VIII. Tömeg és energia (példák).

Évszázadunk eleje óta pontosan igazolt természeti törvény, hogy az energianövekedés és tömegnövekedés, illetőleg ezek csökkenése együttesen, egyszerre következnek be. Tömeg és energia együtt jönnek, együtt mennek.

Adatok.

144 km/h = 40 m/sec sebességgel haladó 2000 tonna tömegű vonat tömegnövekedése $1{,}78\cdot10^{-5}$ gramm.

A Föld $6\cdot10^{24}$ kg-os tömege a Nap körüli, 30 km/sec sebességű keringése következtében $3\cdot10^{16}$ kg-al nagyobb tömegű, mintha állna.

Ha egy vödörben álló 20 liter 20 °C-os vizet 100 °C-ra melegítünk, akkor energiája $8{,}4\cdot10^{6}$ joule-val növekszik, egyszersmind tömege 10^{-7} grammal lesz nagyobb. Tehát a meleg vizes vödröt nehezebb fellökni, mint a hideget.

Egy 1 kg tömegű, 2 volt feszültségű, 50 amperórás (180000 coulomb töltést tartalmazó) feltöltött akkumulátor 360000 joule energiája folytán $4\cdot10^{-9}$ grammal nehezebb, mint kisütve. Az elektronok darabszámában nincs változás, mert az akkumulátor egészben véve elektromosan semleges akár feltöltött, akár kisütött állapotban.

Töltött részek gyorsítása.

Ha egy elektron vagy proton feszültségkülönbségű elektródák között repül át bizonyos hosszúságú úton, akkor m_0 tömeg, Q töltés esetében U feszültségkülönbségnél az elektromos erők munkavégzése QU és ez alakul át mozgási energiává. Ennek folytán a klasszikus fizika szerint

$$\sqrt{2QU/m_0}$$

végsebességet szerezne meg. Az $m_0 = 9{,}1\cdot10^{-31}$ kg tömegű elektronnál 260000 voltnál, az $m_0 = 1{,}67\cdot10^{-27}$ kg tömegű protonnál $470\cdot10^{6}$ voltnál következne be a fénysebesség elérése. ($Q = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C.) A fénysebesség elérése természetesen lehetetlen. Most következik a számítás a relativitáselmélet alapján.

Ha m_0 nyugalmi tömegű, Q töltésű részecske U feszültségkülönbségen repül át, akkor az elektromos erők munkavégzése QU. Ebből lesz a mozgási energia:

$$QU = m_0c^2\cdot\left[\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}}-1\right].$$

Ebből kifejezve v-t kapjuk a sebességet mint a feszültség függvényét:

$$v=\sqrt{\frac{2QU}{m_0}}\cdot\frac{\sqrt{1+\frac{Q}{2m_0c^2}\cdot U}}{1+\frac{Q}{m_0c^2}\cdot U}.$$

A hozzátartozó k-érték egyszerűen így következik:

$$k=1+\frac{QU}{m_0c^2}.$$

U volt	elektron v km/sec	elektron k	proton v km/sec	proton k
0	0	1	0	1
1 000	18 760	1,0019	438	1,000 001
60 000	87 600	1,045	3 374	1,000 063
1 MeV= 10^6	283 000	3	13 830	1,006
100 MeV= 10^8	299 996	201	128 388	1,106
1 GeV=10^9	299 987,5	2001	262 447	2,064
CERN $30\cdot10^9$			299 863,5	33,1
Szerpuchov $70\cdot10^9$			299 972,7	75,9
Chicago $300\cdot10^9$			299 999,52	320
Stanford $20\cdot10^9$	299 999,91	40 000		
(Fermilab) 10^{12}			299 999,86	1265

A táblázat néhány sebességet és hozzátartozó k-értéket tüntet fel, köztük néhány nagy részecskegyorsító adatát. A sebességek a fénysebesség kerek c = 300000 km/sec értékére vannak számítva.

A tömegnövekedés igen számottevő lehet, tehát a gyorsítók tervezésénél figyelembe kell venni. Az elektronok kisebb tömegük folytán hamarabb lesznek "relativisztikusak", azaz majdnem elérik a fénysebességet. Ezután a gyorsítás folytatásakor majdnem ugyanazzal a sebességgel ugyanazon a körpályán mozognak és energiagyarapodásuk elsősorban a tömeg és nem a sebesség növekedésében nyilvánul meg.

Képletünk átalakításával megmutatható, hogy határértékben $U = \infty$-hez $v = c$ tartozik.

A gyorsított elektron tömeg- (és energia-) gyarapodásával egyenlő mértékben csökken a gyorsítóberendezés tömege (energiája).

A tömegmegmaradás és energiamegmaradás törvényei esetében egyetlen törvényről van szó, hiszen a tömeg és energia egyenesen arányosak.

Korpuszkula és foton.

Kétféle anyag van.

A makroszkopikus tárgyak, valamint molekulák, atomok, protonok, neutronok, elektronok úgynevezett korpuszkulák, ezek számára a fénysebesség elérhetetlen felső korlát. A gyorsító erő növeli a sebességet, de a tömeget is, így a gyorsulás mindinkább csökken, a fénysebesség elérhetetlen.

A fény (elektromágneses hullám) energiájának kibocsátása és elnyelése meghatározott adagokban (fénykvantum, foton) történik. A foton energiája nem a foton sebességétől, hanem egy másik adattól, a rezgésszámától függ, 1 foton energiája arányos a rezgésszámmal (f frekvencia $\sec^{-1}$-ben mérve):

$$E = hf;$$

h a Planck-állandó, $h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ joule/sec^{-1}. A foton tulajdonsága, hogy vákuumban csakis c fénysebességgel képes haladni, számára a kisebb sebesség tilos. Ha a fény sebességét egy akadállyal fékezni akarjuk, akkor a fény elnyelődik. A foton tömege hf/c^2, impulzusa hf/c.

Mindkét fajta anyagnak közös tulajdonsága, hogy tehetetlensége, tömege van és alá van vetve a gravitációnak.

Sugárzás, fényelnyelés.

A Nap $6{,}2\cdot10^{18}$ m^2 nagyságú felületén összesen, minden hullámhosszon $4\cdot10^{26}$ watt teljesítményt sugároz ki, minden m^2-en 64,5 MW-ot, minden dm^2-en 6450 wattot. Ezzel együtt a fotonok másodpercenként $4{,}4\cdot10^9$ kg tömeget visznek el (2000 Duna hozama egyenlő ezzel).

A kisugárzott energiából a Földnek a Nap felé fordított minden merőleges négyzetméterét 1500 watt éri és ezeknek a fotonoknak $1{,}67\cdot10^{-11}$ grammos tömege is megérkezik (a légkör legfelső határára). Az egész Földet $3{,}75\cdot10^{18}$ watt és másodpercenként 42 kg tömegű foton találja el. De ezt a teljesítményt és tömeget a Föld hosszabb időbeli átlagban ismét kisugározza a világűr felé.

Az elektromágneses hullámok kibocsátásakor a fotonok energiát és tömeget visznek el; amikor elnyelődnek, az elnyelő test tömege növekszik, valamint energiát is kap (melegszik, stb.).

Szétsugárzás, párképződés.

Az m_0 nyugalmi tömegű test energiáját az $E = m_0kc^2$ képlet adja meg. Ha a sebesség $v = 0$, akkor $k = 1$ és a testben ekkor is van $E_0 = m_0c^2$ energia. Ez fotonok kibocsátásakor mozgósítható, értékesíthető.

Amikor 1 kg 235-ös tömegszámú urán atommagjai az atomreaktorban kettéhasadnak, akkor a keletkezett atomtörmelék nyugalmi tömege 0,999 kg. Az

energiát a robbanáskor a nagy sugárzással együtt létrejövő 1 grammnyi foton viszi el, ezek együttes energiája $9\cdot10^{13}$ joule = $25\cdot10^{6}$ kWh.

Ha egy elektron és egy pozitron (pozitív elektron) találkoznak, akkor belőlük két foton keletkezik. A fotonok $2hf$ összenergiája a két korpuszkula (rejtett) $2m_0c^2$ energiájából lesz, a fotonok mindegyikének hf/c^2 tömege egyenlő a találkozó korpuszkulák nyugalmi tömegével. Ez a folyamat a szétsugárzás, az össztömegek és összenergiák megmaradnak:

$$\left.\begin{array}{ll} m_0 = 9{,}1\cdot10^{-31}\ \text{kg}, & hf/c^2 = 9{,}1\cdot10^{-31}\ \text{kg} \\ m_0c^2 = 8{,}19\cdot10^{-14}\ \text{joule}, & hf = 8{,}19\cdot10^{-14}\ \text{kg} \end{array}\right\} \begin{array}{l} f = 1{,}24\cdot10^{20}\ \text{sec}^{-1}, \\ \lambda = 2{,}42\cdot10^{-12}\ \text{m}. \end{array}$$

Ha két, legalábbis $8{,}19\cdot10^{-14}$ joule energiájú foton alkalmas körülmények között találkozik, akkor keletkezhet belőlük elektron–pozitron-pár, vagyis korpuszkulák. Ilyenkor a fotonok tömegéből lesz a korpuszkulák nyugalmi tömege, energiájukból a korpuszkulák m_0 tömegeihez tartozó m_0c^2 (rejtett) energia. Ha a találkozó fotonok energiája az említettnél nagyobb, akkor a korpuszkulák mozgási energiát is kapnak.

IX. Mozgás állandó erő hatására

Vissza a tartalomjegyzékhez

INDEX