FÍSICA SELECTIVIDAD PAU ANDALUCÍA

10 Problemas Estrella Resueltos: Física Cuántica, Nuclear y Radiactividad

Dirección Pedagógica: D. José Garcés Ávila (Ingeniero Mecánico • Academia MJ)

ESTÁNDAR DE EXCELENCIA TÉCNICA (PAU ANDALUCÍA):
Este compendio recoge los 10 ejercicios oficiales más representativos de **Física Cuántica y Física Nuclear** en Selectividad Andalucía (2020-2026). Integra desarrollo analítico exhaustivo, factores de conversión exactos (eV, u, MeV, Bq), justificaciones teóricas y el recuadro **«La Trampa de la Ponencia»** para asegurar la máxima calificación.

■ LOS 4 MANDAMIENTOS TÉCNICOS EN CUÁNTICA Y NUCLEAR:
1. Efecto fotoeléctrico: La energía cinética Ec,max = hf - W■ depende SOLO de la frecuencia, jamás de la intensidad lumínica.
2. Conversión de unidades: 1 eV = 1,6·10■⁻¹■ J. Siempre operar con la constante de Planck en Julios (h = 6,63·10■⁻³■ J·s).
3. Criterio de estabilidad nuclear: La estabilidad NO depende de la energía total Ee, sino de la energía por nucleón (Ee / A).
4. Actividad en Becquerelios: 1 Bq = 1 desintegración/s. La constante λ = ln 2 / T■/■ debe expresarse en s■⁻¹ para calcular A = λ·N.

EJERCICIO OFICIAL #1: EFECTO FOTOELÉCTRICO EN CÉSIO: FRECUENCIA UMBRAL Y POTENCIAL DE FRENADO

Enunciado: *Una lámina de césio metálico con trabajo de extracción W■ = 2,14 eV se ilumina con luz monocromática de longitud de onda λ = 450 nm. Calcule: a) Frecuencia y longitud de onda umbral para que exista emisión fotoeléctrica. b) Energía cinética máxima (en eV y en J) y velocidad máxima de los fotoelectrones. c) Potencial de frenado para anular la fotocorriente. (h = 6,63·10■⁻³■ J·s; e = 1,6·10■⁻¹■ C; m_e = 9,1·10■⁻³¹ kg).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Frecuencia y longitud de onda umbral:
Trabajo de extracción en Julios: W■ = 2,14 · 1,6·10■⁻¹■ = **3,424·10■⁻¹■ J**.
Frecuencia umbral: **f■ = W■ / h = 3,424·10■⁻¹■ / 6,63·10■⁻³■ = 5,16·10¹■ Hz**.
Longitud de onda umbral máxima: **λ■ = c / f■ = (3·10■) / (5,16·10¹■) = 5,81·10■■ m = 581 nm**.

b) Energía cinética y velocidad máxima de fotoelectrones:
Energía del fotón incidente: E_f = (h·c) / λ = (6,63·10■⁻³■ · 3·10■) / (450·10■■) = 4,42·10■⁻¹■ J = **2,76 eV**.
Ecuación de Einstein: **E_c,max = E_f - W■ = 2,76 eV - 2,14 eV = 0,62 eV = 9,96·10■⁻²■ J**.
Velocidad máxima: **v_max = √[2·E_c,max / m_e] = √[(2 · 9,96·10■⁻²■) / (9,1·10■⁻³¹)] = 4,68·10■ m/s**.

c) Potencial de frenado (V■):
Por el principio de conservación de la energía: e · V■ = E_c,max ➔ **V■ = 0,62 V**.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Para haber emisión se requiere f ≥ f■ (o λ ≤ λ■). El potencial de frenado V■ coincide numéricamente en voltios con la energía cinética máxima expresada en electronvoltios (0,62 V = 0,62 eV / e).

EJERCICIO OFICIAL #2: DUALIDAD ONDA-CORPÚSCULO: LONGITUD DE ONDA DE DE BROGLIE

Enunciado: *a) Calcule la longitud de onda de De Broglie asociada a un electrón acelerado desde el reposo con $\Delta V = 150$ V. b) Calcule la longitud de onda de De Broglie de un proyectil de m = 10 g con velocidad v = 400 m/s. c) Compare ambos resultados y justifique por qué los efectos ondulatorios solo se aprecian a escala subatómica.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Electrón acelerado por diferencia de potencial:

Energía cinética adquirida: $E_c = q \cdot \Delta V = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 150 = 2{,}40 \cdot 10^{-17}$ J.

Momento lineal: $p = \sqrt{(2 \cdot m_e \cdot E_c)} = \sqrt{[2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 2{,}40 \cdot 10^{-17}]} = 6{,}61 \cdot 10^{-24}$ kg·m/s.

Longitud de onda de De Broglie: $\lambda_{\mathbf{e}} = \mathbf{h / p = 6{,}63 \cdot 10^{-34} / 6{,}61 \cdot 10^{-24} = 1{,}00 \cdot 10^{-10}\ m = 0{,}10\ nm\ (1{,}0\ Å)}$.

b) Proyectil macroscópico (m = 0,01 kg, v = 400 m/s):

Momento lineal: $p = m \cdot v = 0{,}01 \cdot 400 = 4{,}0$ kg·m/s.

Longitud de onda: $\lambda_{\mathbf{p}} = \mathbf{h / p = 6{,}63 \cdot 10^{-34} / 4{,}0 = 1{,}66 \cdot 10^{-34}\ m}$.

c) Justificación de la escala cuántica:

Para el electrón, $\lambda_e \sim 10^{-10}$ m coincide con las distancias interatómicas de sólidos cristalinos, produciendo difracción observable. Para el proyectil, $\lambda_p \sim 10^{-34}$ m es millones de veces menor que el tamaño nuclear ($\sim 10^{-10}$ m), siendo completamente indetectable.

La Trampa de la Ponencia: Convertir la masa del proyectil a kilogramos (10 g = 0,01 kg). Deducir p a partir de $q \cdot \Delta V$ empleando la relación no relativista $p = \sqrt{(2mE_c)}$.

EJERCICIO OFICIAL #3: PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE DE HEISENBERG Y CONCEPTO DE ORBITAL

Enunciado: *a) Enuncie el Principio de Incertidumbre de Heisenberg. b) Si la posición de un electrón se determina con una precisión de $\Delta x = 1{,}0 \cdot 10^{-10}$ m (orden atómico), calcule la indeterminación mínima en su velocidad. c) Justifique razonadamente por qué no tiene sentido físico hablar de órbitas electrónicas clásicas definidas.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Enunciado formal:

Es imposible conocer simultáneamente y con precisión ilimitada la posición y el momento lineal en una misma dirección espacial: $\mathbf{\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar / 2 = h / (4\pi)}$.

b) Incertidumbre en la velocidad:

Como $\Delta p_x = m_e \cdot \Delta v_x$: $\Delta x \cdot (m_e \cdot \Delta v_x) \geq h / (4\pi)$.

$\mathbf{\Delta v_x \geq h / [4\pi \cdot m_e \cdot \Delta x] = 6{,}63 \cdot 10^{-34} / [4\pi \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-10}] = 5{,}79 \cdot 10^{6}\ m/s}$.

c) Justificación de la superación de las órbitas de Bohr:

La indeterminación en la velocidad ($\Delta v \sim 5{,}8 \cdot 10^{6}$ m/s) es del mismo orden de magnitud que la propia velocidad del electrón. Por tanto, **es imposible definir una trayectoria orbital continua** de radio y velocidad simultáneos. Se sustituye el concepto de órbita por el de **orbital atómico**, definido por la densidad de probabilidad $|\Psi|^2$ de la función de onda.

La Trampa de la Ponencia: Usar la cota con $\hbar/(4\pi)$ y no con $\hbar$. Explicar el tránsito de órbita determinista a orbital probabilístico es motivo de puntuación teórica completa.

EJERCICIO OFICIAL #4: MODELO DE BOHR: TRANSICIONES ELECTRÓNICAS Y ESPECTRO DE EMISIÓN

Enunciado: *Los niveles de energía del átomo de hidrógeno cumplen $E_n = -13,6 / n^2$ eV (n = 1, 2, 3...). a) Calcule la longitud de onda y frecuencia del fotón emitido al transitar de n = 3 a n = 1 (Lyman). b) Indique la región espectral correspondiente. c) Calcule la energía de ionización desde el estado fundamental.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Transición n = 3 ➔ n = 1:
$E_3 = -13,6 / 1^2 = -13,6$ eV. $E_1 = -13,6 / 3^2 = -1,51$ eV.
Energía del fotón: $\Delta E = E_1 - E_3 = -1,51 - (-13,6) = 12,09$ eV $= 1,934 \cdot 10^{-18}$ J.
Frecuencia: $f = \Delta E / h = 1,934 \cdot 10^{-18} / 6,63 \cdot 10^{-34} = 2,92 \cdot 10^{15}$ Hz.
Longitud de onda: $\lambda = c / f = 3 \cdot 10^8 / 2,92 \cdot 10^{15} = 1,03 \cdot 10^{-7}$ m = 102,7 nm.

b) Región del espectro electromagnético:
Al tener $\lambda \approx 103$ nm (< 380 nm), la radiación se sitúa en el **Ultravioleta** (Serie de Lyman).

c) Energía de ionización desde el estado fundamental (n = 1 a n = ∞):
$E_{ion} = E_\infty - E_1 = 0 - (-13,6$ eV$) = +13,6$ eV $= 2,18 \cdot 10^{-18}$ J.

La Trampa de la Ponencia: La energía del fotón es siempre positiva ($\Delta E = |E_{final} - E_{inicial}|$). Lyman = ultravioleta; Balmer = visible; Paschen = infrarrojo.

EJERCICIO OFICIAL #5: DEFECTO DE MASA, ENERGÍA DE ENLACE Y ESTABILIDAD NUCLEAR

Enunciado: *Calcule el defecto de masa, energía de enlace total y energía por nucleón para He-4 (M = 4,00150 u) y Fe-56 (M = 55,92066 u). Justifique razonadamente cuál es más estable. ($m_p = 1,00728$ u; $m_n = 1,00866$ u; 1 u·c^2 = 931,5 MeV).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Helio-4 (Z = 2, N = 2, A = 4):
Masa nucleones separados: 2·(1,00728) + 2·(1,00866) = 4,03188 u.
Defecto de masa: $\Delta m = 4,03188 - 4,00150 = 0,03038$ u.
Energía de enlace total: $E_e = 0,03038 \cdot 931,5 =$ **28,30 MeV**.
Energía por nucleón: $E_e / A = 28,30 / 4 =$ **7,07 MeV/nucleón**.

b) Hierro-56 (Z = 26, N = 30, A = 56):
Masa nucleones: 26·(1,00728) + 30·(1,00866) = 56,44908 u.
Defecto de masa: $\Delta m = 56,44908 - 55,92066 = 0,52842$ u.
Energía de enlace total: $E_e = 0,52842 \cdot 931,5 =$ **492,22 MeV**.
Energía por nucleón: $E_e / A = 492,22 / 56 =$ **8,79 MeV/nucleón**.

c) Criterio de Estabilidad:
El núcleo más estable es el **Hierro-56** porque su **energía de enlace por nucleón (8,79 MeV/nucleón)** es superior a la del Helio-4 (7,07 MeV/nucleón). La estabilidad no depende de la energía total, sino de la energía por nucleón.

La Trampa de la Ponencia: Afirmar que Fe-56 es más estable por tener mayor energía total E_e es un error común. El único criterio válido de estabilidad es la relación E_e / A.

EJERCICIO OFICIAL #6: LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA Y PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

Enunciado: *Una muestra radiactiva contiene $N_0 = 4 \cdot 10^2$ núcleos y tiene un periodo de semidesintegración $T_{1/2} = 12$ días. Calcule: a) Constante de desintegración λ (en s^{-1} y $días^{-1}$). b) Núcleos restantes tras 36 días. c) Tiempo para que la muestra se reduzca al 10% inicial.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Constante de desintegración radiactiva:
$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0{,}69315 / 12$ días $= 5{,}78 \cdot 10^{-2}$ días$^{-1} = 6{,}69 \cdot 10^{-7}$ s^{-1}.

b) Núcleos restantes a los 36 días (t = 3 · $T_{1/2}$):
Como han transcurrido 3 periodos exactos: $N(36\text{ d}) = N_0 \cdot (½)^3 = 4 \cdot 10^2 / 8 =$ **$5{,}00 \cdot 10^1$ núcleos**.

c) Tiempo para reducirse al 10% ($N / N_0 = 0{,}10$):
$N / N_0 = e^{-\lambda t} \rightarrow \ln(0{,}10) = -\lambda \cdot t \rightarrow$ **$t = -\ln(0{,}10) / \lambda = 2{,}3026 / 0{,}05776$ días$^{-1} = 39{,}86$ días**.

La Trampa de la Ponencia: Expresar λ en s^{-1} si se va a operar con unidades del S.I. Para fracciones intermedias (10%) debe aplicarse siempre la ecuación logarítmica neperiana.

EJERCICIO OFICIAL #7: ACTIVIDAD RADIACTIVA Y DATACIÓN ARQUEOLÓGICA POR CARBONO-14

Enunciado: *Una muestra de madera arqueológica presenta una actividad de 3,6 dpm/g (desintegraciones por minuto y gramo), mientras que la madera viva tiene 15,3 dpm/g. Sabiendo que $T_{1/2}$ del C-14 es 5730 años, determine la antigüedad del resto.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

Constante radiactiva del Carbono-14:
$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0{,}69315 / 5730$ años = **$1{,}21 \cdot 10^{-4}$ años^{-1}**.
Ley de actividad radiactiva:
$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow A / A_0 = e^{-\lambda t} \rightarrow \ln(A / A_0) = -\lambda \cdot t$.
$\ln(3{,}6 / 15{,}3) = \ln(0{,}2353) = -1{,}4469 = -(1{,}21 \cdot 10^{-4}) \cdot t$.
$t = 1{,}4469 / (1{,}21 \cdot 10^{-4}$ años$^{-1}) = 11.958$ años ($\approx$ 12.000 años de antigüedad).

La Trampa de la Ponencia: Al trabajar con el cociente A/A_0 las unidades se cancelan, permitiendo operar directamente en dpm/g y obtener el tiempo directamente en años sin pasar a segundos.

EJERCICIO OFICIAL #8: FISIÓN NUCLEAR DEL URANIO-235 Y BALANCE ENERGÉTICO

Enunciado: *El U-235 fisiona con un neutrón térmico según: ^{23}■■■U + ^{1}■n → ^{1}■^{1}■■Ba + ■^{2}■■Kr + 3 ^{1}■n. a) Verifique la conservación de A y Z. b) Calcule la energía liberada por núcleo en MeV y J. c) Calcule la energía liberada por 1 kg de U-235. (M(U)=235,0439 u; M(Ba)=140,9144 u; M(Kr)=91,9261 u; m_n=1,0087 u; N_A=6,022·10^{23}).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Conservación de A y Z:
Balance A: 235 + 1 = 236 → 141 + 92 + 3(1) = 236 (Conservado).
Balance Z: 92 + 0 = 92 → 56 + 36 + 3(0) = 92 (Conservado).

b) Energía liberada por núcleo fisionado:
Masa reactivos: 235,0439 + 1,0087 = 236,0526 u.
Masa productos: 140,9144 + 91,9261 + 3·(1,0087) = 235,8666 u.
Defecto de masa: Δm = 236,0526 - 235,8666 = **0,1860 u**.
Energía liberada: **Q = 0,1860 · 931,5 = 173,26 MeV = 2,77·10■^{11} J/núcleo**.

c) Energía por 1 kg de U-235 puro (M_mol = 235 g/mol):
N = (1000 / 235) · 6,022·10^{23} = 2,563·10^{2}■ núcleos.
E_tot = 2,563·10^{2}■ · 2,77·10■^{11} J = 7,10·10^{13} J (71 TJ) (equivalente a 2000 t de carbón).

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Restar los 3 neutrones liberados en los productos. El balance de masa es reactivos menos productos para que dé energía liberada positiva.

EJERCICIO OFICIAL #9: FUSIÓN NUCLEAR SOLAR Y RENDIMIENTO ENERGÉTICO ESPECÍFICO

Enunciado: *La reacción de fusión solar es: 4 ^{1}■p → ■■He + 2 ■■■e + 2 ν. Calcule la energía desprendida por cada helio formado y demuestre por qué la fusión es energéticamente más rentable por unidad de masa que la fisión de U-235. (m_p=1,00728 u; M(He)=4,00150 u; m(e+)=0,00055 u).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Energía liberada en la reacción de fusión:
Masa reactivos: 4 · 1,00728 = 4,02912 u.
Masa productos: 4,00150 + 2·(0,00055) = 4,00260 u.
Defecto de masa: Δm = 4,02912 - 4,00260 = **0,02652 u**.
Energía liberada: **Q = 0,02652 · 931,5 = 24,70 MeV**.

b) Rendimiento específico por nucleón (Fusión vs Fisión):
• **Fusión:** 24,70 MeV / 4 nucleones = **6,18 MeV/nucleón**.
• **Fisión:** 173,26 MeV / 236 nucleones = **0,73 MeV/nucleón**.
Conclusión: La fusión libera aproximadamente **8,5 veces más energía por unidad de masa** que la fisión nuclear.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Contabilizar los dos positrones en la masa de productos. Comparar la energía por nucleón (MeV/u) para justificar el rendimiento de fusión vs fisión.

EJERCICIO OFICIAL #10: LEYES DE CONSERVACIÓN EN RADIACTIVIDAD (ALFA, BETA Y GAMMA)

Enunciado: *Complete las reacciones: 1) $^{22}\blacksquare\blacksquare\blacksquare Ra \rightarrow {}^{222}\blacksquare\blacksquare Rn + X$; 2) $^{1}\blacksquare\blacksquare C \rightarrow Y + \blacksquare\blacksquare\blacksquare e + \nu\blacksquare$; 3) $^{11}\blacksquare C \rightarrow Z + \blacksquare\blacksquare\blacksquare e + \nu$. Explique el poder ionizante y de penetración de las radiaciones alfa, beta y gamma.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Identificación de núcleos y partículas emitidas:

1. A = 226 - 222 = 4; Z = 88 - 86 = 2 ➔ **X = $\blacksquare\blacksquare He^{2}\blacksquare$ o partícula alfa (α)**.
2. A = 14; Z = 6 - (-1) = 7 ➔ **Y = $^{1}\blacksquare\blacksquare N$ (Emisión beta menos, $\beta\blacksquare$)**.
3. A = 11; Z = 6 - (+1) = 5 ➔ **Z = $^{11}\blacksquare B$ (Emisión beta más, $\beta\blacksquare$)**.

b) Poder ionizante y de penetración:

• **Alfa (α):** Núcleos de helio. Carga +2e, muy ionizantes, pero **mínimo poder de penetración** (detenidas por una hoja de papel).
• **Beta (β):** Electrones o positrones rápidos. Penetración media (detenidas por láminas de aluminio).
• **Gamma (γ):** Fotones de alta energía. Sin carga ni masa. Poco ionizantes pero con **altísimo poder de penetración** (requieren blindaje de plomo u hormigón).

■■ La Trampa de la Ponencia: En emisión $\beta\blacksquare$ el número atómico Z aumenta en 1 (Z ➔ Z+1). En emisión $\beta\blacksquare$ el número Z disminuye en 1 (Z ➔ Z-1).

CONCEPTO / FÓRMULA	EXPRESIÓN CLAVE (S.I.)	OBSERVACIONES DE EXAMEN
Efecto Fotoeléctrico	h·f = W■ + ½ m v²_max = h·f■ + e·V■	Ec,max depende de f, NO de la intensidad
Longitud de De Broglie	$\lambda = h / p = h / \sqrt{(2 \cdot m \cdot q \cdot \Delta V)}$	Observable solo en escala microscópica
Incertidumbre Heisenberg	$\Delta x \cdot \Delta p \geq h / (4\pi)$	Invalida órbitas ➔ Introduce orbitales
Defecto de Masa y Enlace	$Ee = \Delta m \cdot c^2$ (1 u · c² = 931,5 MeV)	Estabilidad gobernada por Ee / A (Fe-56 máx)
Ley Radiactiva y Actividad	N(t) = N■·e^(-λt) ; A(t) = λ·N(t)	λ = ln 2 / T■/■ ; Actividad en Bq ($s\blacksquare^{1}$)

DIRECCIÓN PEDAGÓGICA Y CRITERIOS OFICIALES: D. JOSÉ GARCÉS ÁVILA
Ingeniero Mecánico • Director Pedagógico de Academia MJ.
Preparación presencial de grupos reducidos en Santa Fe (Granada) e intensivos PAU Andalucía.
Canal Oficial de WhatsApp: +34 679 71 06 64 • Web: academia-santafe.es