



Acceleratori naturali de particule

Studii aprofundate au arătat că în timpul unei furtuni atmosferice în care se manifestă fenomene electrice, tensiunea care accelerează purtătorii de sarcină electrică dintr-un fulger ajunge la $U_0 = 20$ MV! Este de presupus că particulele respective ajung la viteze considerabile. Cam la fel se întâmplă și în acceleratoarele de particule folosite în cercetările din fizica modernă.

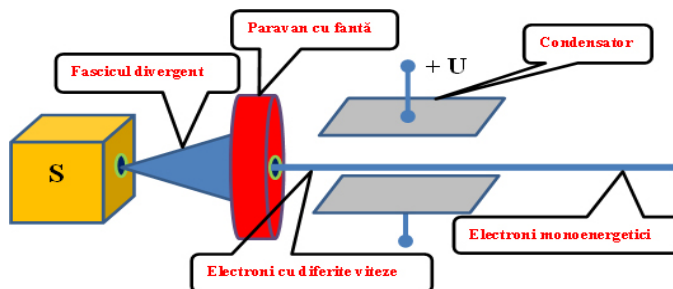
Ești fizician – cercetător și trebuie să calculezi viteza pe care o ating electronii în acceleratorul de particule la care lucrezi (situație ipotetică, evident!). Pentru început, trebuie să obții un fascicul de electroni monoenergetici de la o sursă care produce electroni cu viteze distribuite. Aceștia sunt trecuți printr-un condensator plan la care plăcile sunt orizontale, situate la distanța $d = 10$ mm una de alta, și cărora li se aplică o tensiune electrică constantă $U = 20$ V. Pentru ca electronii care trec de condensator nedeviați să aibă doar viteza $v = 20$ km/s, trebuie aplicat un câmp magnetic constant suprapus peste câmpul electric dintre plăcile condensatorului.

a) Respectând cele prezentate în figura alăturată, figurează inducția câmpului magnetic aplicat și calculează valoarea ei minimă.

b) După trecerea de sistemul de filtrare a vitezelor, electronii sunt accelerați sub tensiunea U_0 . Determină valoarea vitezei v_1 a electronilor în urma accelerării. Spre edificare sunt necesare mai multe zecimale!

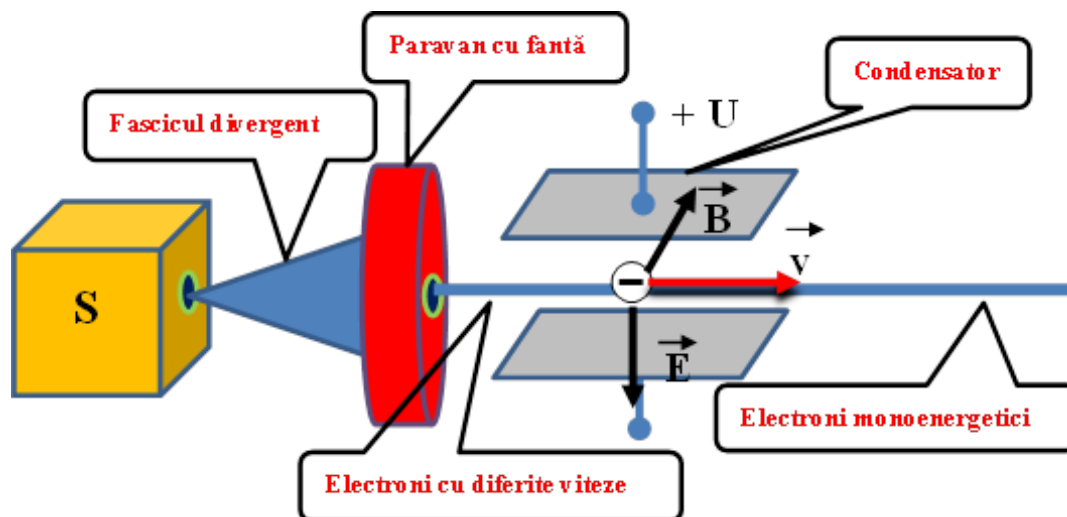
c) Fascicule formate cu astfel de electroni sunt orientate unul către celălalt în vederea unei coliziuni frontale. Cu ce viteză relativă se ciocnesc electronii din aceste fascicule?

Se cunosc: masa de repaus a electronului ($m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg), viteza luminii în vid ($c = 3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹), sarcina electrică elementară ($e = -1,602 \cdot 10^{-19}$ C).



Petrică Plitan, Colegiul Național *Gheorghe Șincai*, Baia Mare
Ion Băraru, Colegiul Național *Mircea cel Bătrân*, Constanța

Soluție și barem de notare:





a) Pentru ca un electron să treacă nedeviat prin câmpurile electric și magnetic încrucișate, trebuie ca forța Lorentz și forța electrică ce acționează asupra electronului ales să fie egale în modul și de sens opus. Pentru reprezentarea corectă a vectorului inducție magnetică: **1 p.**

$$-evBsina = -eE = -e \frac{U}{d} \quad \mathbf{1\ p}$$

Inducția magnetică va fi:

$$B = \frac{E}{v \cdot \sin \alpha} = \frac{U}{d \cdot v \cdot \sin \alpha} \quad \mathbf{0,5\ p}$$

Pentru $\alpha = 90^\circ$, B ia valoare minimă. Numeric:

$$B = 0,1\ T \quad \mathbf{0,5\ p}$$

b) Pentru a determina viteza electronilor accelerați se aplică teorema de variație a energiei cinetice. Presupunem că după accelerare electronii nu devin relativişti, masa rămânând invariantă:

$$\frac{m_0 v_1^2}{2} - \frac{m_0 v^2}{2} = e \cdot U_0.$$

Rezultă:

$$v_1 = \sqrt{v^2 + \frac{2 \cdot e \cdot U_0}{m_0}} \cong 2,6533 \cdot 10^9 \frac{m}{s} !,$$

viteza mai mare decât cea a luminii, ceea ce este nepermis din punctul de vedere al teoriei relativității restrânse.

Trebuie aplicată teorema de variație a energiei conform acestei teorii:

$$m \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2 = e \cdot U_0, \quad \mathbf{2\ p}$$

unde:

$$m = m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \mathbf{1\ p}$$

Rezultă:

$$v_1 = c \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{e \cdot U_0}{m_0 \cdot c^2}\right)^2}} = 0,99968933 \cdot c! \quad \mathbf{1\ p}$$

c) Legea relativistă de compunere a vitezelor este:

$$v_a = \frac{v_r + v_t}{1 + \frac{v_r \cdot v_t}{c^2}}. \quad \mathbf{0,5\ p}$$

Rezultă:

$$v_r = \frac{c^2 \cdot (v_a - v_t)}{c^2 - v_a \cdot v_t}. \quad \mathbf{0,5\ p}$$

Aici vom considera:

$$v_a = v_1, v_t = -v_1 \quad \mathbf{0,5\ p}$$

Rezultă:

$$v_r = \frac{2 \cdot v_1}{1 + \frac{v_1^2}{c^2}} = 0,9999999517 \cdot c \quad \mathbf{0,5\ p}$$

Din oficiu: **1 p**

Total: **10 p**