



Subiect 1. Măsurători în spațiu!	Parțial	Punctaj
1. Barem subiect 1		10
A. a) Pentru cazul clasic: $v_r = v_B - v_A$	0,25	1,50
Rezultă: $v_r = \frac{1}{12}c \cong 0,083c$	0,25	
Pentru cazul relativist aplicăm legea lui Einstein de compunere a vitezelor $\vec{u}(u_x, u_y, u_z) = \vec{u}(v_A, 0, 0)$ și $\vec{v}(v_x, v_y, v_z) = \vec{v}(v_B, 0, 0)$: $u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = \frac{v_A - v_B}{1 - \frac{v_A \cdot v_B}{c^2}}$ $u'_y = \frac{u_y \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = 0$ $u'_z = \frac{u_z \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = 0$	0,50	
Deci: $u' = \sqrt{u'^2_x + u'^2_y + u'^2_z} = \left \frac{v_A - v_B}{1 - \frac{v_A \cdot v_B}{c^2}} \right $	0,25	
Rezultă: $u' = \frac{1}{6}c \cong 0,166c$	0,25	
A. b) Pentru cazul clasic: $v_r = v_A + v_B$	0,25	1,50
Rezultă: $v_r = \frac{17}{12}c \cong 1,416c$ (imposibil!)	0,25	
Pentru cazul relativist aplicăm legea lui Einstein de compunere a vitezelor $\vec{u}(u_x, u_y, u_z) = \vec{u}(v_A, 0, 0)$ și $\vec{v}(v_x, v_y, v_z) = \vec{v}(-v_B, 0, 0)$: $u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A \cdot v_B}{c^2}}$ $u'_y = \frac{u_y \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = 0$	0,50	

- Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
- Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



$u'_z = \frac{u_z \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = 0$		
Deci: $u' = \frac{\sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}}{1 + \frac{v_A \cdot v_B}{c^2}} = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A \cdot v_B}{c^2}}$	0,25	
Rezultă: $u' = \frac{17}{18}c \cong 0,944c$	0,25	
A. c) Pentru cazul clasic: $v_r = \sqrt{v_A^2 + v_B^2}$	0,25	
Rezultă: $v_r = \frac{\sqrt{145}}{12}c = 1,003c \text{ (imposibil!)}$	0,25	
Pentru cazul relativist aplicăm legea lui Einstein de compunere a vitezelor $\vec{u}(u_x, u_y, u_z) = \vec{u}(v_A, 0, 0)$ și $\vec{v}(v_x, v_y, v_z) = \vec{v}(0, v_B, 0)$: $u'_x = \frac{u_x \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_y} = v_A \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ $u'_y = \frac{u_y - v}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_y} = -v_B$ $u'_z = \frac{u_z \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_y} = 0$	0,50	1,50
Deci: $u' = \frac{\sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}}{\sqrt{v_A^2 + v_B^2 - \left(\frac{v_A \cdot v_B}{c}\right)^2}}$	0,25	
Rezultă: $u' = \frac{\sqrt{109}}{12}c \cong 0,870c$	0,25	
A. d) Pentru cazul clasic: $v_r = \sqrt{v_A^2 + v_B^2 - 2v_A \cdot v_B \cdot \cos \alpha}$	0,25	
Rezultă: $v_r = \frac{\sqrt{145 - 72\sqrt{3}}}{12}c \cong 0,375c$	0,25	1,50

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Pentru cazul relativist aplicăm legea lui Einstein de compunere a vitezelor $\vec{u}(u_x, u_y, u_z) = \vec{u}(v_{Bx}, v_{By}, 0) = \vec{u}(v_B \cdot \cos \alpha, v_B \cdot \sin \alpha, 0)$ și $\vec{v}(v_x, v_y, v_z) = \vec{v}(v_A, 0, 0)$: $u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = \frac{v_B \cdot \cos \alpha - v_A}{1 - \frac{v_A}{c^2} \cdot v_B \cdot \cos \alpha}$ $u'_y = u_y \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = \frac{v_B \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v_A}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v_A}{c^2} \cdot v_B \cdot \cos \alpha}$ $u'_z = \frac{u_z \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} = 0$	0,50	
Deci: $u' = \sqrt{u'^2_x + u'^2_y + u'^2_z} = \sqrt{\frac{v_A^2 + v_B^2 - 2v_A \cdot v_B \cdot \cos \alpha - \left(\frac{v_A \cdot v_B \cdot \sin \alpha}{c}\right)^2}{\left(1 - \frac{v_A \cdot v_B \cdot \cos \alpha}{c^2}\right)^2}}$	0,25	
Rezultă: $u' = \frac{\sqrt{17 - 9\sqrt{3}}}{4 - \sqrt{3}} \cdot \frac{2c\sqrt{2}}{3} \cong 0,494c$	0,25	
B. a) Perioada oscilațiilor pentru corpul de masă m_1 cunoscută este: $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}$	0,25	
După atașarea corpului de masă m_2, perioada oscilațiilor sistemului este: $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{k}}$	0,25	
Corpul de masă m_2 se determină din relația: $m_2 = m_1 \cdot \left[\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 - 1 \right]$	0,50	1,50
Unde: $T_2 = T_1 \cdot (1 + f)$	0,25	
Rezultă: $m_2 = m_1 \cdot f \cdot (f + 2)$	0,25	
B. b) Conservarea energiei: $m_1 \cdot c^2 + \frac{k \cdot A^2}{2} = \frac{m_1 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} + \frac{k \cdot x^2}{2}$	0,25	

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Perioada oscilațiilor corpului de masă m_1 în cazul relativist este:		1,50
$T_1' = 4 \int_0^A \frac{dx}{v} = \int_0^A \frac{m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2)}{c \cdot \sqrt{\frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2) \cdot \left[2m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2) \right]}} \cdot dx$	0,25	
unde:		
$v = c \cdot \frac{\sqrt{\frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2) \cdot \left[2m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2) \right]}}{m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2)}; \quad x = A \cdot \sin \varphi; \quad dx = A \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi$		
Deci:		
$T_1' = \frac{4}{c} \cdot \sqrt{\frac{2}{k}} \cdot \int_0^{\pi/2} \frac{m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot A^2 \cdot \cos^2 \varphi}{\sqrt{2m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot A^2 \cdot \cos^2 \varphi}} \cdot d\varphi$	0,25	
Utilizând aproximația:		0,50
$\sqrt{2m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot A^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cong \sqrt{2m_1 \cdot c^2} \cdot \left(1 + \frac{k}{8m_1 \cdot c^2} \cdot A^2 \cdot \cos^2 \varphi \right) \text{ pentru } c^{-4} \cong 0.$		
Obținem:		
$T_1' = \frac{4}{c^2 \cdot \sqrt{m_1 \cdot k}} \cdot \int_0^{\pi/2} \left(m_1 \cdot c^2 + \frac{k}{2} \cdot A^2 \cdot \cos^2 \varphi \right) \cdot \left(1 - \frac{k}{8m_1 \cdot c^2} \cdot A^2 \cdot \cos^2 \varphi \right) \cdot d\varphi$		
Rezultă:		0,25
$T_1' = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{k}} \cdot \left[1 + \frac{3}{16} \cdot \left(\frac{A}{c} \right)^2 \cdot \frac{k}{m_1} \right]$		
Oficiu		1

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Subiect 2. Particule în câmpuri electrice și magnetice	Parțial	Punctaj
Barem subiect 2		10
A. a) Aplicăm principiul al II-lea al mecanicii clasice: $m \cdot \vec{a} = -e \cdot \vec{E} - e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$	0,25	2,50
Proiectăm relația pe axele de coordonate: $m \cdot a_x = e \cdot v_y \cdot B$ $m \cdot a_y = e \cdot E - e \cdot v_x \cdot B$ $m \cdot a_z = 0$	0,25	
Obținem: $v_x = \frac{E}{B} - \frac{m}{e \cdot B} \cdot a_y$ $a_x = \frac{dv_x}{dt} = -\frac{m}{e \cdot B} \cdot \frac{da_y}{dt}$ $v_y = \frac{m \cdot a_x}{e \cdot B} = -\left(\frac{m}{e \cdot B}\right)^2 \cdot \frac{da_y}{dt}$	0,25	
Rezultă ecuația: $\frac{d^2 v_y}{dt^2} + \left(\frac{e \cdot B}{m}\right)^2 \cdot v_y = 0$	0,50	
Cu soluția: $v_y = A \cdot \sin \omega \cdot t = \frac{E}{B} \cdot \sin \frac{e \cdot B}{m} \cdot t$	0,25	
Derivând în raport cu timpul, obținem: $a_y = \omega \cdot A \cdot \cos \omega \cdot t = \frac{e \cdot E}{m} \cdot \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t$ $v_x = \frac{E}{B} - \frac{m}{e \cdot B} \cdot \frac{e \cdot E}{m} \cdot \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t = \frac{E}{B} \cdot \left(1 - \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t\right)$	0,50	
În final: $v_x = \frac{U}{d \cdot B} \cdot \left(1 - \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t\right)$ $v_y = \frac{U}{d \cdot B} \cdot \sin \frac{e \cdot B}{m} \cdot t$ $v_z = 0$	0,50	2,00
A. b) Din expresia vitezei pe axa y obținem ecuația diferențială: $dy = \left(\frac{U}{d \cdot B} \cdot \sin \frac{e \cdot B}{m} \cdot t\right) \cdot dt$	0,50	
Cu soluția: $y = \frac{m \cdot U}{e \cdot d \cdot B^2} \left(1 - \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t\right)$	0,50	
Se obține astfel, relația: $v_x = \frac{eB}{m} y$	0,25	
Aplicând teorema variației energiei cinetice între momentul inițial și un moment ulterior, se obține : $\frac{m}{2} (v_x^2 + v_y^2) = eEy$	0,50	

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Pagina 6 din 10

Rezultă: $v_y = \sqrt{\frac{e \cdot U}{m \cdot d} \left(2 - \frac{e \cdot d \cdot B^2}{m \cdot U} \cdot y \right) \cdot y}$	0,25	
B. a) Aplicăm teorema de variație a impulsului: $d(m \cdot \vec{v}) = e \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) dt$ unde: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$	0,25	2,50
Deoarece $ \vec{v} $ este constant pentru particulele care se deplasează în câmp magnetic, obținem: $m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = e \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$	0,25	
Proiectăm relația pe axele de coordonate: $m \cdot \frac{dv_x}{dt} = e \cdot v_y \cdot B \quad (1)$ $m \cdot \frac{dv_y}{dt} = -e \cdot v_x \cdot B \quad (2)$	0,25	
Derivăm în raport cu timpul relația (1) și înlocuind în (2) obținem ecuația: $\frac{d^2 v_x}{dt^2} + \left(\frac{e \cdot B}{m} \right)^2 \cdot v_x = 0$ cu soluția: $v_x = A \cdot \cos \omega \cdot t = \frac{p}{m} \cdot \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t$	0,25	
Integrând, obținem relația: $x = \frac{Am}{eB} \sin \omega t$	0,25	
Înlocuim $v_x = \frac{p}{m} \cdot \cos \frac{e \cdot B}{m} \cdot t$ în relația (1) și obținem: $v_y = -\frac{p}{m} \cdot \sin \frac{e \cdot B}{m} \cdot t$ Integrând, obținem relația $y = \frac{Am}{eB} \cos \omega t$	0,50	
Ecuatiile anterioare arată că traiectoria particulei este un arc de cerc cu raza $R = \frac{Am}{eB}$ Pentru un unghi mic, avem: $\alpha_B \approx \frac{v_y}{v_x} \approx \frac{\ell}{R}$	0,50	
Rezultă: $p = \frac{e \cdot B \cdot \ell}{\alpha_B}$	0,25	
B. b) Aplicăm teorema de variație a energiei: $W = W_0 + e \cdot E \cdot y$	0,25	2,00
Unde: $W = \sqrt{m_0^2 \cdot c^4 + p^2 \cdot c^2} \quad (\text{la momentul } t \text{ când particula iese din câmp})$ $W_0 = \sqrt{m_0^2 \cdot c^4 + p_0^2 \cdot c^2} \quad (\text{la momentul inițial } t_0 = 0)$	0,50	

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

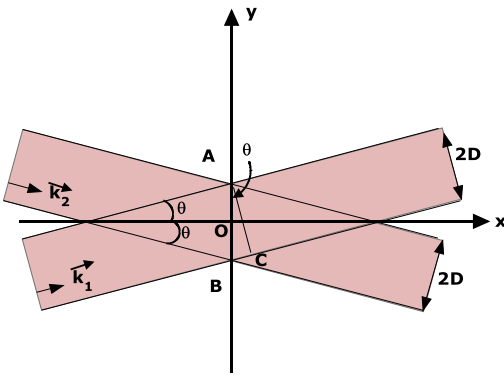
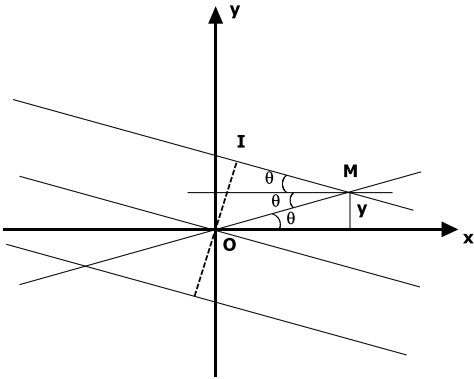


Pagina 7 din 10

Iar: $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} = \sqrt{p_0^2 + p_y^2}$	0,25	
Dar: $\operatorname{tg} \alpha_E \cong \alpha_E = \frac{p_y}{p_x} = \frac{p_y}{p_0}$	0,25	
Calculăm: $W^2 - W_0^2 = (p^2 - p_0^2) \cdot c^2 = p_y^2 \cdot c^2 = \alpha_E^2 \cdot p_0^2 \cdot c^2$	0,25	
Rezultă: $W_0 = \frac{\alpha_E^2 \cdot p_0^2 \cdot c^2 - e^2 \cdot E^2 \cdot y^2}{2e \cdot E \cdot y}$	0,50	
Oficiu		1

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Subiect 3. Anemometru Doppler cu laser		Parțial	Punctaj
2. Barem subiect 3			10
A. a) Din desen: $\cos \theta = \frac{2D}{AB}$ 		0,50	1,00
Deci: $AB = \frac{2D}{\cos \theta}$		0,25	
Rezultă: $AB = 1,0038 \cong 1 \text{ mm}$		0,25	
A. b) Metoda 1 Vectorii de undă sunt: $\vec{k}_1 = (k \cdot \cos \theta) \cdot \vec{i} + (k \cdot \sin \theta) \cdot \vec{j}$ $\vec{k}_2 = (k \cdot \cos \theta) \cdot \vec{i} - (k \cdot \sin \theta) \cdot \vec{j}$ unde $k = n \cdot \frac{2\pi}{\lambda_0}$ Fazele celor două unde în M (x,y,z) sunt: $\Phi_1(M) = \Phi_1(O) + \vec{k}_1 \cdot \vec{OM}$ $\Phi_2(M) = \Phi_2(O) + \vec{k}_2 \cdot \vec{OM}$ Din enunț $\Phi_1(O) = \Phi_2(O)$, deci: $\Delta\Phi(M) = (\vec{k}_1 - \vec{k}_2) \cdot \vec{OM} = (2k \cdot \sin \theta) \cdot (x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}) \cdot \vec{j} = \frac{4\pi \cdot n}{\lambda_0} \cdot y \cdot \sin \theta,$ iar diferența de drum cerută este: $\delta = \frac{\lambda_0 \cdot \Delta\Phi}{2\pi} = 2n \cdot y \cdot \sin \theta$		0,50	1,00
Metoda 2 Din figura alăturată se observă (OI – suprafață de undă): $(\delta) = (OM) - (IM) = n \cdot (OM - IM)$ $OM = \frac{y}{\sin \theta}$ și $IM = OM \cdot \cos 2\theta = \frac{y}{\sin \theta} \cdot \cos 2\theta$ Deci: $\delta = n \cdot \left(\frac{y}{\sin \theta} - \frac{y \cdot \cos 2\theta}{\sin \theta} \right) = 2n \cdot y \cdot \sin \theta$ 		0,50	
A. c) Condiția de obținere a maximelor este:		0,25	1,00

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



$2n \cdot y \cdot \sin \theta = k \cdot \lambda_0$ Deci coordonata maximului de ordin k este: $y_{k,\max} = \frac{k \cdot \lambda_0}{2n \cdot \sin \theta}$		
Rezultă că interfranja este: $i = y_{k+1} - y_k = \frac{\lambda_0}{2n \cdot \sin \theta}; i = 2,24 \mu\text{m}$	0,25	
Numărul de maxime care se observă este: $N = \frac{AB}{i} + 1; N = 447 \text{ maxime}$	0,50	
A. d) Viteza cu care curge fluidul este: $v = \frac{i}{T}$	0,75	1,00
Rezultă: $v = 44,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$	0,25	
B. a) Alegem următoarele sisteme de referință: S (x, y, z, t) legat de receptor (considerat fix) și S' (x', y', z', t') legat de sursă (se deplasează cu viteza v spre receptor). Introducem transformările Lorentz în condiția de invarianță a fazei: $\omega_{\text{Receptor}} \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) = \omega_{\text{Sursă}} \cdot \left(t' + \frac{x'}{c} \right)$	0,25	0,75
și obținem: $v \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) = v_0 \cdot \left[\frac{t + \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}} + \frac{x + v \cdot t}{c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}} \right]$	0,25	
Rezultă: $v = v_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$	0,25	
B. b) Frecvența recepționată de receptor depinde de viteza relativă a sursei față de receptor (în ambele situații este aceeași). Vom obține același rezultat ca și la punctul (a).	0,25	0,25
B. c) Din relația: $v \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) = v_0 \cdot \left[t + \frac{x + (v \cdot \cos \theta) \cdot t}{c} \right]$ cu: $\frac{x}{c} \rightarrow 0$	0,50	1,00
Rezultă: $v = v_0 \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \theta \right)$	0,50	
B. d) În acest caz	0,50	1,00

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



$\nu' = \nu_0 \cdot \left(1 - \frac{u}{c} \cdot \cos \theta\right)$ $\nu_d = \nu' \cdot \left(1 + \frac{u}{c} \cdot \cos \theta'\right)$ unde ν' este frecvența radiației reflectate pe particula mobilă, iar ν frecvența recepționată de detector. De aici, după neglijarea termenilor de ordinul 2 în u/c: $\nu_d = \nu_0 \cdot \left(1 - \frac{u}{c} \cdot \cos \theta\right) \cdot \left(1 + \frac{u}{c} \cdot \cos \theta'\right) \approx \nu_0 \cdot \left[1 + \frac{u}{c} \cdot (\cos \theta' - \cos \theta)\right]$		
Deplasarea Doppler, va fi: $\Delta \nu_D = \nu_d - \nu_0 = \nu_0 \cdot \frac{u}{c} \cdot (\cos \theta' - \cos \theta) = n \cdot \frac{u}{\lambda_0} \cdot (\cos \theta' - \cos \theta)$	0,50	
B. e) Deplasarea Doppler este maximă dacă $\theta' = 180^\circ$ (radiația este reflectată în sens opus celei incidente) și $\theta = 0^\circ$ (radiația cade pe direcția mișcării particulei). În acest caz: $ \Delta \nu_{D,\max} = \frac{2 \cdot \nu_0 \cdot u}{c} = \frac{2n \cdot u}{\lambda_0}$	0,25	1,00
și $\varepsilon = \frac{ \Delta \nu_{D,\max} }{\nu_0} = \frac{2u}{c}$	0,25	
Observăm că ε are ordinul de mărime 10^{-13}, dar având în vedere că frecvența radiației vizibile este de ordinul 10^{15} Hz, rezultă o deplasare de ordin de mărime 10^2 Hz, de care trebuie să se țină seama în anemometria laser.	0,50	
Oficiu		1

Barem propus de:

Prof. Liviu Arici, Colegiul Național „Nicolae Bălcescu” Brăila

Prof. Corina Dobrescu, Colegiul Național de Informatică „Tudor Vianu” București

Prof. Gabriel Florian, Colegiul Național „Carol I” Craiova

Prof. Victor Stoica, Inspectoratul Școlar al Municipiului București

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.