 15} \approx 9,94 \text{ g}$$

$$m(15) \approx 9,94 \text{ g}$$

Usando exactamente tres periodos de semidesintegración, la masa es $80/2^3 = 10 \text{ g}$. La pequeña diferencia procede de redondear previamente λ a $0,139 \text{ d}^{-1}$, tal como se hizo durante la resolución en vídeo.

Ejercicio 50. Datación mediante carbono 14

Nivel: medio **Idea clave:** determinar la edad de un resto mediante decaimiento radiactivo

Momento en la superclase: 4:45:16

Índice de problemas

En unos restos animales se mide una actividad de carbono 14 igual al 25 % de la actividad que tendría el animal vivo. El periodo de semidesintegración del carbono 14 es:

$$T_{1/2} = 5730 \text{ años}$$

¿Hace cuántos años murió el animal?

Solución.

La constante de desintegración es:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5730} \approx 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ año}^{-1}$$

Como queda el 25 %:

$$0,25 = e^{-\lambda t}$$

Aplicamos logaritmos:

$$\ln(0,25) = -\lambda t$$

$$t = \frac{\ln 4}{\lambda}$$

Usando el valor redondeado de λ empleado en la clase:

$$t \approx 1,1457 \cdot 10^4 \text{ años}$$

$$t \approx 11457 \text{ años}$$

El 25 % equivale exactamente a dos semividas, por lo que el cálculo directo da $2 \cdot 5730 = 11460$ años. La diferencia de tres años procede del redondeo de la constante de desintegración.

Cierre de la colección

Qué hemos recorrido.

A lo largo de estos 50 problemas hemos pasado de la energía de un fotón a la datación de un resto mediante carbono 14. Hemos trabajado con fotones, presión de radiación, efecto fotoeléctrico, ondas de materia, incertidumbre, niveles atómicos, espectros, modelo de Bohr, relatividad especial, energía relativista, defectos de masa, fisión, fusión y radiactividad.

La estructura y la numeración de esta versión coinciden con la superclase grabada de **50 PROBLEMAS DE FÍSICA MODERNA**. Cada ejercicio incorpora la marca temporal correspondiente para poder alternar el estudio del PDF con la explicación en vídeo.

Clase completa en vídeo: [Abrir la superclase completa](#)

Fin de la colección.

50 problemas, cinco bloques y un recorrido completo por los fundamentos de la física moderna.