

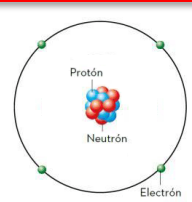
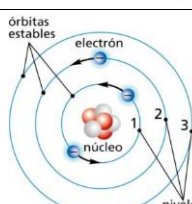
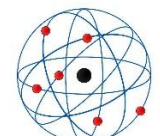
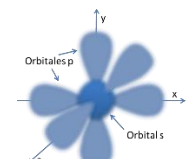


Introducción

MODELOS ATÓMICOS		EXPERIENCIAS	EXPLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	
Partícula indivisible	<i>Demócrito</i> (s. V a.C.)	Ninguna, fue una hipótesis		La materia no puede dividirse indefinidamente	
Esfera maciza	<i>Dalton</i> (1808)	En todas las reacciones químicas se obtienen proporciones sencillas	La materia está formada por partículas indivisibles llamadas átomos		Los elementos químicos son átomos distintos que se agrupan en moléculas
Pastel de pasas	<i>Thomson</i> (1904)	Con tubos de descarga de gases se obtienen haces de partículas que se desvían (rayos catódicos)	Existen cargas (-) y (+)		El átomo es neutro pero se divide en una esfera (+) embebida de electrones (-)
Nuclear o planetario	<i>Rutherford</i> (1911)	Al bombardear una fina lámina de oro con emisiones radiactivas (partículas α) la mayoría no se desvía, muy pocas sí y casi ninguna rebota	Existe un núcleo positivo muy pequeño y pesado En 1920 propuso la existencia del neutrón y en 1932 fue descubierto por <i>Chadwick</i>		El átomo tiene un núcleo muy denso de protones (+) y neutrones (0) y una corteza circular de electrones (-)
Cuántico	<i>Bohr</i> (1913)	La luz de elementos incandescentes se descompone con un espectrómetro en líneas de colores, distintas para cada elemento (espectro de emisión)	Salto en la emisión de energías (Física cuántica)		Los electrones solo están en algunas órbitas (niveles energéticos)
Órbitas elípticas y estructura fina	<i>Sommerfeld</i> (1915)	Espectrómetros más precisos detectan un desdoblamiento de las líneas espectrales	Niveles energéticos divididos en subniveles muy próximos		Las órbitas son elípticas y se desdoblan
Orbitales	<i>Schrödinger</i> (1926)	Basado en la Física cuántica: Principio de incertidumbre e Hipótesis sobre la naturaleza ondulatoria de la materia			Los electrones están en una región de probabilidad llamada orbital

PARTÍCULAS ATÓMICAS		MASA	CARGA ELÉCTRICA
protón	$m_p = 1,007276467 \text{ u}$	$m_n \approx m_p$	$q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
neutrón	$m_n = 1,008664916 \text{ u}$		$q_n = 0$
electrón	$m_e = 0,000548580 \text{ u}$	$m_p \approx 1836 \cdot m_e$	$q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Unidad de masa atómica:

$$1 \text{ u} \equiv \frac{m(^{12}_6\text{C})}{12} = \frac{12/N_A}{12} = \frac{1}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

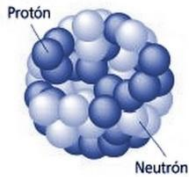
INTERACCIONES FUNDAMENTALES	INTENSIDAD RELATIVA	ALCANCE	SENTIDO	APLICACIÓN
nuclear fuerte	10^{45}	$\sim 10^{-15} \text{ m}$	atractivo	nucleones
electromagnética	10^{42}	∞	atractivo y repulsivo	cargas eléctricas
nuclear débil	10^{37}	$\sim 10^{-7} \text{ m}$	atractivo y repulsivo	partículas radiactivas
gravitatoria	1	∞	atractivo	masas

Física nuclear

Reseña histórica (fenómenos descubiertos a principios del s. XX inexplicables en el marco de la Física clásica)

- 1895 *Roentgen* descubre los **rayos X**. Después se sabrá que no es un fenómeno nuclear, sino saltos de electrones de un nivel a otro
- 1896 *Becquerel* descubre la **radiactividad** al intentar determinar si las sales luminiscentes de uranio emiten rayos X
- 1898 *Marie y Pierre Curie* descubren el **polonio** y el **radio**, dos nuevos elementos radiactivos
- 1898 *Thomson* descubre el **electrón**
- 1896 *Rutherford* descubre los **rayos α y β** . Después se conocerá que son respectivamente núcleos de helio (He^{2+}) y electrones (e^-)
- 1900 *Villard* demuestra la existencia de los **rayos γ** constituidas por fotones de alta energía

El núcleo atómico



$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$
 También: $X-A$ A : número másico A nucleones $\left\{ \begin{matrix} Z \text{ protones} \\ N \text{ neutrones} \end{matrix} \right.$ $A = Z + N$
 Ej: $^{14}\text{C} = \text{C}-14$ Z : número atómico

Nucleido o núclido: Cada una de las posibles agrupaciones de nucleones.
Isótopos: Núclidos con igual Z y distinto A . Presentan idénticas propiedades químicas.
 [Isótopos del hidrógeno: $^1_1\text{H} = \text{H}-1$: protio, $^2_1\text{H} = \text{H}-2$: deuterio, $^3_1\text{H} = \text{H}-3$: tritio]

Comparación núcleo-átomo

- **Masa:** $m_n \sim m_{at}$
- **Carga eléctrica:** $q_n = +Ze$ $q_{at} = \pm ze$ (q : carga iónica)

• **Radio** del núcleo en función del número másico A : $R_n \approx 1,2 \cdot A^{1/3} \text{ fm}$
 Núcleos pequeños $\sim 10^{-15} \text{ m} \equiv 1 \text{ fm}$ (femtómetro/fermi, en honor a *Fermi*)
 $R_n \sim 10^{-4} R_{at}$

	R_{at}	R_n	R_{at} / R_n
H	$5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$	$1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$	≈ 44000
U	$1,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$	$7,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$	≈ 20000

• **Densidad** del núcleo: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\frac{4}{3} \pi R^3} = 2,4 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ Los núcleos son esféricos, con bordes difusos.
 $\rho_n \sim 10^{12} \rho_{at}$ [Una cabeza de alfiler compuesta solo por núcleos tendría la masa de 25 veces el *Titanic*]

• Interacciones responsables de la constitución del átomo (electromagnética, e.m.) y del núcleo:
Interacción nuclear fuerte: $\sim 10^3$ veces más intensa que la e.m., de muy corto alcance ($\sim 10^{-15} \text{ m}$) y atractiva.

• **Energía puesta en juego** en procesos atómicos y nucleares:
 $E_n \sim 10^6 E_{at}$ $E_n \sim \text{MeV}$ $E_{at} \sim \text{eV}$ (electronvoltio) $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ($E_p = qV = \text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1\text{V}$)

Equivalencia entre masa y energía: $E = m \cdot c^2$ [Equivalente energético de 1 u: **931,5 MeV/u**]

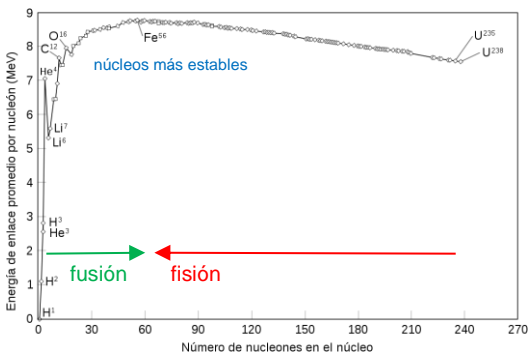
Reacción nuclear: $R \rightarrow P + \Delta E$; $\Delta m = m_p - m_R$; $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$
 Si $m_p < m_R$; $\Delta m < 0$; $\Delta E < 0$ energía liberada
 Si $m_p > m_R$; $\Delta m > 0$; $\Delta E > 0$ energía absorbida

Estabilidad de un núcleo (dificultad para descomponerse)

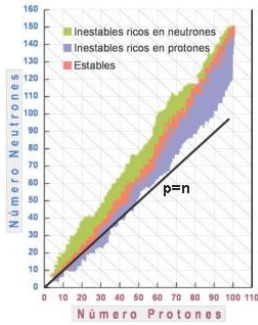
Se ha comprobado que la masa de los núcleos es menor que la suma de la masa de los nucleones.
Defecto másico: $\Delta m = m_{\text{nucleones}} - m_{\text{núcleo}}$ Reacción de descomposición del núcleo: $^A_Z X \rightarrow Z \cdot p + (A-Z) \cdot n$

Energía de enlace: $\Delta E = (m_{\text{nucleones}} - m_{\text{núcleo}}) \cdot c^2$ Es la E necesaria para descomponer un núcleo en sus nucleones.
Energía de enlace por nucleón: $E_{\text{nucleón}} = \Delta E / A$. Es la E necesaria para extraer un nucleón del núcleo.

Energía de enlace por nucleón en función del número másico A (Gráfica experimental)



- Muestra la **estabilidad relativa de los núcleos atómicos**.
- Cuanto mayor es $\Delta E/A$ más estable es el núcleo.
- **Fusión nuclear** (unión de núcleos pequeños en uno mediano)
 Se produce aplicando mucha energía y se libera muchísima más.
 Ej. Estrella / bomba H: $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + E$
 Reactivos abundantes, residuos inocuos, no confinable [¿lo será?]
- **Fisión nuclear** (ruptura de un núcleo grande en otros medianos)
 Se induce bombardeando con neutrones y se libera mucha energía.
 Ej. Reactor / bomba A: $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n} + E$
 Reactivos escasos, residuos radiactivos, controlable [¿necesaria?]

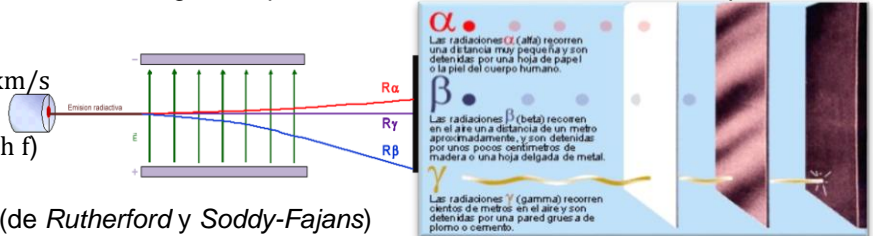


En los núcleos pequeños, el número de protones y neutrones es el mismo. A medida que aumenta el número de protones crece el número de neutrones. El papel de los neutrones en los núcleos es dar estabilidad al mismo. Si en el núcleo solo hubiera protones la repulsión electrostática lo desintegraría.

Radiactividad: Los núcleos se desintegran formando otros menores y emitiendo "rayos".
Interacción nuclear débil: Explica este proceso. Alcance: $\sim 10^{-7}$ m. Atractiva y repulsiva.
Radiactividad natural: Núcleos inestables que se desintegran espontáneamente. Los núcleos son inestables a partir del ^{83}Bi y se estabilizan emitiendo partículas α o β . Los neutrones son inestables: emiten electrones (β) y se convierten en protones.
Radiactividad artificial: Desintegración producida bombardeando núcleos con partículas.

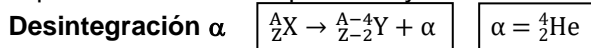
Emisión radiactiva:

Partículas α : núcleos de Helio a 16000 km/s
Partículas β : electrones a 260000 km/s
Rayos γ : o.e.m. de alta energía ($E=h f$)

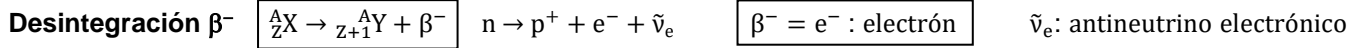


Leyes del desplazamiento radiactivo (de Rutherford y Soddy-Fajans)

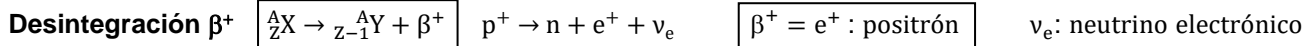
1. "Cuando un núcleo radiactivo emite una partícula alfa (α), el elemento se desplaza dos lugares a la izquierda en el sistema periódico y su masa disminuye en aproximadamente cuatro unidades"



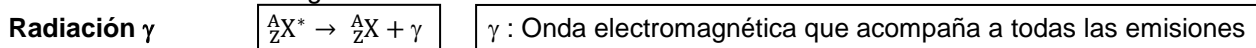
2. "Cuando un núcleo radiactivo emite un electrón beta (β), el elemento resultante se desplaza un lugar a la derecha en el sistema periódico y su masa es prácticamente igual"



Posteriormente se descubrió la desintegración beta + (β^+). El núcleo se desplaza un lugar hacia la izquierda.

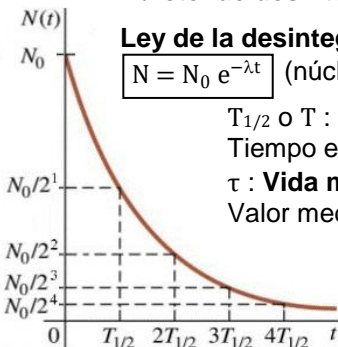


3. "Cuando un núcleo radiactivo excitado energéticamente emite una radiación gamma (γ), se desexcita pero no sufre transmutación alguna"



Desintegración de una sustancia radiactiva

$A = \lambda N$ **A: Actividad:** Núcleos desintegrados por segundo. USI: Bq (becquerel) 1 Ci (curio) = $3,67 \cdot 10^{10}$ Bq
 λ : cte. de desintegración o decaimiento: Probabilidad de que un núcleo se desintegre en 1 s. USI: s^{-1}



Ley de la desintegración radiactiva: Si en $t=0$ hay N_0, A_0, m_0, n_0 al cabo de un tiempo t habrá:
 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ (núcleos) $A = A_0 e^{-\lambda t}$ (actividad) $m = m_0 e^{-\lambda t}$ (masa) $n = n_0 e^{-\lambda t}$ (mol)

$T_{1/2}$ o T : **Periodo de semidesintegración** (semivida).
Tiempo en que se desintegran la mitad de los núcleos.
 τ : Vida media.
Valor medio de la duración de los núcleos.

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

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Recuerda	
$m = n M_{at}$	
$N = n N_A$	
$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$	

Ej: **Datación.** Ej. La antigüedad de un fósil que tiene el 15% de ^{14}C ($T_{1/2} = 5730$ a) de una muestra viva es $t = -\frac{\ln(N/N_0)}{\lambda} = -\frac{\ln(N/N_0)}{\ln 2} T_{1/2} = -\frac{\ln 0,15}{\ln 2} 5730 \text{ a} \approx 15680$ años

[Reflexiones:]

¿Cómo pueden coexistir protones en un núcleo? ¿Qué fuerzas son responsables de compactar tanto la materia? ¿Cómo se explica la emisión de electrones por los núcleos? ¿Son elementales los nucleones?

Isótopos del accidente de Chernobyl (1986)	^{131}I	^{134}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{133}Xe	^{239}Pu
Periodo de semidesintegración $T_{1/2}$	8 d	2 a	28 a	30 a	600 a	24000 a

Usos de la Física nuclear

Reactor nuclear
(dibujo)

Comparación de las reacciones de fusión y fisión
(tabla)

Pág. 1

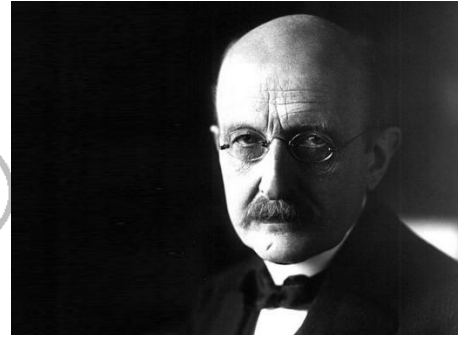
Radioisótopos:

Usos
Efectos biológicos
Unidades de medida

Pág. 2

[Trabajo: en una hoja, a mano]

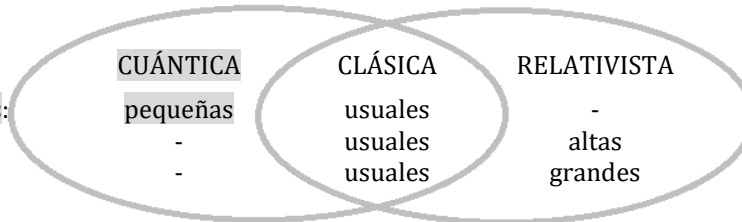
Física cuántica



Max Planck

TEORÍA:

dimensiones:
velocidades:
masas:

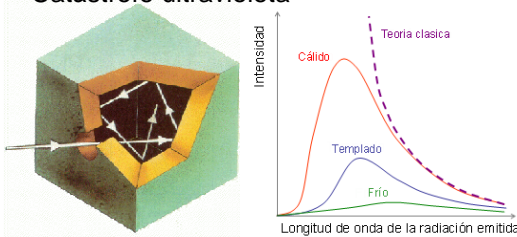


Es un modelo que permite explicar la realidad de lo microscópico.

También puede aplicarse a lo visible y a lo macroscópico (Cosmología cuántica).

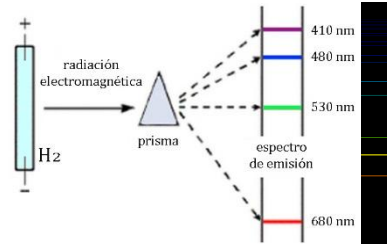
Fenómenos inexplicables en el marco de la Teoría clásica (crisis de la Física clásica):

1 **Radiación térmica** o del cuerpo negro
Catástrofe ultravioleta



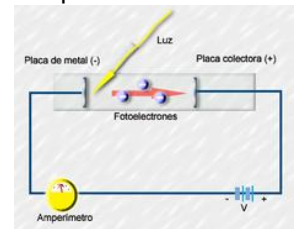
4 Efecto Compton

2 **Espectros discontinuos**



6 Creación y aniquilación de pares

3 **Efecto fotoeléctrico**
Experiencia de Hertz



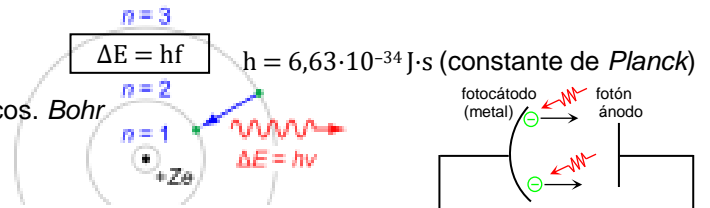
7 Otros

Explicación con nuevos conceptos:

CUANTIZACIÓN DE LA ENERGÍA

1 **Cuantos. Hipótesis de Planck.** $E = nhf$ $n = 1, 2, \dots$

2 **Modelo de átomo cuantizado** o de niveles energéticos. Bohr

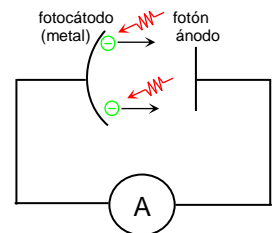


DUALIDAD ONDA-MATERIA

3 **Propiedades corpusculares de la radiación** → Fotones (cuantos de luz)

Efecto fotoeléctrico. Einstein

Hechos experimentales	Según la Teoría clásica debería ocurrir	Interpretación
a) La emisión es inmediata, como en los choques.	a) La energía de la luz se acumula y al tiempo arranca electrones.	Un fotón choca con un solo electrón, lo arranca del metal y le comunica velocidad. Conservación de la energía: $E_{\text{fotón}} = T_0 + E_{C\text{máx}}$ $hf = hf_0 + \frac{1}{2}mv_{\text{máx}}^2$ $T_0 = hf_0$ T_0 : Trabajo de extracción o función trabajo. f_0 : Frecuencia umbral. Depende del metal.
b) Por mucha energía que incida, si la frecuencia no supera la umbral, no hay emisión.	b) Siempre que haya energía suficiente se arrancan electrones.	
c) Más intensidad de luz arranca más electrones pero no más rápidos.	c) Más intensidad de luz (más energía) aporta más energía cinética a los electrones.	
d) A mayor frecuencia de la radiación incidente, mayor velocidad de los electrones.	d) El color (la frecuencia de la radiación) no debería afectar a la emisión.	



• **Propiedades ondulatorias de las partículas** → Ondas de materia.

Hipótesis de De Broglie: $\lambda_{\text{asociada}} = h/p$ Las ondas asociadas a las partículas visibles no son considerables.

$p \equiv mv$: momento lineal

• **Producción y aniquilación de pares** → Materia y antimateria. Ej: $e^- + e^+ \leftrightarrow \gamma + \gamma$ Aplicación: TAC (tomografía)

CONCEPCIÓN PROBABILISTA en lugar de determinista

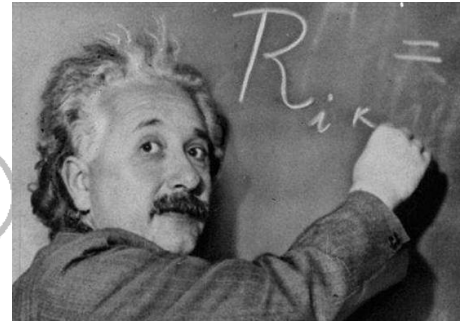
• **Principio de incertidumbre** o indeterminación. Heisenberg

Si se miden simultáneamente algunos pares de magnitudes, como **posición** (x) y **momento lineal** (p) o como energía (E) y tiempo (t), **no puede conocerse exactamente el valor de las dos**. La precisión está limitada por el proceso de medida en sí, aún con instrumentos de medida ideales. Si la indeterminación (Δ) en la medida de una magnitud disminuye, en la otra aumenta: $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ y $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$ **Relación de indeterminación**

• **Función de onda.** Schrödinger

Un sistema cuántico está descrito por una **función matemática compleja Ψ** que nos proporciona la **probabilidad del resultado de una medida**. Además, no es posible una descripción más precisa de su estado.

Física relativista



TEORÍA:	CUÁNTICA	CLÁSICA	RELATIVISTA
dimensiones:	pequeñas	usuales	-
velocidades:	-	usuales	altas (R.especial)
masas:	-	usuales	grandes (R.general)

TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL (*Einstein*, 1905). O Teoría de la relatividad restringida. *Albert Einstein*
 Se llama teoría "especial" porque solo se aplica en el caso particular donde la gravedad es irrelevante.
 Es incompatible con la idea clásica de interacción a distancia que presupone una velocidad de propagación infinita.
 Surge de la contradicción entre el principio de relatividad de *Galileo* y el experimento de *Michelson-Morley*.

Principio de relatividad de Galileo. Se basa en las transformaciones galileanas (**la velocidad varía al cambiar de sistema de referencia inercial** -no acelerado-, aunque la distancia entre dos puntos y la aceleración no varían).
 Enuncia que las leyes físicas son las mismas para observadores en sistemas inerciales; por tanto es imposible saber si un sistema de referencia está en reposo o se mueve con velocidad constante.

La teoría electrodinámica de *Maxwell* suponía que las ondas electromagnéticas se propagaban por el "éter lumífero", que inundaba el espacio y envolvía a los cuerpos.
Experimento de Michelson-Morley (1887). Usa un interferómetro para medir la velocidad de la *Tierra* respecto al éter y permitir establecer el sistema de referencia absoluto. Mostró que **la velocidad de propagación de la luz es constante** y rebatió la teoría del éter. *Mach* consideró el resultado correcto y sugirió una nueva teoría:

Transformaciones de Lorentz:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad t = t_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Aplicación: Los muones

Partículas radiactivas (vida media en reposo = 2,2 μ s) producidas al chocar los rayos cósmicos con los núcleos de la atmósfera, a 10 km de altura. Viajan a casi la velocidad de la luz (0,998c) y antes de desintegrarse, recorrerían: 0,998 \cdot 3 \cdot 10⁸ m/s \cdot 2,2 \cdot 10⁻⁶ s \approx 700 m. Sin embargo en 1940 *Rossi-Hall* detectaron muones en la superficie ya que:

- El muón no se desintegra en 2,2 μ s como si estuviera en reposo sino en $t \approx 3,5 \cdot 10^{-5}$ s. Así, un observador en la superficie, observaría que, antes de desintegrarse, el muón recorre: 0,998 \cdot 3 \cdot 10⁸ m/s \cdot 3,5 \cdot 10⁻⁶ s \approx 10 km.
- ¿Y desde el punto de vista del muón? Si el observador viajara en este, se consideraría en reposo y para él sería la *Tierra* la que se acerca un tiempo igual a su vida media en reposo. El espacio recorrido sería: L \approx 700 m.

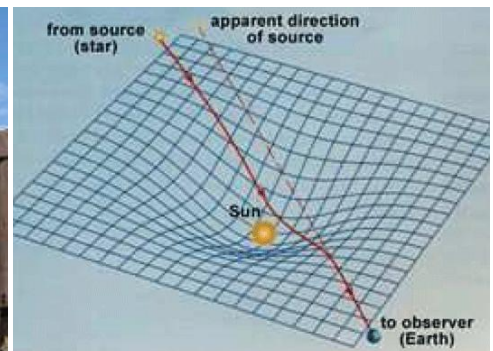
Conclusiones { chocan con el sentido común }

- Ecuaciones para cambiar de sistema de referencia inercial { **contracción espacial y dilatación temporal** }
- **Límite universal a la velocidad** { paradoja de $c + c = c$ }
- Masa y energía relativistas { **equivalencia entre masa y energía: E = mc²** }
- **Relatividad de la simultaneidad** { paradoja de los gemelos }

TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL (*Einstein*, 1915). Teoría especial + Teoría moderna de la gravedad.

La gravedad es la curvatura del espacio-tiempo. Equivale a usar sistemas no inerciales –con aceleración–.

Aplicaciones: agujeros negros, ondas gravitacionales, Cosmología, sincronización del GPS.



Ecuación del campo gravitatorio
 Cementerio de trenes de Uyuni, Bolivia

Física de partículas

Modelo estándar: Teoría relativista de campos cuánticos basada en las ideas de la unificación y simetrías.

Partículas elementales. Se agrupan en dos clases:

Fermiones (partículas de materia): Su distribución está regida por la estadística de *Fermi-Dirac*. No todos son partículas elementales.

Bosones (partículas de fuerza): No cumplen el principio de exclusión de *Pauli*, por lo que dos partículas pueden ocupar el mismo estado cuántico.

Interacciones fundamentales (fuerzas entre, al menos, dos partículas):

Al interactuar, intercambian una partícula mediadora o de campo.

INTERACCIÓN FUNDAMENTAL	PARTÍCULAS QUE INTERACTÚAN	PARTÍCULA MEDIADORA
Nuclear fuerte	hadrones	gluón
Electromagnética	con carga eléctrica	fotón
Nuclear débil	todas	bosón Z y bosón W
Gravitatoria	todas	gravitón

fermiones (materia)				
	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	u up	c charm	t top	γ photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z fuerza débil
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W fuerza débil

Partículas compuestas (hadrones) Se subdividen en dos clases:

Bariones: Formadas por tres quarks, algunos gluones y algunos antiquarks.

Son también fermiones. Los más conocidos son los protones, neutrones e hiperones.

Mesones: Formadas por un quark, un antiquark y la partícula que las une, el gluón.

Son también bosones. Los más conocidos son el pión, el kaón y la J/ψ .

Partículas hipotéticas

Bosón de Higgs: Su existencia está a la espera de mayores precisiones.

Gravitón: Bosón para la interacción gravitatoria. No tendría masa.

También son: axiÓN, graviescalar, gravifotón, neutrino estéril y bosón X.

La **Teoría de supersimetría** plantea la existencia de partículas supercompañeras de partículas existentes:

El **neutralino** es la mejor candidata para partícula de materia oscura. Es neutra, estable y super ligera.

Los sleptones y los squarks son los compañeros supersimétricos de los fermiones.

El fotino, el wino, el zino, el gravitino y el gluino son las partículas supercompañeras de los bosones.

Clasificación por velocidad

Tardión: Viaja más lento que la luz y tiene una masa en reposo no nula. Son todas las partículas con masa.

Luxón: Viaja exactamente a la velocidad de la luz, y no tiene masa. Son todos los bosones sin masa.

Taquión: Viaja más rápido que la luz y su masa debe de ser imaginaria. No se han detectado ejemplos.



El **Gran Colisionador de Hadrones (LHC)** es un acelerador y colisionador de partículas de 27 km de circunferencia ubicado en la *Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN)*, cerca de Ginebra, en la frontera franco-suiza. Se diseñó para colisionar haces de hadrones, exactamente protones, de hasta 7 TeV de energía. Su principal propósito es examinar la validez y límites del Modelo estándar.

Cosmología

Es el estudio de la forma y la evolución del universo.

A partir de los trabajos de *Copérnico*, *Kepler* y *Newton*, los modelos sobre el universo pueden resumirse en:

Universo estático

Descrito por la Teoría de la relatividad general de *Einstein*.

Universo en expansión

Predicho por las soluciones generales de las ecuaciones de *Einstein* y confirmado por las mediciones de *Lemaître* en 1927, dos años antes que *Hubble*. En realidad es el espacio el que se expande.

Teoría del big bang

Gamow (1948) plantea que el universo se originó a partir de una gran explosión y que, como consecuencia, debería observarse una radiación de fondo de microondas, confirmado por *Penzias* y *Wilson*.

Aún no se puede explicar lo anterior al big bang, solo existen conjeturas basadas en la teoría cuántica.

Después del big bang la temperatura era de alrededor de 109 K, las partículas elementales formadas tenían demasiada energía y no podían unirse para formar estructuras más complejas.

El universo, al expandirse, se fue enfriando, apareció la interacción fuerte y posteriormente la electromagnética. Se formaron hidrógeno, helio y pequeñas cantidades de elementos más pesados.

El enfriamiento hizo que los núcleos pesados se condensaran formando polvo que flotaba en el gas de H y He.

El crecimiento de las partículas de polvo produjo, por acción de la interacción gravitatoria, la atracción de una importante masa de hidrógeno y helio que fue comprimiéndose aumentando la temperatura y la presión dando lugar a procesos de fusión nuclear, apareciendo las primeras estrellas.

La misma fuerza gravitacional causó la formación de las galaxias.

Velocidad de alejamiento de las galaxias

Hubble obtuvo experimentalmente que el corrimiento hacia el rojo del espectro de una galaxia es proporcional a la distancia a la que esta se encuentra (efecto *Doppler*).

En cada momento las galaxias más alejadas se mueven más rápido que las más cercanas.

Se considera que la edad del universo es de unos 14000 millones de años, la edad de las estrellas más antiguas.

El origen del sistema solar

Como consecuencia del movimiento continuo de átomos y materiales que formaban la nube de polvo de hidrógeno y helio, la nube comenzó a girar sobre si misma.

Las partes más externas adquirieron grandes velocidades y fueron arrojadas al espacio, las más internas, cayeron hacia el centro y formaron el *Sol*.

Las partes intermedias quedaron gravitando alrededor del centro, aglutinándose para formar los planetas.

La materia oscura

La teoría de la relatividad general había predicho la existencia de lentes gravitacionales cuyo efecto sería curvar la trayectoria de los rayos de luz procedentes de objetos lejanos, al pasar cerca de un objeto masivo.

Este fenómeno se comprobó por primera vez en 1919 durante un eclipse solar por *Eddington & Co*.

La materia oscura es materia no visible, es decir, no interacciona con la radiación electromagnética.

Fue descubierta en 1933 por *Zwicky* observando el movimiento de las galaxias. Observó que la velocidad de las estrellas muy alejadas del centro de la galaxia era muy superior a la que deberían tener si la masa de la galaxia era la que correspondía a su parte visible.

Concluyó que debería existir una masa no visible mucho mayor: la materia oscura.

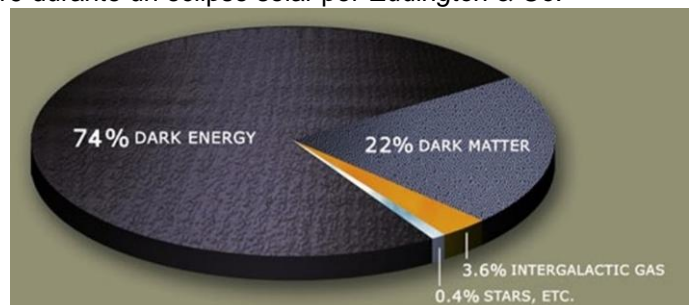
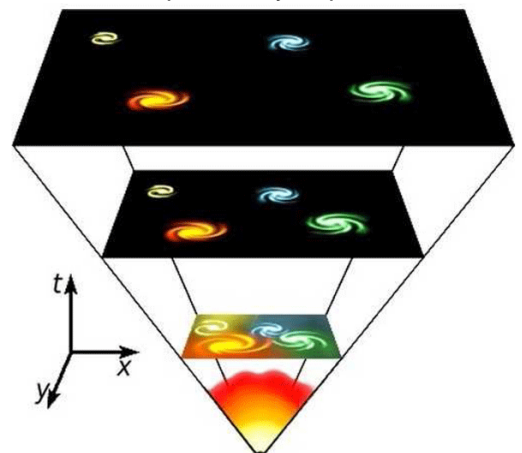
La energía oscura

La teoría de la relatividad general había previsto la existencia de una "antigravedad" que actuaría en todo el universo equilibrando la fuerza de gravedad para explicar el universo estático.

No existe un vacío "sin nada", sino que existe una energía no nula que llena por completo el universo.

La mecánica cuántica predice la existencia de una energía aún en el vacío, en ausencia de todo tipo de materia, que algunos piensan que podría ser la responsable de la energía oscura.

La aceleración que produce la antigravedad es mayor que la gravedad, por lo que la expansión está acelerando. Esta conclusión quedó probada en 1998 con la medida del desplazamiento hacia el rojo de las supernovas.



Unificaciones

Conceptos

- **Movimiento de los astros-gravedad.** Ley de gravitación universal (*Newton*, 1687).
- **Temperatura-movimiento.** Tª cinética (*Bernouilli-Maxwell-Boltzmann*, 1871) 1ª ley física estadística.
- **Calor-energía.** *Joule*, 1840, demostró que el calor es transferencia de energía y no un fluido intercambiable.
- **Electricidad-magnetismo.** Tª electromagnética (propuesta por *Oersted-Faraday*, unificada por *Maxwell*, 1865).
- **Masa-energía.** Tª de la relatividad especial (*Einstein*, 1905). La masa y la energía son equivalentes.
- **Espacio-tiempo.** Tª de la relatividad general (*Einstein*, 1915). Un continuo espacio-tiempo curvo por la masa.
- **Onda-partícula.** Tª cuántica. (*Planck-De Broglie*, 1900-). Las ondas se comportan como partículas y viceversa.
- **Fuerza nuclear débil-electromagnética.** Modelo electrodébil, 1968. Teoría de campos cuánticos de gauge.

Teorías

- **Teoría cuántica-Teoría de la relatividad especial.** Teoría cuántica de campos.
- **Tª cuántica de campos-Tª de la relatividad general.** Teoría de la gravedad cuántica.

Sin verificar

- **Fuerza nuclear fuerte-electrodébil.** Teoría de la gran unificación: Cromodinámica cuántica + Tª electrodébil.
- **Todas las interacciones:**

Teoría del todo, Teoría del campo unificado, Teoría de campos unificada, Gran Teoría unificada.

Teoría M: Cinco Teorías de supercuerdas + Supergravedad en once dimensiones.



Fuentes:

Alonso-Finn; Artacho, Rafael; Eisberg-Resnick; Feynman, Richard; Illana, José Ignacio; Janssen, Bert; Wikipedia

José Manuel Puertollano Barroso

Departamento de Ciencias y Tecnología. Colegio La Presentación de Granada