

A neutron tömegének mérése

Egy radioaktív forrásból származó alfa-részecskenyaláb berillium céltárgyra esve neutronokat kelt, amikor az alfa-részecskék eltalálják a berillium atommagot és onnan egy neutronot ütnek ki. Az alfa-részecskék energiáját meghatározza az anya és leányelem tömege, ezek sok bomlás folyamán azonos értékűek. A neutron kilökési szöge függvényében a neutron energiája változhat, de a reakcióban felszabadul energia. Emiatt a neutronok energiája közel azonos minden neutron esetén. Egyszerűsítsük a helyzetet azzal, hogy a neutronok sebességét állandónak tekintjük és jelöljük ezt u -val.

Ezek a neutronok később más atommagokkal is tudnak ütközni. Ilyen ütközéseket hozott létre James Chadwick ionizációs kamra detektorokban. Hidrogéngázzal, oxigéngázzal és más gázokkal töltött kamrákban mérte meg a neutronok által meglökött atommagok energiáját. Centrális ütközésben ad át a neutron legtöbb energiát, ezért a meglökött magok energiájának maximumát mérve meg lehet határozni, hogy a centrális ütközésben ezek a magok mekkora sebességre tettek szert. Két ilyen gúzt használva megmérjük a V_1 , és V_2 meglökődési sebességeket. Ezen felül ismerjük, hogy milyen gáz volt a detektorban, ezért azt is tudjuk, hogy milyen tömegű atommagokat (M_1, M_2) löktek meg a neutronok. A neutron tömege ismeretlen és a neutron kezdeti u sebessége is.

Írjuk fel az energia- és az impulzus megmaradásának törvényét két centrális ütközésre. Amikor a neutron az egyik ill. a másik gáz egyik atommagjával ütközik. Ilyenkor van még két paraméter, amit nem tudunk megmérni. Ezek a neutron ütközés utáni sebességei a két esetben (u_1, u_2).

$$\frac{1}{2}mu^2 + 0 = \frac{1}{2}mu_1^2 + \frac{1}{2}M_1V_1^2 \quad (1)$$

$$mu = mu_1 + M_1V_1 \quad (2)$$

$$\frac{1}{2}mu^2 + 0 = \frac{1}{2}mu_2^2 + \frac{1}{2}M_2V_2^2 \quad (3)$$

$$mu = mu_2 + M_2V_2 \quad (4)$$

Ez négy ismeretlen (m, u, u_1, u_2) és négy egyenlet. Az m tömeget szeretnék kifejezni, az u, u_1, u_2 nem fontos. Az u négy egyenletben szerepel, a másik kettő csak kettőben, ezért ez utóbbiakat ejtjük először ki.

$$u_i = \frac{mu - M_iV_i}{m} = u - \frac{M_iV_i}{m}$$

$i=1, 2$. Ezt behelyettesítve az előző egyenletekbe:

$$\frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}m \left(u - \frac{M_iV_i}{m} \right)^2 + \frac{1}{2}M_iV_i^2 = \frac{1}{2}mu^2 - \frac{1}{2}m \frac{2uM_iV_i}{m} + \frac{1}{2}m \frac{M_i^2V_i^2}{m^2} + \frac{1}{2}M_iV_i^2$$

Az $1/2mu^2$ kiesik és egyszerűsítések után:

$$2uM_iV_i = M_iV_i^2 \left(\frac{M_i}{m} + 1 \right)$$

Tovább egyszerűsítünk M_iV_i -vel:

$$2u = V_i \left(\frac{M_i}{m} + 1 \right)$$

Mindkét i -re igaz ez, ezeket egyenlővé téve, és beszorozva m -mel:

$$2um = V_1(M_1 + m) = V_2(M_2 + m)$$

A bal oldalom uis kiesik, a másik egyenletet átalakítva:

$$V_1M_1 + mV_1 = V_2M_2 + mV_2$$

Ezt átrendezzük:

$$m(V_1 - V_2) = M_2V_2 - M_1V_1$$

Ebből megkapjuk a neutron tömegét, a megmért ill. ismert paraméterekből:

$$m = \frac{M_2V_2 - M_1V_1}{V_1 - V_2}$$

A formula jobb oldala éppen azt fejezi ki, hogy a centrálisan meglökött atommag sebességének függvényében az impulzusukat felrajzolva, a görbének ($MV = f(V)$ egyenesnek) mennyi a meredekségének abszolút értéke.