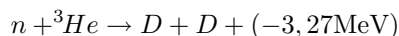


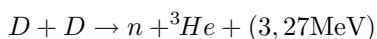
Reazioni

Giuseppe Dalba

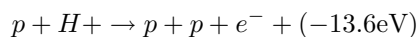
Un urto viene detto *reazione* se le particelle dopo l'urto differiscono dalle particelle prima dell'urto (cambiano natura). Chiamiamo a e b le particelle prima dell'urto (particelle reagenti) e c e d quelle dopo l'urto (prodotti di reazione) nella reazione $a + b \rightarrow c + d$. Le particelle a e b a seguito dell'urto si "convertono" nelle particelle c e d . Vediamo alcuni esempi di reazione: un neutrone su un nucleo di elio-tre può spaccare il nucleo e dare origine a due nuclei di deuterio (idrogeno con un neutrone in più):



La reazione inversa è la fusione nucleare di due atomi di deuterio:



Un protone a più basse energie in collisione con un atomo di idrogeno può ionizzarlo liberando l'elettrone di valenza:



In una reazione si ha uno scambio fra energia interna ed energia cinetica. Poichè in una reazione non si ha conservazione dell'energia cinetica, una reazione altro non è che un urto anelastico. Se indichiamo con E_a ed E_b le energie interne dei reagenti, con T_a e T_b le energie cinetiche dei reagenti, con E_c ed E_d le energie interne dei prodotti e con T_c e T_d le energie cinetiche dei prodotti, la conservazione dell'energia totale può essere scritta come:

$$E_a + E_b + T_a + T_b = E_c + E_d + T_c + T_d$$

La quantità

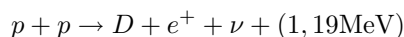
$$Q = (E_a + E_b) - (E_c + E_d) = (T_c + T_d) - (T_a + T_b)$$

viene detta *energia di reazione*. In tutti gli esempi precedenti questa quantità compare fra parentesi tonde. Se $Q > 0$ significa che dell'energia interna dei reagenti si è trasformata in energia cinetica dei prodotti della reazione: la reazione si dice allora *esotermica*. Nel caso in cui l'energia cinetica dei prodotti della reazione è inferiore a quella dei reagenti allora $Q < 0$. Ciò equivale a dire che

$$E_c + E_d > E_a + E_b$$

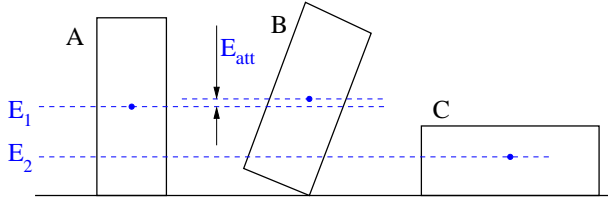
cioè l'energia cinetica dei reagenti si trasforma in energia interna dei prodotti della reazione. In questo caso la somma delle energie cinetiche dei reagenti deve essere superiore ad un certo valore minimo affinché la reazione sia cinematicamente permessa. Se questo valore minimo non viene raggiunto la reazione non può aver luogo. Ovviamente il valor minimo è uguale a $|Q|$. L'energia cinetica minima dei reagenti necessaria all'innesco della reazione viene detta *soglia di reazione*.

Bisogna sottolineare che superare la soglia di reazione è solo una condizione necessaria. Infatti una reazione esotermica, per la quale la soglia di reazione è zero, non è detto che abbia luogo spontaneamente. Per capire perchè bisogna introdurre il concetto di *energia di attivazione*. Per esempio, la reazione di fusione di due protoni è esotermica:



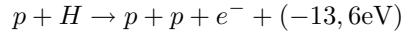
In questo caso $Q = 1,19\text{MeV}$ è l'energia cinetica supplementare dei prodotti di reazione. Sebbene $Q > 0$ questa reazione *non* può procedere spontaneamente perchè i due protoni devono

superare la forza di repulsione coulombiana. A questo proposito occorre che i due protoni abbiano un'energia cinetica minima per superare la forza repulsiva coulombiana. Questa energia cinetica non viene utilizzata nella reazione, essa assicura solo che la reazione avvenga. Questa energia cinetica è appunto l'energia di attivazione.



Per comprendere ancora meglio questo concetto, facciamo una analogia meccanica. In figura, sebbene lo stato C abbia energia potenziale minore dello stato A il blocco non può passare spontaneamente da A a C ; occorre che esso riceva dall'esterno un'energia pari a E_{att} , cioè l'energia di attivazione.

Torniamo ora al concetto di soglia di reazione, applicato all'esempio di un processo di ionizzazione. L'energia necessaria a ionizzare un atomo di idrogeno è $13,6\text{eV}$:



Consideriamo questo processo nel riferimento del centro di massa per il sistema bersaglio (H) più proiettile (p). La condizione per essere in soglia di reazione è che tutte le particelle dopo l'urto abbiano l'energia cinetica più piccola possibile, ovvero siano ferme.

Se guardiamo lo stesso processo dal riferimento in cui il bersaglio era inizialmente fermo, vedremo le tre particelle muoversi come un corpo rigido di massa M e velocità v_f . In questo stesso riferimento, detta v_s la velocità iniziale (di soglia) del proiettile ed m la sua massa, la conservazione dell'impulso implica:

$$mv_s = Mv_f \quad \Rightarrow \quad v_f = v_s \frac{m}{M}$$

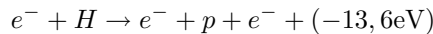
La variazione di energia cinetica deve essere $|Q| = 13,6\text{eV}$, coperta dall'energia cinetica iniziale $T_s = \frac{1}{2}mv_s^2$ del proiettile (energia di soglia), dunque:

$$\frac{1}{2}mv_s^2 = |Q| + \frac{1}{2}Mv_f^2 = |Q| + \frac{1}{2}v_s^2 \frac{m^2}{M} \quad \Rightarrow \quad T_s \left(1 - \frac{m}{M}\right) = |Q|$$

Vediamo quindi che l'energia di soglia dipende dalla quantità $|Q|$ e da un fattore geometrico determinato dal tipo di reazione e dalle particelle interagenti. Nella reazione in questione, la massa delle particelle finali M è praticamente due volte la massa del protone m_p , poichè l'elettrone è molto più leggero. Dunque, se il proiettile è pure un protone:

$$T_s = \frac{M}{M-m}|Q| \approx 2|Q| = 27,2\text{eV}$$

Nel caso invece di un elettrone contro un atomo di idrogeno si ha $m \ll M$, ovvero $T_s \sim |Q|$:



$$E_1 \sim |Q| = 13,6\text{eV}$$

Dunque è più conveniente ionizzare l'idrogeno usando elettroni invece che protoni.