

FISICA.NET

O CANAL DA FÍSICA NA INTERNET

PROF. ALBERTO RICARDO PRÄSS

REAÇÃO EM CADEIA

Um dos avanços científicos mais admiráveis do século XX foi a descoberta das reações em cadeia; em 1913 foram apenas as químicas mas três décadas depois foram as nucleares. Trata-se das reações químicas que uma vez começadas se mantêm a elas próprias até ao esgotamento completo das substâncias que intervêm na reação. Estas reações podem ser automatizadas em qualquer nível inicial ou ramificadas segundo uma progressão, por exemplo geométrica.

Como exemplo de reação química não ramificada, pode servir a reação de união do hidrogênio com o cloro. Estes elementos têm uma atração mútua tão grande que o átomo de hidrogênio divide facilmente a molécula de cloro e junta-se a um dos seus átomos, ou ao contrário, a molécula de cloro separa-se e junta-se a um dos átomos da molécula de hidrogênio. Quando livre, o átomo de cloro compensa instantaneamente esta perda arrancando um dos átomos de outra molécula vizinha da do hidrogênio, etc. Assim se mantém a reação até que o cada átomo de cloro não se adicione uma molécula de hidrogênio, ou reciprocamente, a cada átomo de hidrogênio uma molécula de cloro.

Um exemplo de reação química não ramificada é a união do hidrogênio com o oxigênio, em que o átomo de hidrogênio se separa e se adiciona a um dos átomos da molécula de oxigênio, formando-se o radical livre OH. O segundo átomo livre da molécula de oxigênio arranca e adiciona-se, seguidamente a um dos átomos da molécula de hidrogênio, em consequência do que se forma um radical livre OH e mais um átomo livre de hidrogênio.

Como resultado de toda esta operação existem já dois átomos livres de hidrogênio, cada um dos quais começa o seu ramo de separação e as edições de átomos de hidrogênio. Esta segunda geração deixa já livres 4 átomos de hidrogênio; a terceira por sua vez deixa 8; a seguinte 16; etc., isto é, a quantidade de átomos livres prontos a começar os seus ramos separados de multiplicação, duplica a cada nova geração aumentando como uma avalanche de neve. Todo o processo termina ou com esgotamento completo dos gases iniciais ou com uma potente explosão. Em poucas palavras, cada unidade que intervêm na reação provoca a reação de K unidades. Depois cada uma destas K unidades provoca a reação de outras K unidades, quer dizer serão incorporadas na reação K^2 unidades, etc. O número K neste caso denomina-se coeficiente de multiplicação. Se este coeficiente for, por algum motivo, menor do que a unidade

a reação começará a extinguir-se gradualmente; se for maior que a unidade, aumentará. No caso de o valor de K ser exatamente igual à unidade, o ritmo da reação manter-se-á ao mesmo nível com que começou.

REAÇÃO CONTROLÁVEL DE FISSÃO EM CADEIA:

Suponhamos que no isótopo fissível de urânio-235 entrou um único nêutron. Este ao cair num dos núcleos do átomo de urânio-235 divide-o em duas partes, libertando-se uma quantidade enorme de energia, de cerca de 200 MeV. Mas o mais importante reside no fato de, em resultado da fragmentação do núcleo do átomo de urânio-235, serem emitidos dois nêutrons livres que dividirão dois outros núcleos, dando já origem a quatro nêutrons. Estes quatro nêutrons dividem igual número de núcleos de átomos de urânio, os quais por sua vez emitem oito nêutrons. Assim o processo de divisão de núcleos e libertação de nêutrons tem lugar em forma de avalanche, duplicando-se a cada nova geração. Numa palavra, começa a reação nuclear automultiplicada de fissão em cadeia.

Para determinar imediatamente a rapidez de crescimento da reação em qualquer parte da substância fissível, utiliza-se uma grandeza especial que se denomina coeficiente de multiplicação de nêutrons K .

Este coeficiente indica quantas vezes é maior uma geração de nêutrons em relação à anterior, isto é, quantas vezes aumenta o fluxo de nêutrons após se consumir a porção de nêutrons que acabavam de nascer.

Se esta grandeza for maior que a unidade ainda que numa percentagem de um milésimo, mesmo assim a quantidade de nêutrons e conseqüentemente o número de divisões dos núcleos dos átomos de urânio-235 aumentará ainda em avalanche. Mas para utilizar a energia atômica em benefício do homem é necessário poder controlá-la: conseguir que o número de divisões por unidade de tempo, e por isso também a quantidade de energia libertada aumente lentamente e que a reação possa ser detida quando se alcança o nível exigido de potência. É evidente que isto é possível quando num determinado momento o coeficiente de multiplicação de nêutrons for igual à unidade. Se for menor a reação começa a extinguir-se.

Como se pode neste caso realizar a reação atômica em cadeia controlável?

No urânio natural não pode surgir a reação em cadeia, já que o coeficiente de multiplicação de nêutrons é sempre inferior à unidade devido ao fato dos nêutrons serem fortemente absorvidos pelos núcleos de urânio-238. Como é natural os nêutrons absorvidos não provocam nenhum aumento na descendência.

Há todavia outros caminhos a seguir para criar a reação em cadeia mesmo no urânio natural.

O problema consiste em moderar por algum meio (depois de cada divisão do núcleo de urânio-235) os nêutrons, até uma energia a que já não sejam todos absorvidos pelos núcleos dos átomos de urânio-238. Nestas condições parte dos nêutrons, moderados até energias térmicas, podem dividir o número necessário de átomos de urânio-235 para manter a reação em cadeia, e os nêutrons que não se puderam moderar serão absorvidos pelos núcleos de urânio-238. Daqui se depreende uma nova tarefa: encontrar um meio ou uma substância que permita moderar os nêutrons livres até velocidades térmicas aproximadamente até 0,03 eV - e que ao mesmo tempo não absorva os nêutrons.

Apenas se podem moderar os nêutrons por um processo: obrigando-os a chocar repetidamente com os núcleos dos átomos dos moderadores. Em cada choque o nêutron deve perder a maior parte da energia possível.

Das leis da mecânica deduz-se que, se a velocidade de um corpo em movimento se modera por meio de choques elásticos com outros corpos imóveis ou que se movam lentamente, então a maior quantidade de energia perde-se (transmite-se ao outro corpo) no caso das massas que chocam serem iguais ou próximas. Por isso, para moderar os nêutrons, o melhor é utilizar os núcleos dos átomos leves (o hidrogênio por exemplo). cuja massa é quase igual à massa do nêutron. Os melhores moderadores pelo conjunto das suas propriedades (pouca absorção de nêutrons, eficiência na desaceleração, custo mínimo e comodidade de exploração) são: a água pesada, a grafite pura e inclusivamente a água destilada corrente. A eficiência da moderação dos nêutrons consegue-se nos chamados reatores homogêneos onde o combustível nuclear se distribui uniformemente no moderador. Neste caso não se pode evitar a absorção intensiva dos nêutrons moderados até à energia de ressonância (velocidade) pelos núcleos do urânio-238. Por isso para excitar a reação em cadeia é necessário aumentar, correspondentemente, a quantidade do isótopo fissível do urânio-235.

Nos reatores criados para a produção do plutônio empregam-se elementos combustíveis de urânio natural. A distância entre os elementos combustíveis escolhe-se de maneira a que os nêutrons libertados na fissão dos núcleos de urânio-235 não sejam absorvidos todos ao mesmo tempo pelos núcleos de urânio-238. Uma certa parte, ao passar através da camada de moderador (grafite), deverá moderar-se até velocidades térmicas (0,03 eV) passando pelas velocidades de ressonância (1-7 eV) e, caindo no lingote vizinho de urânio, dividir tranquilamente o núcleo do átomo de urânio-235, evitando durante o percurso a absorção pelo núcleo do átomo de urânio-238. É natural que a grande dispersão de urânio-238, provocada por tal fenómeno, exija um aumento considerável da quantidade de urânio natural necessária para formar a

massa crítica. Para isto é necessário colocar no reator várias dezenas e mesmo centenas de toneladas de urânio natural.

Mas mesmo observando todos estes fatores seria muito difícil criar a reação controlável de fissão em cadeia, já que por si o processo físico se desenvolve tão rapidamente (cem milésimas partes do segundo) que não pode ser seguida mesmo pelos aparelhos supersensíveis e de maior rapidez.

De modo completamente inesperado surgiu o auxílio dos chamados nêutrons retardados.

Consiste o fato em que dois ou três dos nêutrons emitidos durante a divisão dos núcleos de urânio-235, não aparecem todos ao mesmo tempo. Primeiro saem os nêutrons instantâneos, que formam aproximadamente 99 por cento do número total, e só depois surge o restante 1 por cento de nêutrons, com um atraso aproximado de 0,0001 até várias dezenas de segundos.

Foram precisamente estes que permitiram, da forma mais segura, controlar a marcha da reação nuclear de fissão em cadeia, não apenas com a ajuda de instalações automáticas, mas também manualmente. Nestas condições a potência do reator aumenta bastante lentamente, e em nenhum caso chega ao “encaixotamento”.

Por fim, mais uma condição com grande importância. Uma parte dos nêutrons que surgem na divisão dos núcleos do átomo de urânio-235, «viajando» dentro do urânio e do moderador, pode sem cair em nenhum núcleo do átomo moderador, sair simplesmente para o exterior. Pode-se evitar esta perda de nêutrons rodeando o reator com um único invólucro de uma substância que reflita os nêutrons, por exemplo a grafite. Sofrendo numerosos choques com os átomos do moderador, os nêutrons voltam para a zona ativa do reator.

Reduz-se assim gradualmente o número de nêutrons que se perdem sem recuperação. Devido a esta economia de nêutrons, pode-se reduzir a carga do combustível nuclear do reator.