Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova

Agenția Națională pentru Curriculum și Evaluare

OLIMPIADA REPUBLICANĂ LA FIZICĂ, EDIȚIA LVIII

CHIȘINĂU, 29 martie – 1 aprilie 2024

Proba teoretică ORF 2024, clasa a 12

Problema 1 (10,0 p.)

1A. Formulați regula (condiția) de cuantificare a orbitelor în atomul de hidrogen reieșind din teoria Bohr folosind conceptul undelor de Broglie. Găsiți spectrul energetic al electronului într-o groapă de potențial unidimensională cu pereții infiniți. Lățimea gropii de potențial este l. Estimați forța de presiune asupra pereților gropii de potențial. - (4,0 p.)

1B. În modelul atomului propus de Thomson, nucleul are dimensiunea atomului, sarcina pozitivă fiind distribuită cu densitate constantă în nucleu, iar electronul punctiform efectuează oscilații în interiorul nucleului. Estimați dimensiunile atomului de hidrogen, reieșind din modelul atomului propus de Thomson, precum și lungimea de undă emisă de acesta cunoscând frecvența ciclică de oscilație a electronului $\omega = 10^{15} s^{-1}$. Energia de ionizare a atomului de hidrogen este 13,6 eV, $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} J$. În vederea soluționării problemei, folosiți ambele mărimi din condiția problemei. - (6,0 p.)

Problema 2 Teoria Bohr a atomului de hidrogen (10,0 p.)

Experiențele Rutherford au determinat apariția modelului planetar al atomului, care a fost folosită de Niels Bohr pentru analiza spectrelor atomului de hidrogen.

2A. Formulați postulatele Bohr și condiția de cuantificare a momentului impulsului a electronului la mișcarea acestuia pe orbite Bohr. Găsiți razele orbitelor cuantificate și vitezele cuantificate ale electronului. Demonstrați formula lui Balmer în caz general. - (3,0 p.)

2B. Demonstrați, că condiția de cuantificare Bohr poate fi reprezentată, ca circulația impulsului pe traiectoria particulei în spațiu fazic cu coordonatele p, q sub forma $\oint p dq = 2\pi n\hbar, \hbar = h/2\pi$. Alegeți în calitate de coordonată generalizată a electronului q - raza orbitei, $q = r$, iar impulsul generalizat va fi respectiv $p = mv = m\dot{r}$. Determinați integrala pe contur închis $\oint p dq$ (circulația) pentru orbitele eliptice și calculați $\oint p dq$ pentru stările S. În caz general, electronul în atomul de hidrogen este caracterizat de două coordonate r, φ și două impulsuri generalizate $p_r = mv = m\dot{r}, p_\varphi = mr^2\dot{\varphi} = L$. Găsiți valorile cuantificate ale L și E (energia). Găsiți punctele de cotitură la mișcarea electronului pe traiectorii eliptice și determinați condiția când elipsa trece în circumferință. - (7,0 p.)

Proba teoretică ORF 2024, clasa a 12

Problema 3 (10,0 p.)

Radiația corpului (absolut) negru reprezintă radiație termică. Corpul (absolut) negru este definit drept corpul care absoarbe toată energia radiantă a spectrului continuu care cade pe suprafața sa. Radiația corpului absolut negru reprezintă un gaz de fotoni, cu proprietăți atât ondulatorii cât și corpusculare.

3A. Definiți proprietățile ondulatorii și corpusculare ale radiației. Exemplificați mărimile fizice ce caracterizează radiația termică, atât sub formă de unde electromagnetice și ca flux de fotoni. Formula Plank $E_n = \hbar\omega n, n = 0,1,2,3...$ a determinat apariția noțiunii de foton în fizică. Numărul cuantic n determină numărul de fotoni. Analizând oscilațiile câmpului electromagnetic, ca oscilații ale oscilatori armonici, deduceți formula lui Plank pentru spectrul energetic al fotonilor. Găsiți valoarea medie a numărului de fotoni a radiației corpului absolut negru $\overline{n}_\omega$ cu valoarea dată a frecvenței ω, folosind distribuția Boltzmann $P_n = e^{-nx} / \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nx}, x = \frac{\hbar\omega}{k_0 T}$.

Analizați cazurile limită temperaturilor joase și înalte. - (4,0 p.)

3B. Conform regulei de cuantificare Bohr-Sommerfeld, integrala $\oint pdq$ determină suprafața spațiului fazic, cuprinsă în traiectoria închisă a particulei. Dacă împărțim acestă suprafață în domenii de suprafață mai mici $\Delta p \Delta q = 2\pi\hbar$, vom obține numărul de stări, deoarece integrala $\oint pdq / 2\pi\hbar = n$. Astfel unei singure stări îi revine un domeniu de suprafață $\Delta p \Delta q = 2\pi\hbar$ în spațiul fazic. Mărimea $dpdq / 2\pi\hbar$ determină numărul de stări în elementul spațiului fazic $dpdq$. Integrând după coordonate vom obține V - volumul spațiului cu radiație a copului negru. Calculați numărul de stări a fotonilor radiației corpului negru în elementul de volum al spațiului fazic $2Vdp_x dp_y dp_z$. Aici factorul 2 consideră două polarizări independente ale undelor electromagnetice transversale. Găsiți numărul de fotoni în intervalul de frecvențe ω și $\omega + d\omega$. Găsiți valoarea media a energiei radiației corpului negru dE_ω în intervalul de frecvențe ω și $\omega + d\omega$ (Formula Plank). Analizați cazurile temperaturilor joase și înalte. Cu ajutorul formulei Plank găsiți valoarea media a densității energiei copului (absolut) negru. Reieșind din formula Plank, distribuția de energie a corpului absolut negru are maxim. Găsiți ecuația pentru poziția maximului în funcție de frecvență și soluționați ecuația cu aproximație. (6,0 p.)