

Energia Atômica

Sumário

1.Introdução.....	2
2.A Estrutura Da Matéria.....	3
3.A Equivalência Massa-Energia, de Einstein.....	5
4.A Fissão Atômica.....	7
5.A Fusão Nuclear.....	12
6.A Fusão no Sol.....	16
7.Conversão de Massa em Energia.....	16
8.Partículas “Famosas”.....	17
9.Radiação ionizante.....	18
10.Radioproteção e dosimetria.....	19
11.O Princípio da Incerteza.....	21
12.Os Níveis dos Orbitais e a Mecânica Quântica.....	22
13.A Escala de Energia de Kardashev.....	23
14.Referências.....	25

Energia Atômica

Índice de ilustrações

Ilustração 1: Fotos dos cogumelos atômicos de Hiroshima e Nagasaki.....	4
Ilustração 2: Representação do número de massa e atômico.....	5
Ilustração 3: Reação em cadeia	9
Ilustração 4: Esquema de funcionamento de um reator nuclear.	10

Energia Atômica

1. Introdução

Quando falamos de energia atômica, podemos estar falando da fissão (quebra) de núcleos pesados (urânio, plutônio) - com o uso de partículas intituladas nêutrons. Mas também podemos estar falando da fusão do núcleo de elementos leves como hidrogênio. Para que uma bomba atômica (de fissão) detone, precisamos de explosivos especiais, cuidadosamente dispostos em volta de dois núcleos físséis. Mas uma bomba de hidrogênio (de fusão) é tão mais complexa e poderosa que exige uma bomba atômica como “espoleta”.

Em 6 de agosto de 1945, uma bomba atômica de urânio 235 de quinze quilotons¹ foi lançada sobre a cidade japonesa de Hiroshima – contabilizando 140 mil mortos até o final de 1945 (incluindo os efeitos da radiação). No dia 9 do mesmo mês, uma bomba de plutônio-239 foi lançada sobre Nagasaki – causando de 40 a 75 mil mortes imediatas. Esses dois acontecimentos despertaram longas e acirradas discussões sobre a ética na ciência. Mas a corrida armamentista que se seguiu levou à criação de um arsenal atômico capaz de destruir a civilização dezenas de vezes, numa doutrina intitulada MAD (“louco”, em inglês): “Destruição Mútua Assegurada”.

¹ 1 quiloton equivale a 1.000 toneladas de TNT.

Energia Atômica

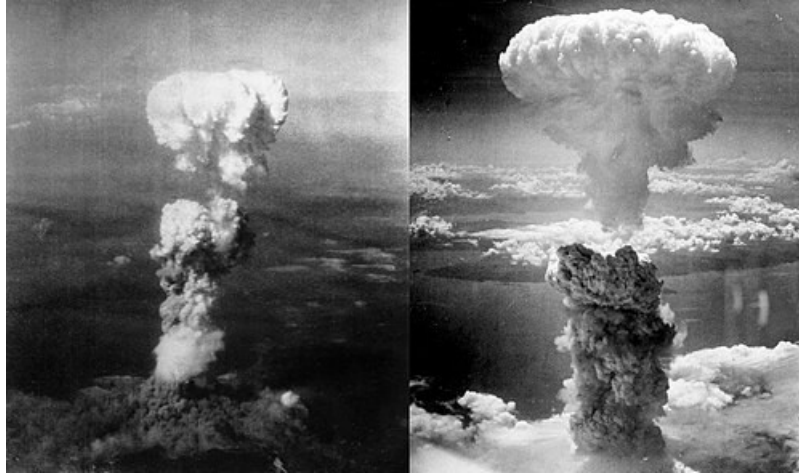


Ilustração 1: Fotos dos cogumelos atômicos de Hiroshima e Nagasaki

Energia Atômica

2. A Estrutura Da Matéria

O conhecimento que temos do átomo indica que ele não é indivisível, como preconizava Dalton. O átomo é visto hoje com tendo um núcleo, onde as partículas prótons e neutrons convivem e uma eletrosfera, onde os elétrons percorrem trajetórias cuidadosamente determinadas pelos seus níveis de energia. São os elétrons os responsáveis pelas propriedades químicas dos átomos. Se, por exemplo, um átomo de sódio e um de cloro se unem, formando uma [molécula de sal](#), isso se dá por causa da sua eletrosfera. Existem átomos que mostram a tendência de “emprestar” elétrons. Outros preferem “receber” elétrons. Chamamos a essa característica de *valência*. Quando átomos de valência compatível (“compatível” não quer dizer “igual”) se encontram, tendem a formar moléculas.

Mas como sabemos de tudo isso ? Os elementos químicos podem ser agrupados, pela sua valência, de modo que possamos determinar quais elementos possuem propriedades semelhantes. Isso tem sido feito através da história recente, na [tabela periódica](#). A primeira tabela periódica foi criada pelo químico russo [Dmitri Mendeleiev](#) (1834-1907), no ano de 1869, em função de uma propriedade dos elementos chamada *massa atômica*. Já estrutura atual do átomo foi proposta pelo físico neozelandês (naturalizado britânico) [Ernest Rutherford](#), após seu [experimento da folha de ouro](#), em 1911.

Na tabela periódica, cada elemento recebe números que indicam diversas de suas características:

	A = número de massa = no. de prótons + no. de nêutrons Z = número atômico = no. de prótons X = um átomo (ou seu núcleo)
---	---

Ilustração 2: Representação do número de massa e atômico.

Energia Atômica

Alguns elementos de interesse no estudo energia atômica são: urânio 235 (^{235}U), plutônio 239 (^{239}Pu), hidrogênio (H), cádmio (^{48}Cd), lítio (^3Li), deutério (D ou ^2H), trítio (T ou ^3H), grafite (C) água leve (H_2O), Tungstênio (W), Berílio (Be) e água pesada ($^2\text{H}_2\text{O}$). Daqui a pouco vamos saber o porquê. Vale notar que o deutério nada mais é que o hidrogênio com dois nêutrons no núcleo. Por isso não vamos encontrar o símbolo D na tabela periódica, mas veremos o símbolo ^2H na literatura científica.

Energia Atômica

3. A Equivalência Massa-Energia, de Einstein

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein propôs a equivalência massa-energia em seu artigo "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? (A inércia de um corpo depende da sua quantidade de energia?)". Segundo ele, tal equivalência seria dada pela fórmula:

$$E = mc^2$$

onde:

- E = energia (em Joules)
- m = massa do objeto (em Kg)
- c = velocidade da luz (em m/s)

Uma das consequências dessa fórmula seria a possibilidade de gerar energia muito grande a partir da desestabilização (ou quebra) da estrutura da matéria. Essa “energia muito grande” é possível por causa no alto valor da velocidade da luz: 300.000 Km/s. A energia é dada em Joules. Vamos supor que conseguimos transformar em energia 100 g de matéria:

$$E = 0,1 \text{ Kg} \cdot (300000 \text{ Km/s})^2$$

$$E = 0,1 \text{ Kg} \cdot (300000000 \text{ m/s})^2$$

$$E = 0,1 \cdot (300000000 \text{ m/s})^2$$

$$E = 0,1 \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$E = 0,1 \cdot 9 \cdot 10^{16}$$

$$E = 9 \cdot 10^{15} \text{ Joules !!!}^2$$

Energia Atômica

Cem gramas de matéria poderiam produzir energia suficiente (9 Gigajoules) para levar uma nave espacial de 1 tonelada a mais de 91 Km de altura a partir da Terra ! O problema é a eficiência dessa conversão. Para que haja 100% de eficiência, é preciso que a matéria interaja com [antimatéria](#). As dificuldades técnicas são insuperáveis hoje. Há métodos menos eficientes - mas ainda aceitáveis - de converter massa em energia: a fissão atômica e a fusão atômica, esta última teoricamente mais eficiente que a primeira.

DICA DO CHATGPT 4

Com $9 \cdot 10^{11}$ Joules (900 bilhões de Joules), você pode fazer muita coisa! Aqui estão algumas comparações para ter uma ideia da magnitude dessa energia:

1. **Levantar um prédio** – Essa energia seria suficiente para levantar uma estrutura de cerca de **900.000 toneladas** a uma altura de **10 metros**.
2. **Explodir dinamite** – O equivalente a aproximadamente **215 toneladas de TNT**.
3. **Gerar eletricidade** – Se fosse convertida integralmente em eletricidade, poderia alimentar uma cidade pequena (~10.000 casas) por cerca de **um mês**.
4. **Acelerar um carro** – Poderia acelerar cerca de **5 milhões de carros de 1 tonelada** de 0 a 100 km/h.
5. **Esquentar água** – Seria suficiente para ferver **aproximadamente 2,6 bilhões de litros de água**, o equivalente a **1 milhão de piscinas olímpicas**.
6. **Lançar um satélite** – Poderia ser usada para impulsionar uma carga útil ao espaço, dependendo da eficiência do foguete.
7. **Explosão nuclear** – Aproximadamente **5% da energia liberada pela bomba de Hiroshima** (que teve cerca de **6×10^{12} Joules** de energia total).
8. **Correr uma maratona** – Um ser humano médio gasta cerca de **4 milhões de Joules** para correr uma maratona. Com **9×10^{11} Joules**, uma pessoa poderia correr cerca de **225.000 maratonas**.

[CHATGPT, 2025]

Energia Atômica

4. A Fissão Atômica

“Fissão” é sinônimo de quebra, rompimento. A fissão atômica é um modo de gerar energia através do rompimento do núcleo de um átomo pesado, geralmente o urânio. Um modo bastante usado de romper esse núcleo é atirar nele um nêutron. Com o rompimento, mais nêutrons e subprodutos, como bário e kriptônio são liberados - e estes vão atingir outros núcleos, gerando uma reação em cadeia.

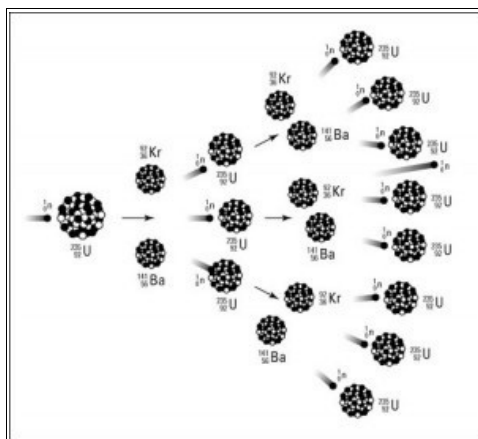


Ilustração 3: Reação em cadeia

Energia Atômica

Já sabemos que muita energia é gerada no processo. Mas que tipo de energia ? Energia térmica (calor), luz visível, radiação eletromagnética (por exemplo, raios-X e ultravioleta), raios gama, os próprios nêutrons. No caso de uma bomba, há também a destrutiva onda de choque, representando a energia cinética.

Mas a fissão pode ser “domesticada”. Ela pode ser produzida aos poucos, em reatores atômicos.

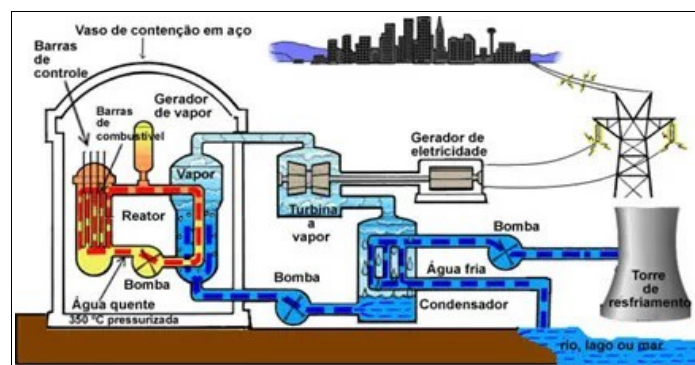


Ilustração 4: Esquema de funcionamento de um reator nuclear.

Energia Atômica

Esquema de Funcionamento de um Reator Atômico³

1. **Núcleo:** O núcleo do reator é o centro do reator nuclear, onde ocorrem as reações nucleares. Geralmente, é composto por barras de combustível nuclear, que contêm material fissível, como urânio enriquecido ou plutônio.
2. **Moderador:** O moderador é uma substância que desacelera os nêutrons produzidos nas reações nucleares. Isso aumenta a probabilidade de colisões eficazes entre os nêutrons e os núcleos atômicos, permitindo que a reação em cadeia continue. Água leve (H_2O) e grafite são exemplos de moderadores.
3. **Controle de Nêutrons:** Barras de controle, feitas de materiais que absorvem nêutrons (^{48}Cd , por exemplo), são usadas para regular a taxa de reação nuclear no reator. Inserindo as barras de controle, a reação pode ser desacelerada ou interrompida. Retirando-as, a reação pode ser aumentada.
4. **Circulação de Refrigerante:** Um fluido de resfriamento, como água ou sódio líquido, é usado para retirar o calor gerado nas reações nucleares no núcleo do reator. O refrigerante transporta o calor para fora do núcleo.
5. **Gerador de Vapor:** Em muitos tipos de reatores, o calor transferido pelo refrigerante é usado para aquecer um circuito separado de água, que se transforma em vapor. Esse vapor é então direcionado para um gerador a vapor.
6. **Turbina:** O vapor produzido no gerador a vapor é usado para girar uma turbina, que está conectada a um gerador elétrico. À medida que a turbina gira, a energia mecânica é convertida em energia elétrica.
7. **Gerador Elétrico:** O gerador elétrico converte a energia mecânica da turbina em eletricidade. A eletricidade gerada é enviada para a rede elétrica para fornecer energia elétrica a residências e indústrias.
8. **Troca de Calor:** O vapor exausto da turbina é resfriado e condensado de volta à água líquida, em um condensador. Isso completa o ciclo de água e permite que o vapor seja reutilizado no gerador de vapor.

3 Segundo o ChatGpt

Energia Atômica

9. Sistemas de Segurança: Os reatores nucleares possuem sistemas de segurança, como sistemas de resfriamento de emergência e sistemas de contenção, projetados para manter a operação segura e prevenir a liberação não controlada de materiais radioativos.
10. Monitoramento e Controle: O reator é monitorado continuamente por sistemas de controle para garantir que as condições operacionais sejam mantidas dentro dos limites seguros. Os operadores do reator ajustam as condições de operação conforme necessário.

Note que muitos chamam o reator atômico de “reator nuclear”. Essa terminologia antiga não é adequada atualmente, porque os *nucleares* são reatores de fusão.

Observe também que a energia da fissão não é aproveitada imediatamente. Ela é transformada em outras energias até se transformar em eletricidade. Há várias perdas nesse processo. Quem sabe vocês, prezados alunos, venham a ser físicos ou engenheiros e mudem os reatores atômicos para funcionarem como geradores de micro-ondas. Assim, sistemas inteiros poderiam ser criados para aproveitar diretamente esse tipo de radiação. A ideia não é tão nova:

“Reason” – Isaac Asimov

O conto "Reason" de Isaac Asimov, descreve uma estação espacial que coleta a energia solar e a transmite para a Terra por meio de microondas. Ele faz parte da série de contos "Robôs" de Asimov e foi publicado pela primeira vez em 1941 na revista Astounding Science Fiction. Neste conto, um grupo de cientistas humanos mantém uma estação espacial chamada Estação QT-1, que é operada por robôs chamados "QT" (que significa "Reasoning" ou "Raciocínio"). A história explora as interações entre os cientistas humanos e os robôs, especialmente um dos robôs QT chamado QT-1 (também conhecido como "Cérebro"). À medida que a trama se desenrola, os cientistas precisam resolver um mistério envolvendo um aparente erro de julgamento por parte de QT-1.

Energia Atômica

O esquema do reator atômico não difere tanto do antigo motor a vapor do escocês James Watt (final do século XVIII):

Esquema do Motor a Vapor de James Watt⁴

1. Caldeira: A água é aquecida em uma caldeira para produzir vapor. A caldeira é geralmente aquecida por uma fonte externa, como queima de carvão ou madeira.
2. Cilindro: O vapor é direcionado para dentro de um cilindro, onde um pistão está localizado. O cilindro é fechado e hermético.
3. Entrada de Vapor: O vapor é injetado no cilindro, empurrando o pistão para cima.
4. Resfriamento e Condensação: Após o impulso inicial do pistão, uma válvula de escape permite que o vapor no cilindro escape para um condensador. O condensador resfria o vapor, condensando-o de volta à água.
5. Vácuo Parcial: A condensação do vapor no condensador cria um vácuo parcial dentro do cilindro.
6. Peso e Bomba de Água: O vácuo parcial no cilindro permite que a pressão atmosférica atue sobre o pistão, empurrando-o para baixo. Um sistema de alavancas conecta o pistão a uma bomba de água, que é usada para elevar a água de poços ou para outros fins.
7. Válvula de Alívio de Pressão: Uma válvula de alívio de pressão controla a entrada de vapor no cilindro, permitindo um ciclo controlado de injeção de vapor e condensação.
8. Mecanismo de Direção: O movimento alternativo do pistão é convertido em movimento rotativo por meio de uma biela e uma manivela. Esse movimento rotativo pode ser usado para acionar várias máquinas e realizar trabalho mecânico.

4 Segundo o ChatGPT

Energia Atômica

5. A Fusão Nuclear

A fusão nuclear ainda não existe em escala comercial. Ela é experimentada somente em laboratórios altamente especializados (e extraordinariamente caros). A fusão se baseia seguinte fato: Quando dois núcleos são pressionados uns contra os outros a alta pressão e temperatura, eles se fundem e liberam uma quantidade de energia extraordinária. Mas os átomos resistem a isso, e são necessários sistemas de raios laser e microondas de alta capacidade para que o processo dê certo. Geralmente, os núcleos usados são de deutério (^2H) ou trítio (^3H).

Energia Atômica

Esquema de um Reator de Fusão Nuclear⁵

1. **Confinamento do Plasma:** O processo de fusão nuclear requer altas temperaturas e pressões para fundir núcleos atômicos leves, como o hidrogênio, para formar hélio e liberar uma grande quantidade de energia. Para isso, o plasma, que é um gás ionizado de hidrogênio, é aquecido a temperaturas extremamente altas, da ordem de milhões de graus Celsius, e mantido sob controle no interior de um dispositivo de confinamento.
2. **Aquecimento por Injeção de Energia:** Para atingir as altas temperaturas necessárias para a fusão, a energia é injetada no plasma de várias maneiras. Uma das técnicas mais comuns é o aquecimento por radiofrequência, que usa micro-ondas ou ondas de rádio para aquecer o plasma.
3. **Campos Magnéticos:** O plasma é mantido longe das paredes do reator por meio do uso de campos magnéticos poderosos. Os campos magnéticos impedem que o plasma entre em contato com as paredes, evitando danos ao revestimento do reator.
4. **Fusão Nuclear:** Quando o plasma atinge as condições adequadas de temperatura e pressão, ocorre a fusão nuclear. Os núcleos de hidrogênio se fundem para formar hélio, liberando uma grande quantidade de energia na forma de nêutrons de alta energia e raios gama.
5. **Captura de Energia:** A energia liberada na fusão é capturada em forma de nêutrons de alta energia, que podem ser usados para aquecer um refrigerante, como lítio, que circula pelo reator.
6. **Geração de Eletricidade:** O calor gerado pelo refrigerante é usado para produzir vapor, que aciona uma turbina conectada a um gerador elétrico. O gerador converte a energia mecânica em eletricidade.
7. **Reabastecimento de Combustível:** O reator de fusão precisa ser continuamente abastecido com combustível de hidrogênio para manter a reação de fusão. Isso pode ser realizado por meio de injeção controlada de combustível no plasma.

⁵ Segundo o ChatGpt. O grifo é meu.

Energia Atômica

8. Gerenciamento de Resíduos e Segurança: O reator de fusão produz nêutrons de alta energia, que podem causar danos materiais e tornar os materiais circundantes radioativos. Portanto, medidas rigorosas de segurança e gerenciamento de resíduos são necessárias.
9. Revestimento e Refrigeração: O reator é revestido com materiais resistentes ao calor e à radiação para proteger as paredes do reator. Além disso, sistemas de resfriamento são usados para manter o reator em temperaturas seguras.

Há vários projetos, como o ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), para tornar a fusão uma fonte de energia prática e **economicamente** sustentável no futuro.

Energia Atômica

Por que não se usam elementos pesados como combustível nos reatores de fusão ?⁶

Os elementos pesados, como urânio e plutônio, não são usados como combustível nos reatores de fusão por várias razões:

1. **Requisitos de Temperatura e Pressão Extremos:** A fusão nuclear de elementos pesados requer temperaturas e pressões extremamente elevadas, muito maiores do que as necessárias para a fusão de hidrogênio. As condições para a fusão de elementos pesados são tão extremas (como lasers absurdamente potentes ou microondas de altíssima frequência) que atualmente não temos a tecnologia para alcançá-las e mantê-las em um ambiente controlado.
2. **Eficiência Energética:** A fusão de elementos pesados geralmente requer mais energia para iniciar e manter do que a energia que é liberada durante o PRÓPRIO processo de fusão. Isso torna a fusão de elementos pesados energeticamente ineficiente e impraticável para geração de energia.
3. **Produção de Resíduos Radioativos:** A fusão de elementos pesados também pode produzir resíduos radioativos perigosos. Além disso, as reações nucleares envolvendo elementos pesados podem resultar em produtos de fissão, que são radioativos e requerem gerenciamento cuidadoso.
4. **Problemas de Segurança:** A alta densidade de energia envolvida na fusão de elementos pesados pode criar problemas de segurança significativos, incluindo riscos de explosões nucleares não controladas.
5. **Abundância de Hidrogênio:** O hidrogênio, em suas formas leves, como deutério e trítio, é abundante na Terra e na natureza, tornando-o um combustível potencialmente acessível para a fusão nuclear. Isso é uma vantagem significativa, pois não há uma abundância semelhante de elementos pesados adequados para a fusão.

⁶ Resposta do ChatGPT adaptada pelo autor.

Energia Atômica

6. A Fusão no Sol

A geração de energia no Sol ocorre principalmente por meio de um processo de fusão nuclear de hidrogênio. Esse processo é responsável pela liberação de uma quantidade enorme de energia que mantém o Sol brilhante e quente.

No núcleo do Sol, onde as temperaturas e pressões são extremamente altas, os átomos de hidrogênio colidem e fundem-se para formar átomos de hélio. O tipo de reação de fusão mais comum no Sol é chamado de ciclo próton-próton. Envolve quatro etapas distintas, nas quais núcleos de hidrogênio (prótons) combinam-se para produzir um núcleo de hélio.

7. Conversão de Massa em Energia

Como vimos anteriormente na equação de Albert Einstein, $E=mc^2$, a massa é convertida em energia durante esse processo de fusão nuclear. Isso significa que a pequena quantidade de massa perdida durante a fusão é transformada em uma grande quantidade de energia de acordo com a relação estabelecida pela equação.

A energia liberada na forma de fótons de luz e calor resulta na emissão de radiação eletromagnética que se propaga pelo espaço, alcançando a Terra e fornecendo a maior parte da energia solar que recebemos. Essa energia sustenta a vida na Terra e alimenta nosso clima e sistemas naturais.

O processo de fusão nuclear é altamente eficiente e sustentável em escalas astronômicas. O Sol tem sido capaz de manter sua produção de energia por bilhões de anos através da fusão de hidrogênio. Eventualmente, no entanto, o hidrogênio disponível no núcleo do Sol se esgotará, e ele passará por estágios evolutivos que levarão à fusão de hélio e à sua transformação em uma gigante vermelha antes de se extinguir.

Energia Atômica

8. Partículas “Famosas”

As partículas atômicas mais famosas da matéria são os prótons, nêutrons e elétrons. Cada uma delas tem características distintas:

Próton:

- Carga: +1 unidade de carga elementar (carga positiva).
- Massa: Aproximadamente 1 unidade de massa atômica (unidade de massa atômica é definida em relação à massa de um próton).
- Localização: Encontrados no núcleo do átomo.
- Papel: Os prótons determinam a identidade do elemento químico. O número de prótons em um átomo é o número atômico, que define o elemento.

Nêutron:

- Carga: Neutro (carga elétrica igual a zero).
- Massa: Aproximadamente 1 unidade de massa atômica (igual à do próton).
- Localização: Encontrados no núcleo do átomo.
- Papel: Os nêutrons contribuem para a estabilidade do núcleo atômico, ajudando a neutralizar a carga repulsiva entre os prótons.

Elétron:

- Carga: -1 unidade de carga elementar (carga negativa).
- Massa: Muito menor do que a do próton ou nêutron (cerca de 1/1836 da massa do próton).

Energia Atômica

-
- Localização: Orbitam o núcleo em camadas ou níveis de energia.
 - Papel: Os elétrons estão envolvidos em ligações químicas e determinam o comportamento químico dos átomos. Eles também são responsáveis pelas propriedades elétricas dos materiais.

9. Radiação ionizante

A radiação ionizante é aquela capaz de provocar alterações na matéria em geral e, em especial, no corpo humano. Ela pode destruir nosso sistema imunológico, provocar câncer, queimaduras, cegueira, queda de cabelo. Uma pessoa seriamente afetada por radiações ionizantes pode morrer em 80 dias. E é uma morte muito dolorosa e triste. Mas uma radiação branda também pode matar lentamente, através do câncer. É nosso dever proteger as formas de vida contra radiações ionizantes (RIs). Uma explosão na usina nuclear de Fukushima provocou um nuvem de poeira e destroços radioativos que matou pessoas e as está matando até hoje. Um objeto exposto à RI pode, ele mesmo, se tornar emissor de RIs. Assim, roupas, protetores e tudo o mais submetido a RI deve ser guardado por dezenas de anos em contêineres protegidos e isolados. Eles se tornam parte do imenso volume de lixo atômico que existe em todo o planeta, geralmente perto de usinas.

Usinas atômicas problemáticas como a de Fukushima (Japão) e a de Chernobyl (Rússia) aumentaram a radiação do planeta, aumentando também a probabilidade de câncer em quase todos os seres vivos. As RIs alteram o código genético, fazendo com que ele falhe em cada célula. Mais ainda, a RI compromete as gerações que ainda estão por nascer, por causa do dano às células reprodutoras e mutações subsequentes.

Se a energia atômica é tão perigosa, por que a usamos? Bem, muitas vezes uma nação não tem alternativa. O Japão, por exemplo, baseia a sua matriz energética em usinas atômicas porque é um país carente de recursos energéticos naturais⁷.

⁷ Veja [SANTOS, 2024]

Energia Atômica

As radiações ionizantes mais comuns são:

- Radiação alfa - Partículas compostas por 2 prótons e 2 nêutrons — ou seja, núcleos de hélio (He^{2+}).
- Radiação beta - Elétrons (β^-) ou pósitrons (β^+) emitidos pelo núcleo durante o decaimento (*beta decay*) de nêutrons ou prótons. Possui poder médio de penetração (entre a alfa e a gama).
- Radiação gama - Onda eletromagnética (sem massa e sem carga) — é um tipo de luz invisível de altíssima energia. É produzida em processos de decaimento nuclear e eventos astrofísicos. Os raios gama ficaram famosos nos filmes e desenhos do Hulk, personagem da Marvel Comics. Mas a verdade é que eles causam tumores, infertilidade, mutações genéticas e anemia.

10. Radioproteção e dosimetria

A área da física que nos protege das RIs é a dosimetria e radioproteção. Como existem vários tipos de RI, há vários tipos de vigilância (monitoramento), métodos de limpeza de resíduos radioativos e de dosimetria. Sobre monitoramento, as disciplinas mais comuns são:

- Dosimetria Pessoal
 - Dosímetros de Radiação: Dispositivos individuais usados por trabalhadores expostos à radiação para medir a quantidade de radiação recebida ao longo do tempo.
- Métodos de Detecção de Radiação:
 - Contadores Geiger-Müller: Detectores portáteis usados para medir radiações alfa, beta e gama.
 - Cintilação: Usa cristais que emitem luz quando irradiados. A intensidade da luz está relacionada à quantidade de radiação.

Energia Atômica

- Dosimetria de Área:
 - Monitores de Área: Equipamentos colocados em áreas específicas para medir a radiação ambiente. Podem ser fixos ou móveis.
- Espectrometria de Radiação:
 - Espectrômetros de Gama: Identificam e quantificam diferentes tipos de radiação gama emitida por uma fonte.
- Métodos de Monitoramento Ambiental:
 - Amostragem de Ar: Coleta de amostras de ar para analisar a presença de partículas radioativas.
 - Monitoramento de Água e Solo: Avaliação da presença de radionuclídeos em corpos d'água e solo.
- Métodos de Monitoramento de Radiação Nuclear:
 - Espectrometria de Massa: Utilizada para identificar e quantificar elementos radioativos com base em suas massas atômicas.
 - Monitoramento de Reatores Nucleares: Utilização de instrumentação específica para monitorar a atividade nuclear em reatores.
- Radiografia e Radioscopia:
 - Radiografia Industrial: Utiliza fontes de radiação para obter imagens internas de objetos.
 - Radioscopia: Técnica de inspeção não destrutiva que utiliza radiação para visualizar estruturas internas.
- Radioterapia:
 - Dosimetria em Radioterapia: Mede a dose de radiação administrada a um paciente durante tratamento.

Energia Atômica

-
- Monitoramento de Partículas Subatômicas:
 - Detectores de Neutrinos: Detectores especializados para medir neutrinos emitidos por reações nucleares.
 - Monitoramento Espacial:
 - Satélites de Observação: Utilizados para monitorar a radiação cósmica e outros fenômenos espaciais e terrestres.

11. O Princípio da Incerteza

O Princípio da Incerteza de Heisenberg, formulado pelo físico alemão Werner Heisenberg em 1927, é um princípio fundamental da mecânica quântica que descreve uma limitação na precisão com que certos pares de propriedades conjugadas de uma partícula subatômica, como a posição e o momento (ou momento linear), podem ser conhecidos simultaneamente. Em outras palavras, ele estabelece que não é possível medir com precisão tanto a posição quanto o momento de uma partícula subatômica ao mesmo tempo.

O Princípio da Incerteza afirma que a incerteza na posição (Δx) de uma partícula multiplicada pela incerteza no momento (Δp) dessa partícula é sempre maior ou igual a uma constante específica de Planck ($h/4\pi$), onde "h" é a constante de Planck. Matematicamente, o princípio é representado como:

$$\Delta x * \Delta p \geq h/4\pi$$

Esta fórmula não cai no ENEM. Mas ela significa que quanto mais precisamente você tenta medir a posição de uma partícula, menos precisão terá em relação ao seu momento (e vice-versa). Esse princípio é uma consequência direta da natureza dual da

Energia Atômica

matéria e da luz, ou seja, a ideia de que partículas subatômicas podem exibir comportamentos tanto de partícula quanto de onda. E isso cai no ENEM !

12. Os Níveis dos Orbitais e a Mecânica Quântica

Os níveis orbitais dos elétrons são as regiões onde os elétrons têm uma alta probabilidade de serem encontrados ao redor do núcleo de um átomo. Eles também são chamados de camadas eletrônicas ou níveis de energia. Cada nível orbital é caracterizado por um número inteiro chamado de número quântico principal (n). Cada nível orbital pode conter um número específico de subníveis ou orbitais atômicos, que por sua vez acomodam um número definido de elétrons.

Os níveis orbitais e a mecânica quântica estão intimamente relacionados porque a mecânica quântica é a teoria fundamental que descreve o comportamento dos elétrons nos átomos. Na mecânica quântica, os elétrons não orbitam o núcleo de maneira clássica, como planetas ao redor do sol, mas sim são descritos por funções de onda que representam distribuições de probabilidade. Essas funções de onda descrevem a probabilidade de encontrar um elétron em diferentes posições ao redor do núcleo.

Os níveis orbitais (ou camadas) são definidos pela mecânica quântica, e cada nível possui um número máximo de elétrons que pode conter, com base nos princípios da mecânica quântica. Os números quânticos, como o número quântico principal (n), são usados para descrever esses níveis e a energia dos elétrons em relação ao núcleo. Os elétrons preenchem os níveis orbitais de baixa energia primeiro, de acordo com o Princípio da Exclusão de Pauli e o Princípio da Construção da Camada.

Energia Atômica

13. A Escala de Energia de Kardashev

A Escala de Energia de Kardashev é uma classificação teórica proposta pelo astrofísico russo-norte-americano Nikolai Kardashev em 1964. Ela foi criada como uma maneira de medir o nível de avanço tecnológico e o consumo de energia de uma civilização, com base na quantidade de energia que uma civilização é capaz de capturar e utilizar.

A escala é dividida em vários níveis, com base no aumento exponencial do uso de energia. Aqui estão os principais níveis da Escala de Energia de Kardashev:

- Tipo I - Civilização Planetária: Neste nível, uma civilização é capaz de aproveitar e controlar toda a energia disponível em seu próprio planeta, incluindo a energia solar, eólica, geotérmica e outras fontes. Ela é capaz de alimentar suas necessidades energéticas com eficiência e controlar o clima e a geologia do planeta.
- Tipo II - Civilização Estelar: Uma civilização de Tipo II é capaz de aproveitar e controlar toda a energia proveniente de sua estrela-mãe. Isso pode ser feito usando estruturas maciças, como Esferas de Dyson, para coletar a energia estelar. Com essa quantidade de energia, uma civilização poderia colonizar sistemas estelares inteiros e viajar entre estrelas.
- Tipo III - Civilização Galáctica: Uma civilização de Tipo III seria capaz de aproveitar e controlar toda a energia disponível em uma galáxia inteira. Eles teriam a capacidade de colonizar sistemas estelares em toda a galáxia e dominar sua energia.

Kardashev também sugeriu a possibilidade de níveis intermediários (por exemplo, 1.1, 1.2, 1.3) para representar os estágios de transição entre os níveis principais.

Energia Atômica

A Escala de Energia de Kardashev é uma construção teórica e especulativa, e não existem evidências concretas de civilizações de Tipo II ou Tipo III em nosso universo. Ela é frequentemente usada na ficção científica e na pesquisa astrofísica para discutir o potencial de civilizações extraterrestres e para explorar o conceito de expansão tecnológica e captura de energia em escalas cósmicas. Mas a escala tem outra aplicação: ajudar a entender o potencial de bombas e reatores atômicos.

Energia Atômica

14. Referências

- **[BAÏSSAS, 1957]** “La Radioactivite” in “Course de Genie Atomique – Tome I”. 1957. Centre D’Etudes Nucléaires de Saclay. pp 66-81. Cap.6.
- **[CHATGPT, 2023]** Conversa: “Energia x Consumo”. Disponível em <<https://chat.openai.com/share/b038e778-d701-4ce5-a58e-cfc576e71c95>>. Neste link você pode acompanhar minha conversa com o ChatGpt.
- **[CHATGPT, 2025]** Conversa: “O que fazer com 9 Gigajoules ?”. Disponível em <<https://chatgpt.com/share/67c7ba69-d4c0-800c-8017-c6cd7d09fbc1>>.
- **[NOLAN, 2023]** Cristopher Nolan: “Oppenheimer”. 2023. Universal Studios. Trailer disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=F3OxA9Cz17A> >.
- **[O GLOBO, 2019]** O Globo: "Tudo o que você precisa saber sobre as usinas nucleares de Angra 1 e 2, e por que são diferentes de Chernobyl". Disponível em <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/06/23/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-as-usinas-nucleares-de-angra-1-e-2-e-por-que-sao-diferentes-de-chernobyl.ghtml>>.
- **[OMANI, 2021]** Hali Omani: “As Forças da Natureza” in Introdução à Física. Disponível em <<https://treinamentolivre.com/cursos/course/view.php?id=69#section-7>>.
- **[REVOLUTION, 2023]** Revolution: "Tabela Periódica - Química". Aplicativo para Windows 10-11, disponível em <<https://apps.microsoft.com/detail/9WZDNCRFJB1F?hl=pt-br&gl=MZ>>.
- **[RM, 2023]** Refúgio Mental: “5 Maiores Testes Nucleares Flagrados Pelas Câmeras”. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=GsdQpmyl3w4>>.
- **[SANTOS, 2024]** Santos. P.C: "O kami da energia atômica". 202. Instituto Imbuhy. Disponível em < <https://treinamentolivre.com/i2/?p=548> >.Último acesso em 15/05/2025.

Energia Atômica

-
- **[UFMG, 2022]** Instituto de Química da UFMG: "Teorias Atômicas". Disponível em < <http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/downloads/aulas/aula%206%20-%20modelos%20atomicos.pdf> >.
 - **[USP, 2019]** Usp: "Tabela periódica completa 150 anos". Disponível em <<https://jornal.usp.br/atualidades/tabela-periodica-completa-150-anos/>>.

Energia Atômica

15. Créditos das Ilustrações

1. Wikipediia. Verbetes “Bombardeamentos atômicos de Hiroshima e Nagasaki”.
Disponível em < https://pt.wikipedia.org/wiki/Bombardeamentos_at%C3%B4micos_de_Hiroshima_e_Nagasaki >
2. [UFMG, 2022]
3. Infoescola.com
4. Brasil Escola. Disponível em < <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/reator-nuclear.htm> >