



Problema I (10 puncte)

În experimentele realizate recent la CERN (*Centrul European pentru Cercetări Nucleare*), pentru a reproduce condițiile fizice imediat următoare apariției Universului (teoria *Big Bang*), au fost studiate rezultatele ciocnirilor frontale ale unor fascicule de protoni accelerați până la energii cinetice de 7.000 GeV. Pentru a obține astfel de energii, protonii au fost accelerați în trepte, utilizând o succesiune de acceleratori de particule, dintre care ultimul este LHC (*Large Hadron Collider*) – cel mai mare și cel mai modern accelerator de particule în funcțiune în lume în prezent, cu o lungime totală de 26.659 metri și 9.300 de magneți supraconductori (*acestea sunt informații de cultură de specialitate; nu sunt necesare în rezolvarea întrebărilor propuse*). Energiile cinetice obținute la sfârșitul fiecărei trepte de accelerare sunt următoarele:

Treapta de accelerare	Energia cinetică finală a protonilor	Acceleratorul utilizat
1.	50 MeV	Linac 2
2.	1,4 GeV	PS Booster
3.	25 GeV	PS
4.	450 GeV	SPS
5.	7.000 GeV	LHC

Știind că energia de repaus a protonului este $E_0 = 938 \text{ MeV}$, se cere:

- Să se determine dependența raportului dintre masa de mișcare și masa de repaus a protonilor în funcție de energia cinetică la sfârșitul fiecărei trepte de accelerare.
- Două fascicule de protoni accelerați până la energia cinetică finală de 7.000 GeV se ciocnesc frontal. Care este viteza relativă a protonilor dintr-un fascicul față de protonii din celălalt fascicul (exprimată în funcție de viteza luminii c)?
- Să se determine pe parcursul căreia dintre treptele de accelerare este posibil ca din ciocnirea unui proton accelerat cu un proton în repaus în sistemul laboratorului să se producă un antiproton, conform reacției: $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$, unde cu p s-a notat protonul, iar cu \bar{p} antiprotonul (antiprotonul are masa de repaus egală cu masa de repaus a protonului și sarcina electrică $-e$). Se va considera energia cinetică minimă a protonului incident necesară pentru producerea reacției (așa numita „condiție de prag”).

- Fiecare dintre subiectele 1, respectiv 2 se rezolvă pe o foaie de hârtie separată, care se secretizează.
- În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
- Durata probei este de 2 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
- Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
- Fiecare dintre cele două subiecte se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma punctajelor acordate pentru fiecare dintre cele două subiecte.



Problema a II-a (10 puncte)

Circuitul extern al unei fotocelule conține un rezistor cu rezistența electrică R . Măsurarea curentului fotoelectric I în acest circuit se face măsurând tensiunea U pe rezistor, atunci când catodul fotocelulei este iluminat cu radiație luminoasă cu fluxul constant. Experimental se constată că valorile curentului și tensiunii nu sunt constante în timp, ci variază aleatoriu, în jurul valorilor lor medii. Aceste fluctuații poartă numele generic de *zgomot*, ce poate fi:

- zgomot termic** – care își are originea în agitația termică a electronilor din rezistor. Chiar și în absența curentului continuu, agitația termică dă naștere unei diferențe de potențial fluctuante la capetele rezistorului, care se comportă astfel ca un generator a cărui t.e.m. ε are valoarea medie în timp nulă. Dacă se utilizează un receptor selectiv, ce lasă să treacă semnalul într-o bandă de frecvențe cu lărgimea Δf centrată pe frecvența de reglaj (nulă în cazul curentului continuu), abaterea pătratică medie a tensiunii pe rezistor este dată de legea $\overline{\varepsilon^2} = 4RkT\Delta f$, unde $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K este constanta lui Boltzmann, iar T este temperatura absolută a rezistorului.
- zgomot de alicie** – care apare ca urmare a structurii granulare a sarcinii electrice: curentul fotoelectric are mici fluctuații δ în jurul valorii medii I , astfel încât valoarea instantanee a curentului este $i = I + \delta$. Abaterea pătratică medie a curentului are expresia $\overline{\delta^2} = 2eI\Delta f$, unde $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C este sarcina elementară, iar Δf are semnificația menționată anterior.

În experimentele în care se studiază rolul zgomotului în determinarea curentului fotoelectric se utilizează, pe rând, o fotocelulă uzuală și una cu multiplicator de electroni. În acest ultim caz curentul de fotoelectroni și fluctuațiile sale sunt multiplicați cu același factor $m = 1,00 \cdot 10^6$. Să se determine, pentru ambele tipuri de fotocelule:

- valoarea critică U_c a tensiunii pe rezistor pentru care cele două tipuri de zgomot au efecte echivalente. Se cunoaște că $T = 290$ K. Pentru tensiuni pe rezistor de ordinul zecilor de milivolți, este mai avantajoasă folosirea fotocelulei simple sau a fotomultiplicatorului?
- valoarea minimă a curentului fotoelectric pentru care fluctuațiile tensiunii pe rezistor nu depășesc $\alpha = 10\%$ din valoarea medie. Se cunosc: $T = 290$ K, $R = 1,00$ M Ω și $\Delta f = 1,00$ Hz;
- valoarea parametrului α definit mai sus, dacă valoarea curentului datorat electronilor emiși de catod este cea a curentului de obscuritate $I_0 = 1,00 \cdot 10^{-14}$ A (în absența iluminării, catodul oricăreia dintre cele două fotocelule emite un anumit număr de electroni în unitatea de timp prin emisie termică, determinând un curent I_0 , numit *curent de obscuritate*).

*Subiect propus de
conf. univ. dr. Sebastian POPESCU, Facultatea de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași,
prof. Gabriel Octavian NEGREA, Colegiul Național „Gheorghe Lazăr” – Sibiu*

- Fiecare dintre subiectele 1, respectiv 2 se rezolvă pe o foaie de hârtie separată, care se secretizează.
- În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
- Durata probei este de 2 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
- Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
- Fiecare dintre cele două subiecte se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma punctajelor acordate pentru fiecare dintre cele două subiecte.

- 1. Fiecare dintre subiectele 1, respectiv 2 se rezolvă pe o foaie de hârtie separată, care se secretizează.*
- 2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.*
- 3. Durata probei este de 2 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.*
- 4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.*
- 5. Fiecare dintre cele două subiecte se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma punctajelor acordate pentru fiecare dintre cele două subiecte.*