

Subiectul 1: Modelul Bohr ...

Într-un laborator de cercetare avansată se investighează proprietățile unui atom exotic asemănător hidrogenului, care conține un singur electron, dar al cărui nucleu are masa M diferită față de cea a protonului și sarcina electrică Ze .

a) Să se demonstreze că, în cazul unui sistem format din două particule (electronul și nucleul) care interacționează printr-o forță centrală, prin alegerea unui sistem de referință adecvat, ecuațiile de mișcare se reduc la ecuația de mișcare a unei singure particule, fictive, aflată în câmpul forței centrale. Să se deducă expresia masei μ a acestei particule în funcție de masa M a nucleului și de masa m_e a electronului. Să se demonstreze că există un sistem de referință inerțial față de care energia cinetică a sistemului este egală cu energia cinetică a acestei particule fictive.

b) Folosind ipotezele modelului Bohr, să se deducă, pentru atomul exotic asemănător hidrogenului, expresia energiei totale a sistemului electron-nucleu în starea staționară cu numărul cuantic principal n în funcție de $(\mu, h, n, Z, e, \epsilon_0)$, unde ϵ_0 este permitivitatea electrică absolută a vidului.

c) Cu ajutorul unei rețele de difracție se măsoară cu mare precizie lungimile de undă ale liniilor spectrale prezentate în **Tabelul 1**, unde n_i este numărul cuantic principal al nivelului energetic inițial, n_f este numărul cuantic principal al nivelului energetic final, λ reprezintă lungimea de undă a radiației emise în tranziția corespunzătoare din atomul de hidrogen, iar λ_{exp} este lungimea de undă obținută pe cale experimentală pentru atomul exotic.

Tabelul 1

Tranziția	$n_i \rightarrow n_f$	λ/nm	λ_{exp}/nm
1	$2 \rightarrow 1$	121,57	121,98
2	$3 \rightarrow 1$	102,57	103,04
3	$3 \rightarrow 2$	656,47	657,22
4	$4 \rightarrow 2$	486,27	487,31

Se consideră cunoscute:

- Produsul dintre constanta lui Planck, h , și viteza luminii în vid, c : $hc = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$
- Energia totală a electronului pe prima orbită Bohr în atomul de hidrogen: $E_1 = -13,6 \text{ eV}$.

Cu valorile experimentale ale lungimilor de undă prezentate în **Tabelul 1** pentru tranzițiile energetice ale atomului exotic, să se determine masa M a nucleului exotic în unități de masă electronică, m_e , ținând cont de estimarea deviației standard pentru masa μ .

d) Pentru atomul exotic studiat se consideră electronul pe nivelul fundamental $n = 1$. Folosind principiul de nedeterminare al lui Heisenberg, să se estimeze raza regiunii în care electronul poate fi localizat, precum și energia minimă asociată cu această localizare. Se consideră cunoscută raza primei orbite Bohr în atomul de hidrogen: $r_1 = 5,2918 \cdot 10^{-11} \text{ m}$.

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 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 subiect se notează de la 10 la 0 (fără punct din oficiu). Punctajul final este suma acestora.

Subiectul 2: Împrăștierea radiației pe electroni în mișcare

Față de un sistem de referință fix (sistemul laboratorului notat S_0) un foton având lungimea de undă $\lambda_0 = 0,1\text{\AA}$, care se propagă de-a lungul și în sensul pozitiv al axei Ox , suferă o ciocnire Compton cu un electron având energia cinetică $E_c = 0,511\text{MeV}$, care se deplasează pe aceeași direcție și în sens opus. Știind pentru electron lungimea de undă Compton $\Lambda = 0,024\text{\AA}$ și energia de repaus $m_0c^2 = 0,511\text{MeV}$ să se determine:

- Lungimea de undă a λ a fotonului în sistemul de referință S al electronului;
- Unghiul θ_0 al fotonului împrăștiat față de axa Ox în sistemul laboratorului S_0 dacă în sistemul de referință S al electronului fotonul este împrăștiat la un unghi $\theta = 60^\circ$ față de direcția inițială;
- Lungimea de undă a λ'_0 a fotonului împrăștiat în sistemul de referință al laboratorului S_0 ;
- Energia cinetică E'_c a electronului și unghiul de împrăștiere φ dintre direcția inițială de mișcare și direcția după ciocnirea cu fotonul, în raport cu sistemul laboratorului S_0 .

Subiectul 3: Evenimente fizice recepționate din Sisteme de Referință Inerțiale diferite

A. Explozii stelare

În desenul din figura 1 sunt reprezentate două sisteme de referință inerțiale: sistemul fix $SXYZ$ și sistemul mobil $S'X'Y'Z'$, care se deplasează rectiliniu și uniform cu viteza $\vec{u}$ față de sistemul S . În originea fiecărui sistem se află câte un observator, O și respectiv O' .

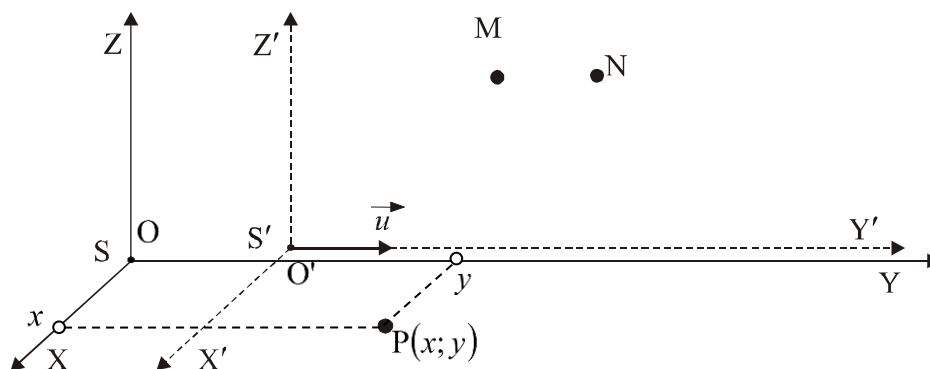


Fig. 1

Coordonatele spațiale de poziție pentru două stele, M și N , aflate în repaus în raport cu sistemul inerțial fix, S , sunt: $M(x_M, y_M, z_M)$ și $N(x_N, y_N, z_N)$, pentru care știm că:

$$x_M = x'_M; \quad y_M \neq y'_M; \quad z_M = z'_M;$$

$$x_N = x'_N; \quad y_N \neq y'_N; \quad z_N = z'_N,$$

unde (x'_M, y'_M, z'_M) și (x'_N, y'_N, z'_N) sunt coordonatele spațiale de poziție ale aceluiași două stele, M și respectiv N , în raport cu sistemul inerțial mobil, S' .

- Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
- În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
- Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
- Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
- Fiecare subiect se notează de la 10 la 0 (fără punct din oficiu). Punctajul final este suma acestora.

La ora t_M , indicată de ceasornicul său, din sistemul S, observatorul O observă (vede) o explozie produsă pe steaua M, iar mai târziu, la ora t_N , același observator din sistemul S înregistrează (vede) o explozie produsă pe steaua N.

a) Să se stabilească condițiile pentru care, în raport cu observatorul O' , din sistemul S' , cele două explozii stelare:

1) se succed în aceeași ordine ; 2) sunt simultane ; 3) își inversează ordinea de succesiune.

Se cunoaște viteza luminii în vid, c .

b) Un punct material P se deplasează în planul XOY, astfel încât în raport cu observatorul O din sistemul S ecuațiile parametrice ale traiectoriei sale sunt:

$$x = v_0 \cdot t; y = \frac{a \cdot t^2}{2}; z = 0.$$

Să se stabilească: 1) ecuația traiectoriei punctului material P, în raport cu sistemul S; 2) ecuațiile parametrice ale mișcării punctului material P, în raport cu sistemul S' ; 3) ecuația traiectoriei punctului material P, în raport cu sistemul S' , particularizând-o pentru $u \ll c$.

c) Să se determine, utilizând ceasornicul observatorului din sistemul S' , durata $\Delta t'$ a deplasării observatorului O' , aflat în originea sistemului S' pe distanța Δy , în raport cu observatorul O din sistemul S. Se cunoaște viteza luminii în vid, c .

B. Explozii „terestre”

Fie două evenimente fizice, de aceeași natură (evenimente sonore) :

- evenimentul E_α , zgomotul (sunetul) produs la lansarea unui proiectil din țeava unui tun;
- evenimentul E_β , zgomotul (sunetul) produs la explozia aceluiași proiectil atunci când acesta și-a atins ținta.

Aceste evenimente (zgomote la explozii), constatate de observatorul O' , aflat în originea sistemului inerțial mobil, S' , s-au produs în punctele P' și respectiv Q' din sistemul inerțial mobil, S' , sisteme reprezentate în desenul din figura 2, intervalul de timp dintre aceste două evenimente, determinat de observatorul O' , din sistemul S' , fiind $\Delta t'$.

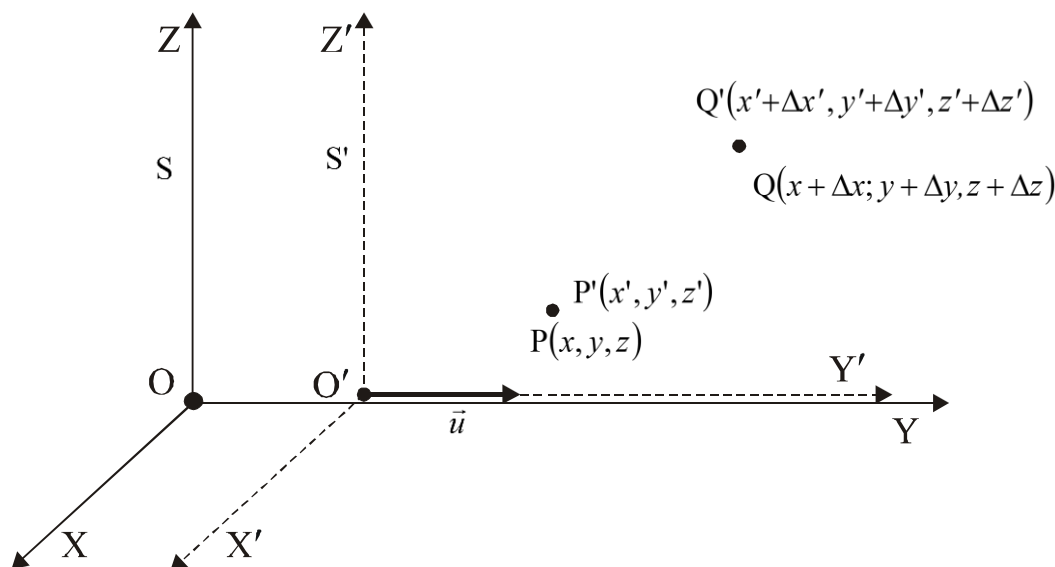


Fig. 2

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 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 subiect se notează de la 10 la 0 (fără punct din oficiu). Punctajul final este suma acestora.



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
Olimpiada Națională de Fizică
Slobozia 10-15 aprilie 2025
Proba teoretică
Clasa a XII-a



pagina 4 din 4

Intervalul de timp dintre aceleași două evenimente (zgomote la explozii), constatate de observatorul O din sistemul inerțial fix, S, ca producându-se în punctele P și respectiv Q din sistemul inerțial fix, S, este Δt .

Cei doi observatori află de producerea celor două evenimente, E_α și respectiv E_β , primind, din punctele unde se produc aceste evenimente, *semnale sonore* și nu *semnale optice*. Viteza semnalelor sonore fiind $v_s < c$.

Ca urmare, în acest caz, vitezele propagărilor semnalelor (sunetelor) recepționate de cei doi observatori, de la cele două explozii, nu mai sunt aceleași în raport cu cei doi observatori, aflați în sisteme de referință inerțiale diferite, așa cum se întâmplă atunci când vitezele propagărilor semnalelor recepționate sunt egale cu viteza luminii în vid, c , (cazul analizat deja, A).

Având în vedere orientările axelor celor două sisteme de referință, precum și orientarea vectorului $\vec{u}$, reprezentate în desenul din figura 2, se cunosc transformările Lorentz speciale:

$$\Delta x' = \Delta x; \Delta y' = \frac{\Delta y - u \cdot \Delta t}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \Delta z' = \Delta z; \Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{u}{c^2} \cdot \Delta y}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}};$$
$$\Delta x = \Delta x'; \Delta y = \frac{\Delta y' + u \cdot \Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \Delta z' = \Delta z'; \Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{u}{c^2} \cdot \Delta y'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}.$$

d) Să se demonstreze că :

$$c^2 \cdot (\Delta t')^2 - (\Delta x')^2 - (\Delta y')^2 - (\Delta z')^2 = c^2 \cdot (\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2,$$

această relație reprezentând **Invarianța Intervalului Relativist Spațio-Temporal**, ca **Invariant al Transformărilor Lorentz Speciale**.

Subiecte propuse de:

Prof. Liviu BLANARIU, Centrul Național de Politici și Evaluare în Educație, București

Prof. dr. Gabriel FLORIAN, Colegiul Național „Carol I”, Craiova

Prof. Cristian MIU, Inspectoratul Școlar Județean Olt, Slatina

Prof. dr. Mihail SANDU, Societatea Română de Fizică

1. Fiecare dintre subiectele **1, 2**, respectiv **3** se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 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 subiect se notează de la 10 la 0 (fără punct din oficiu). Punctajul final este suma acestora.