

Indice.

Tema :	E-MAIL de consulta :	Página :
Física Nuclear		
Estructura del átomo.....	blaumann@cab.cnea.edu.ar	5
Equivalencia entre la masa y la energía.....	gho@cab.cnea.edu.ar	5
Alfa, Beta, Gama y neutrónes.....	blaumann@cab.cnea.edu.ar	6
Carbono 14.....	arribere@cab.cnea.edu.ar	7
Agua pesada y agua común.....	gho@cab.cnea.edu.ar	7
La fisión y la fusión nucleares		
La fusión en las estrellas.....	gho@cab.cnea.edu.ar	9
La Fusión Nuclear en Nuestro Planeta.....	gho@cab.cnea.edu.ar	9
La Fusión, la Fisión y Reacción en Cadena.....	zamonsky@cab.cnea.edu.ar	10
Reactores Nucleares		
Reactores Nucleares de Potencia.....	zamonsky@cab.cnea.edu.ar	14
Los Reactores Fósiles de África.....	clausse@cab.cnea.edu.ar	14
El Proyecto CAREM.....	albornoz@cab.cnea.edu.ar	15
La Central Nuclear Atucha 1.....	oserra@cab.cnea.edu.ar	16
La Central Nuclear Embalse.....	anibal@cab.cnea.edu.ar	19
El Reactor de Investigación.....	gennuso@cab.cnea.edu.ar	22
¿Podrá explotar el Reactor de Investigación RA-6 como una Bomba Atómica?.....	gennuso@cab.cnea.edu.ar	23
Combustibles Nucleares		
El Uranio y el Plutonio.....	pereze@cab.cnea.edu.ar	25
Uranio Natural y Uranio Enrichido.....	gho@cab.cnea.edu.ar	25
Elementos Combustibles.....	pereze@cab.cnea.edu.ar	26
Radioactividad		
Radioactividad.....	mayer@cab.cnea.edu.ar	28
Radioactividad Natural.....	lopasso@cab.cnea.edu.ar	28

Detección de la Radiación.....	mayer@cab.cnea.edu.ar	29
Período de Semidesintegración, o Vida Media.....	arribere@cab.cnea.edu.ar	30
Período Radioactivo y Período Biológico.....	gho@cab.cnea.edu.ar	31
Respuesta Biológica Adaptativa a Radiación y Agentes Químicos.....	mayer@cab.cnea.edu.ar	31
Medio Ambiente. Residuos Nucleares		
Almacenamiento de Combustibles Nucleares.....	bevi@cab.cnea.edu.ar	33
¿Qué es un Repositorio Nuclear? ¿Es tan Riesgoso como Dicen?.....	bevi@cab.cnea.edu.ar	33
GASTRE, ¿Es para la Argentina o el Mundo?.....	granada@cab.cnea.edu.ar	34
GASTRE: La Historia Oficial.....	granada@cab.cnea.edu.ar	34
Seguridad y Protección Radiológica		
Exposición a la Radiación.....	fernandc@cab.cnea.edu.ar	36
Dosis de Radiación.....	fernandc@cab.cnea.edu.ar	36
Fenómenos de Concentración.....	fernandc@cab.cnea.edu.ar	38
La Célula.....	mayer@cab.cnea.edu.ar	38
Daños Biológicos por Radiación.....	fernandc@cab.cnea.edu.ar	38
Reglamentación.....	fernandc@cab.cnea.edu.ar	40
Elementos de Seguridad Nuclear.....	schlamp@cab.cnea.edu.ar	41
Cómo se evalúa la seguridad de una instalación nuclear?.....	schlamp@cab.cnea.edu.ar	42
Grado de seguridad respecto a accidentes de las actividades humanas: se lo puede comparar?.....	schlamp@cab.cnea.edu.ar	43
Seguridad en la generación de energía eléctrica.....	schlamp@cab.cnea.edu.ar	44
Descripción del impacto ambiental debido a las distintas fuentes de generación de electricidad.....	schlamp@cab.cnea.edu.ar	45
El Accidente de Chernobyl.....	schlamp@cab.cnea.edu.ar	46
Usos Médicos de la Tecnología Nuclear		
Cómo se ataca el Cáncer con Neutrones?.....	calzetta@cab.cnea.edu.ar	47
Usos Industriales de la Tecnología Nuclear		
Análisis por Activación Neutrónica.....	arribere@cab.cnea.edu.ar	48

Aplicación de Técnicas Nucleares en Agricultura.....	arribere@cab.cnea.edu.ar	49
Aplicación de Técnicas Nucleares al Control de Plagas: La Mosca del Mediterráneo.....	arribere@cab.cnea.edu.ar	49
Aplicación de las Radiaciones en Prospección Petrolera.....	mayer@cab.cnea.edu.ar	49
La Radiación: Un Arma Contra la Contaminación.....	campolon@cab.cnea.edu.ar	50
Plantas de Irradiación.....	campolon@cab.cnea.edu.ar	50
Aplicaciones Industriales de Haces de Neutrones.....	granada@cab.cnea.edu.ar	51
ENERGÍA		
El Hidrógeno como Fuente de Energía Almacenable.....	peretti@cab.cnea.edu.ar	53
Energías Alternativas.....	florido@cab.cnea.edu.ar	54
Costos de las Energías Alternativas.....	florido@cab.cnea.edu.ar	54
Costos de la Energía Nuclear.....	florido@cab.cnea.edu.ar	55
Futuro de las Energías Alternativas.....	florido@cab.cnea.edu.ar	55
Perspectivas Futuras de la Energía Nuclear y la Argentina.....	florido@cab.cnea.edu.ar	57
Consecuencias de Chernobyl.....	florido@cab.cnea.edu.ar	57

Temas de Física y Energía Nuclear

- Física Nuclear
- La Fusión y la Fisión Nucleares
- Los Reactores Nucleares
- Combustibles Nucleares
- Radioactividad
- Medio Ambiente. Residuos Nucleares
- Seguridad y Protección Radiológica
- Usos Médicos de la Tecnología Nuclear
- Usos Industriales de la Tecnología Nuclear
- Energía

1) Física Nuclear

- Estructura del Átomo
- La Equivalencia entre la Masa y la Energía
- Alfa, Beta, Gamma y Neutrones
- Carbono 14
- El Agua Pesada

Estructura del Átomo

Los átomos son demasiado pequeños como para verlos aún con la ayuda de un microscopio convencional. Dentro de este punto . cabrían aproximadamente 4000 millones de átomos, es decir, la cantidad de habitantes que tiene nuestro planeta.

Son los ladrillos elementales que constituyen la materia. Combinándose entre sí forman todas las sustancias que existen en nuestro cuerpo, en nuestro planeta y en el espacio. Las uniones que se establecen entre los átomos son los pilares del mundo en que vivimos. La arquitectura de estas uniones y la estructura misma del átomo son las responsables de las propiedades de las diferentes sustancias. Así, algunas resultan de un color y otras de otro. Con diferente dureza y consistencia. Algunas sirven para transmitir el calor o la electricidad y otras para impedir su propagación.

Diferentes experimentos, comenzados a principios de siglo, nos fueron llevando a comprender, en forma cada vez más completa, cómo es su estructura. Al igual que nuestro sistema solar, los átomos están compuestos, en una descripción simplificada, por un núcleo central muy pequeño y de partículas aún más pequeñas, los electrones, dando vueltas a su alrededor, a gran velocidad. La mayor parte de su volumen es vacío.

El núcleo está compuesto por partículas llamadas protones que tienen carga eléctrica positiva y otras llamadas neutrones, que no tienen carga alguna, fuertemente unidas entre sí.

Los electrones tienen una carga eléctrica negativa. Es el fenómeno de atracción entre cargas eléctricas de diferente signo, lo que mantiene a los electrones en las proximidades del núcleo, dispuestos en forma de capas.

Los átomos, en estado normal, tienen la misma cantidad de protones que de electrones, por lo que su carga eléctrica resulta nula.

Si todos los átomos fueran idénticos, el universo estaría formado por una sustancia única, absolutamente homogénea.

Evidentemente no es así. Los átomos compuestos por un número diferente de protones (número atómico) representan diferentes elementos químicos. A fines del siglo pasado los químicos descubrieron que existen en la naturaleza 92 elementos químicos diferentes. El Hidrógeno es el más liviano de todos ellos, con un sólo protón, y el Uranio el más pesado con 92 protones.

Los isótopos son átomos que teniendo el mismo número de protones, tienen diferente cantidad de neutrones. Así como el número atómico caracteriza a elementos diferentes, el número másico: la suma de protones y neutrones que hay en el núcleo, caracteriza isótopos diferentes.

La Equivalencia entre la Masa y la Energía

Mediante técnicas muy precisas es posible determinar la masa de un núcleo atómico formado por N neutrones más Z protones, es decir por A ($=N+Z$) nucleones. También se pueden medir la masa de un protón aislado y la de un neutrón aislado. La sorpresa es que la masa del núcleo resulta siempre menor que la suma de las masas de los nucleones que lo constituyen.

La masa que falta no ha desaparecido sino que, como lo establece la famosa relación de Einstein " $E = mc^2$ ", se transforma en energía. Einstein dice, y tiene razón!, que la energía de un cuerpo (E) es igual a su masa (m)

multiplicada por la velocidad de la luz (c) al cuadrado. En nuestra desaparición de masa la energía que aparece es

llamada energía de unión y representa el trabajo que debe hacerse para disociar el núcleo y separar todos los nucleones que lo constituyen.

La energía de unión por nucleón, equivalente a la pérdida de masa por nucleón, es pequeña para núcleos livianos (cerca del Hidrógeno), se hace máxima para núcleos medios (cerca del Hierro) y se vuelve a achicar para núcleos pesados (Plomo, Uranio). Esto indica que los núcleos más difíciles de disociar son justamente los núcleos medios, ya que su pérdida de masa por nucleón es la más grande.

Toda transformación de núcleos que conduzca a la formación de núcleos intermedios producirá entonces energía. La energía liberada es la energía nuclear y estas transformaciones se denominan reacciones nucleares.

A lo largo de millones y millones de siglos las reacciones nucleares se van produciendo en el universo y esto explica por qué las estrellas más viejas tienen mucho Hierro.

Alfa, Beta, Gamma y Neutrones

Al igual que nuestro sistema solar, los átomos están compuestos, en un modelo simplificado, por un núcleo central muy pequeño y de partículas aún más pequeñas, los electrones, dando vueltas a su alrededor, a gran velocidad.

El núcleo está compuesto por partículas llamadas protones que tienen carga eléctrica positiva y otras llamadas neutrones, que no tienen carga alguna, fuertemente unidas entre sí.

Los núcleos que tienen la misma cantidad de protones y de neutrones son "estables"; mientras que los que tienen cantidades muy diferentes son "inestables". Estos últimos tienden a transformarse en otros más estables, a través de diferentes mecanismos conocidos como desintegraciones radiactivas. Estos procesos espontáneos tienen asociados la emisión de diferentes partículas o rayos, de acuerdo a las características de los diferentes núcleos. Fueron observados por primera vez en 1896 al verificar que un trozo de mineral de Uranio velaba las placas fotográficas al ser colocado encima de ellas. Más tarde los esposos Curie descubrieron el Polonio y el Radio, elemento este último un millón de veces más radioactivo que el Uranio.

Consideremos los diferentes decaimientos, de acuerdo a las características nucleares:

- 1) Si hay un exceso de neutrones, los núcleos se hacen más estables emitiendo un neutrón, o bien, más frecuentemente, formando y emitiendo una partícula beta (Beta^-), esto es, un electrón. La formación de esta partícula se produce a través de la transformación de un neutrón del núcleo en un protón y un electrón, junto a una partícula sin carga ni masa llamada neutrino. El nuevo núcleo tiene, entonces, un neutrón menos y un protón más.
- 2) Si hay un exceso de protones, en núcleos livianos, el núcleo se hace más estable a través de la transformación de un protón en un neutrón y un positrón (electrón con carga positiva), abandonando este último el átomo (Beta^+). El nuevo núcleo tiene, entonces, un protón menos y un neutrón más.
- 3) Si hay un exceso de protones en núcleos pesados, entonces alcanzan la estabilidad nuclear emitiendo una partícula Alfa, compuesta por dos protones y dos neutrones fuertemente unidos. El nuevo núcleo tiene entonces dos protones y dos neutrones menos.

Al formarse un nuevo núcleo, como consecuencia de uno o varios de los procesos anteriores, este puede decaer también a un estado aún más estable (fundamental), conservando su número de protones y neutrones, a través de la emisión de ondas

electromagnéticas como las de radio o la luz; pero de mayor energía. Mayor aún que la de los rayos X. Son los

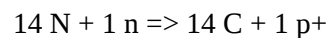
rayos Gamma.

Estos procesos pueden darse en forma escalonada, con diferente probabilidad de ocurrencia.

En ellos se verificó, por primera vez, la equivalencia entre masa y energía hallada por Albert Einstein a comienzos de siglo. La energía liberada (energía de las partículas y rayos emitidos) está relacionada con la desaparición de masa ocurrida durante la desintegración. La masa del núcleo antes de la desintegración es mayor que la masa del núcleo y partículas emitidas después de la desintegración. La masa y la energía no se conservan por separado, sino la suma de ambas.

Carbono 14

El Carbono-14 (^{14}C) es un isótopo inestable del carbono. Su núcleo está compuesto de 6 protones + 8 neutrones y tiene una vida media de 5730 años. Este radionucleido se produce naturalmente en la atmósfera por la interacción de los rayos cósmicos con el nitrógeno del aire:



(Núcleo de Nitrógeno) Neutrón generado por Núcleo de

rayos cósmicos Carbono 14

El ^{14}C se incorpora a los organismos vivos conjuntamente con los dos isótopos estables del carbono, ^{12}C y ^{13}C . Al morir el organismo ya no hay incorporación de ^{14}C , y el conjunto de los núcleos de ^{14}C presentes en el organismo decaen a ^{14}N con una vida media de 5730 años. La concentración de ^{14}C en los organismos vivos es conocida, por lo tanto, la disminución de la población de estos átomos da información del lapso transcurrido desde la muerte del organismo al presente. Este fenómeno es utilizado en arqueología y geología para realizar dataciones y establecer fechas dentro de los últimos 500 a 20.000 años.

Este radionucleido, juntamente con el potasio y el radón, son los principales responsables de la dosis proveniente de fuentes naturales recibida por el ser humano.

Agua pesada y Agua común

Cuando observamos el núcleo de un átomo nos damos cuenta que está formado por protones y neutrones. Todos los átomos que existen están constituidos de la misma manera: un núcleo con protones y neutrones alrededor del cual orbitan tantos electrones como protones hay en el núcleo.

Los protones y neutrones, llamados nucleones, son como ladrillos que sirven para construir todos los núcleos. Los protones tienen carga positiva y los neutrones no tienen carga.

El núcleo más sencillo de todos es el que tiene 1 protón: es el Hidrógeno. Como tiene un sólo nucleón lo llamamos Hidrógeno 1. Otro ejemplo conocido es el núcleo que tiene 8 protones y 8 neutrones: es el Oxígeno 16, (porque 8 protones + 8 neutrones = 16 nucleones). Todos los átomos de hidrógeno tienen 1 protón, todos los átomos de oxígeno tienen 8 protones y todos los núcleos de los átomos de un mismo elemento tienen la misma cantidad de protones.

Lo que no siempre es igual para el mismo elemento es el número de neutrones. Por ejemplo, algunos núcleos tienen 1 único protón (por lo tanto son núcleos de Hidrógeno) pero además tienen 1 neutrón. Estos núcleos de Hidrógeno tienen entonces 2 nucleones y pesan el doble que los originales: deberíamos llamarlos Hidrógeno 2, pero los llamamos

Deuterio. (Deu<>dos)

A los núcleos que tienen la misma cantidad de protones, es decir que son del mismo elemento, pero que tienen distinta cantidad de neutrones, es decir pesan distinto, se los llama Isótopos de ese elemento. Hidrógeno y Deuterio son entonces Isótopos del Hidrógeno.

Cuando dos átomos de Hidrógeno 1 reaccionan con un átomo de Oxígeno, se forma la molécula de Agua, cuya conocida fórmula es H₂O. La cantidad total de nucleones de esta molécula es:

$$1 \text{ (de un hidrógeno)} + 1 \text{ (del otro hidrógeno)} + 16 \text{ (del oxígeno)} = 18$$

Si en lugar del Hidrógeno 1 usamos el Deuterio (Hidrógeno 2) para fabricar la molécula de agua esta nueva molécula se llamará D₂O. La cantidad total de nucleones de esta molécula es:

$$2 \text{ (de un deuterio)} + 2 \text{ (del otro deuterio)} + 16 \text{ (del oxígeno)} = 20$$

Es decir, esta molécula de agua tiene 20 nucleones en lugar de 18. Es agua pero pesa más por lo que la llamamos Agua pesada.

Contrariamente a lo que se cree, el agua pesada no es radioactiva. El agua pesada no es un invento del hombre: existe en la naturaleza, forma parte del agua que tomamos, del agua de los mares, de los lagos y de los ríos. De cada 10.000 litros de agua aproximadamente 1 litro y medio es agua pesada.

Algunos reactores nucleares necesitan agua pesada prácticamente pura para poder funcionar. Para obtener agua pesada casi pura se debe extraerla del agua común de río por sistemas muy complejos en instalaciones como la Planta Industrial de Agua Pesada que se encuentra en Arroyito, provincia del Neuquén, a orillas del río Limay.

2) La Fisión y Fusión Nucleares

- **La Fusión Nuclear en las Estrellas**
- **La Fusión Nuclear en Nuestro Planeta**
- **La Fusión, la Fisión y Reacción en Cadena**

La Fusión Nuclear en las Estrellas

La fusión nuclear es el matrimonio de dos núcleos livianos para dar otro núcleo de tamaño mediano, todo ello acompañado por una gran liberación de energía.

Para que la unión suceda, los núcleos livianos, con carga eléctrica positiva, se deben aproximar a distancias extremadamente cortas. Ahora bien sabemos que dos cargas de igual signo se repelen tanto más cuanto más cerca estén una de otra. Para acercar un núcleo al otro suficientemente deben tener una muy grande velocidad, como sucede cuando están a muy altas temperaturas.

La fusión termonuclear sucede en la naturaleza cuando el medio ambiente es extremadamente caliente, como sucede en las estrellas, por ejemplo nuestro Sol. En el centro del Sol la temperatura es de varias decenas de millones de grados, lo que permite la fusión de núcleos livianos. En el Sol los núcleos de Hidrógeno se fusionan para dar Helio. Las reacciones de fusión termonuclear producidas en el centro del sol liberan mucha energía, lo que explica la alta temperatura de este astro. Una muy pequeña parte de esta prodigiosa energía irradiada por el Sol nos llega a la Tierra y es el soporte de la vida en ella. El Sol es un gran reactor nuclear donde la fusión se mantiene permanentemente.

En las estrellas más grandes que el Sol, las temperaturas son todavía mas grandes, lo cual permite la fusión de núcleos más pesados, dando como resultado la producción de nuevos núcleos de Oxígeno, Carbono, y hasta de Hierro.

La Fusión Nuclear en Nuestro Planeta

El hombre busca dominar las reacciones de fusión en la Tierra, para poder aprovechar esta fabulosa energía. Se presentan para ello tres problemas serios: lograr temperaturas similares a las del Sol (decenas de millones de grados), poder mantener esas temperaturas sin que los materiales se volatilicen y mantener la reacción indefinidamente en el tiempo.

El problema no está aún resuelto pero se han hecho progresos muy grandes desde que se ha comenzado con los estudios hace más de 30 años. La reacción de fusión más estudiada es la de dos isótopos del hidrógeno: el deuterio y el tritio, que se aglomeran dando helio, como en el sol.

Dos tipos principales de soluciones han sido propuestas:

- 1.El confinamiento magnético, en el que la masa de hidrógeno es mantenida dentro de un campo magnético, sin tocar las paredes del recinto.
- 2.El confinamiento inercial, en la que varios cañones laser son enviados sobre una bolilla que contiene la mezcla a fusionar.

La situación actual es promisoría, ya se alcanza a producir la misma energía que se consume durante un tiempo relativamente grande (menos de un segundo!). Se espera que hacia el 2015 ya será posible la explotación comercial de este proceso. El combustible abunda, ya que cada molécula de agua de nuestro planeta tiene 2 átomos de hidrógeno.

La Fusión, la Fisión y Reacción en Cadena

La fusión y la fisión son dos fenómenos que permiten obtener energía nuclear, a continuación desarrollaremos dichos fenómenos :

Fusión.

Supongamos que podemos conseguir el choque de dos átomos de deuterio a gran velocidad (Figura 1). En este, caso los dos núcleos se juntarán por un instante. En circunstancias particulares se puede conseguir que un neutrón salga despedido, mientras que el neutrón restante quede retenido en el nuevo núcleo formado, junto con los dos protones originales.

Figura 1 : Reacción de fusión.