

Textos Explicativos

Energia Nuclear

Material de apoio para a Lista de Exercícios — Energia nuclear e acidentes nucleares

1. Fissão × Fusão Nuclear

Questão relacionada: 1

A fissão nuclear é o processo em que o núcleo de um átomo pesado — como o urânio-235 — se divide em dois núcleos menores, geralmente ao ser bombardeado por um nêutron, liberando uma grande quantidade de energia. É o processo utilizado nos reatores nucleares para gerar energia elétrica e também nas bombas atômicas.

A fusão nuclear é o processo oposto: dois núcleos leves, como isótopos de hidrogênio, se unem para formar um núcleo mais pesado, liberando uma quantidade de energia ainda maior do que a da fissão. É o processo que ocorre naturalmente no Sol e nas demais estrelas, e que os cientistas buscam reproduzir de forma controlada na Terra como fonte futura de energia.

Diferença essencial: a fissão divide um núcleo pesado, enquanto a fusão une núcleos leves — em ambos os casos, a energia é liberada porque o núcleo resultante é mais estável do que os núcleos de partida.

2. Como Funciona um Reator Nuclear de Fissão: da Reação em Cadeia à Energia Elétrica

Questões relacionadas: 2 e 4

Em um reator nuclear, núcleos de um combustível físsil — geralmente urânio — são bombardeados por nêutrons e sofrem fissão, liberando calor e novos nêutrons. Esses novos nêutrons podem atingir outros núcleos de combustível e provocar novas fissões, que liberam ainda mais nêutrons: esse processo autossustentado é chamado de reação em cadeia.

Para que a reação em cadeia não se torne descontrolada, o reator utiliza barras de controle, feitas de materiais que absorvem nêutrons, como boro e cádmio. Inserindo essas barras mais ou menos profundamente no núcleo do reator, é possível regular a taxa da reação, mantendo-a estável durante a operação normal ou interrompendo-a rapidamente em caso de qualquer anomalia.

O calor liberado pela reação em cadeia controlada aquece água (ou outro fluido de refrigeração), produzindo vapor. Esse vapor movimenta uma turbina — convertendo energia térmica em energia mecânica —, e a turbina está acoplada a um gerador elétrico, que converte essa energia mecânica em energia elétrica: a mesma lógica utilizada em usinas termelétricas convencionais, mudando apenas a fonte de calor.

3. $E = m \cdot c^2$: Calculando a Energia Liberada na Fissão

Questão relacionada: 3

Um dos aspectos mais impressionantes da energia nuclear é que, na fissão (e também na fusão), uma pequena quantidade de massa é efetivamente convertida em energia. Essa relação entre massa e energia foi estabelecida por Einstein:

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

onde E é a energia liberada (em joules), m é a massa convertida em energia (em quilogramas) e c é a velocidade da luz no vácuo ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s). Como c^2 é um número extremamente grande, mesmo uma quantidade minúscula de massa convertida libera uma quantidade de energia enorme.

Exemplo prático: convertendo 1 miligrama (10^{-6} kg) de massa em energia: $E = m \cdot c^2 = 10^{-6} \times (3 \times 10^8)^2 = 10^{-6} \times 9 \times 10^{16} = 9 \times 10^{10} \text{ J}$ — uma quantidade de energia obtida a partir de uma massa menor que um grão de areia.

4. O Acidente Nuclear de Chernobyl (1986)

Questão relacionada: 5

O acidente de Chernobyl ocorreu em abril de 1986, na Ucrânia (então parte da União Soviética), durante um teste de segurança mal conduzido em um dos reatores da usina. O teste levou a um aumento descontrolado da potência do reator, provocando explosões e um incêndio que destruiu parte da estrutura de contenção, liberando uma enorme quantidade de material radioativo diretamente na atmosfera.

Entre as principais causas apontadas para o acidente estão falhas no projeto do reator, que apresentava instabilidades em determinadas condições de operação, e uma série de erros humanos cometidos pela equipe durante a condução do teste, que violou diversos protocolos de segurança.

5. O Acidente Nuclear de Fukushima (2011)

Questão relacionada: 6

O acidente de Fukushima ocorreu em março de 2011, no Japão, desencadeado por um grande terremoto seguido de um tsunami. As ondas do tsunami inundaram os geradores de emergência responsáveis por manter o resfriamento dos reatores após o desligamento automático provocado pelo próprio terremoto.

Sem refrigeração adequada, o combustível nuclear superaqueceu, provocando a fusão parcial do núcleo em alguns dos reatores e a liberação de material radioativo para o ambiente — um dos acidentes nucleares mais graves da história, ao lado de Chernobyl.

6. O Acidente Radiológico de Goiânia (1987)

Questão relacionada: 7

O acidente de Goiânia ocorreu em 1987, quando uma fonte radioativa de Césio-137 — parte de um equipamento de radioterapia abandonado em uma clínica desativada — foi encontrada e violada por catadores de sucata, sem que soubessem do perigo que representava.

O material, que emitia uma luz azulada característica, foi distribuído entre familiares e vizinhos por curiosidade, causando a contaminação radioativa de dezenas de pessoas e resultando em mortes. É considerado um dos piores acidentes radiológicos do mundo ocorridos fora de usinas nucleares, evidenciando os riscos do descarte inadequado de fontes radioativas.

7. Meia-Vida de um Material Radioativo

Questão relacionada: 8

A meia-vida (representada por T) é o tempo necessário para que a quantidade — ou a atividade — de um material radioativo se reduza à metade do seu valor inicial. Cada material radioativo tem uma meia-vida característica, que pode variar de frações de segundo a bilhões de anos.

$$N(t) = N_0 \cdot (1/2)^{(t/T)}$$

onde $N(t)$ é a quantidade restante do material no instante t , N_0 é a quantidade inicial e T é a meia-vida do material.

Esse conceito é fundamental para avaliar os riscos de um acidente nuclear, pois indica por quanto tempo uma área ou material contaminado continuará emitindo radiação em níveis perigosos — orientando decisões como o tempo de isolamento de uma área, os métodos de descontaminação necessários e quando ela poderá voltar a ser habitada com segurança.

Exemplo prático: se um material tem meia-vida de 30 anos, após 30 anos restará metade da quantidade inicial de átomos radioativos; após 60 anos (duas meias-vidas), restará um quarto; após 90 anos (três meias-vidas), restará um oitavo — e assim sucessivamente.

8. Medidas de Segurança em Usinas Nucleares Modernas

Questão relacionada: 9

Após acidentes como os de Chernobyl e Fukushima, as usinas nucleares modernas passaram a incorporar diversas camadas de segurança, projetadas para reduzir a probabilidade e a gravidade de acidentes graves. Entre as principais medidas estão sistemas de resfriamento redundantes e independentes, incluindo geradores de emergência que continuam funcionando mesmo em caso de falha da rede elétrica; estruturas de contenção física, feitas de concreto e aço, que envolvem o núcleo do reator para reter eventual material radioativo liberado internamente; e sistemas de desligamento automático — conhecidos como SCRAM —, que inserem rapidamente as barras de controle e interrompem a reação em cadeia diante de qualquer anomalia detectada.

9. Vantagens e Desvantagens da Energia Nuclear

Questão relacionada: 10

Como qualquer fonte de energia, a energia nuclear apresenta vantagens e desvantagens que precisam ser avaliadas em conjunto ao se decidir sua participação na matriz elétrica de um país.

Vantagem: a energia nuclear gera uma grande quantidade de energia elétrica de forma contínua e estável, sem depender de condições climáticas — diferente da energia eólica ou solar —, e não emite gases de efeito estufa durante a operação normal da usina.

Desvantagem: em caso de acidente grave, a contaminação radioativa pode causar danos extremamente sérios à saúde humana e ao meio ambiente, persistindo por décadas, além do desafio de armazenar com segurança o lixo radioativo produzido, que permanece perigoso por milhares de anos.