МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНО ПРОЛЕТНО СЪСТЕЗАНИЕ ПО ФИЗИКА
Ловеч, 14 – 16.03.2025 г.
Тема 12.клас (Шеста възрастова група)
Решения и указание за оценяване

Задача 1. а) Изменението на кинетичната енергия на α-частицата е равна на работата на електричната сила

$$\frac{mv^2}{2} - 0 = (qE)d = qU \text{ , } \textbf{(0,5 т.)}$$

откъдето намираме

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \approx 1,0.10^5 \text{ m/s } \textbf{(0,5 т.)}$$

б) В областта A_1 на частицата действа постоянната по големина и посока електрична сила

$$F_1 = qE = \frac{qU}{m} \text{ , } \textbf{(0,5 т.)}$$

която определя ускорението

$$a_1 = \frac{F_1}{m} = \frac{qU}{md} \approx 4,8.10^{11} \text{ m/s}^2 \textbf{ (1 т.)}.$$

Ускорението a_1 променя големината на скоростта, но не и посоката ѝ. **(0,25 т.)**

в) Тъй като магнитната сила е перпендикулярна на скоростта v на частицата, тя не върши работа и по този начин кинетичната ѝ енергия остава постоянна. **(0,25 т.)** Следователно скоростта на α-частицата е постоянна по големина. **(0,25 т.)** Тогава ускорението в областта A_2 е

$$a_2 = \frac{F_2}{m} = \frac{qBv}{m} \approx 4,8.10^{11} \text{ m/s}^2 . \qquad \textbf{(1 т.)}$$

То променя само посоката на скоростта. **(0,25 т.)**

г) Индукцията B е перпендикулярна на скоростта v и силата F_2 , която е насочена към центъра на окръжността, дъга от която е траекторията на частицата. Съгласно с правилото на дясната ръка ндукцията B е насочена от нас към равнината на листа **(1 т.)**.

д) Търсеният ъгъл ще намерим чрез равенството

$$\sin\beta = \frac{s}{r} \text{ , } \textbf{(0,5 т.)}$$

Тъй като ускорението е

$$a_2 = \frac{v^2}{r} \text{ , } \textbf{(0,5 т.)}$$

намираме

$$r = \frac{v^2}{a_2} = \frac{mv}{qB} \approx 2 \text{ cm } .\textbf{(1 т.)}$$

Следователно имаме

$$\sin\beta \approx \frac{1}{2}, \quad \beta \approx 30^{o} = \frac{\pi}{6}.$$ **(0,5 т.)**

е) Общото време на движение в електричното (t_1) и в магнитното поле (t_2) е

$$t = t_1 + t_2.$$ **(0,25 т.)**

Като отчетем, че

$$t_1 = \frac{2d}{v} \approx 0,2\,\mu\text{s},$$ **(0,75 т.)** $$t_2 = \frac{\beta r}{v} = \frac{\pi m}{6qB} \approx 0,1\,\mu\text{s},$$ **(0,75 т.)**

окончателно получаваме

$$t = t_1 + t_2 \approx 0,3\,\mu\text{s}$$ **(0,25 т.)**

Задача 2.

а) Разглежданото устройство включва две свързани топлинни машини. Лявата представлява топлинен двигател, в който работното вещество получава количество топлина Q_1 от нагревателя с температура T_1, отдава количество топлина Q_2 на охладителя с температура $T_2 < T_1$ и извършва работа A. **(1 т.)** Тази работа се използва във втората топлинна машина, която работи по обратен (хладилен) цикъл. **(0,5 т.)** Работното вещество получава количество топлина Q_3 от тялото с температура T_2 и отдава количество топлина Q_4 на отопляванията обем, като по този начин се поддържа постоянна температура T $(T_2 < T < T_1)$. **(1 т.)**

б) Устройството ще работи с максимална ефективност, ако двете съставящи машини са идеални, т.е. работят по равновесен цикъл на Карно (прав и обратен). Тогава КПД на топлинния двигател е

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$ **(0,5 т.)**

и извършената от двигателя работа се дава с израза

$$A = \eta Q_1 = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) Q_1.$$ **(0,5 т.)**

От друга страна имаме

$$A = Q_4 - Q_3.$$ **(0,5 т.)**

Като отчетем, че за цикъл на Карно е изпълнено съотношението

$$\frac{Q_3}{T_2} = \frac{Q_4}{T},$$ **(0,5 т.)**

намираме равенството

$$A = \left(1 - \frac{T_2}{T}\right) Q_4.$$ **(0,5 т.)**

Окончателно намираме

$$Q_4 = \frac{1 - T_2/T_1}{1 - T_2/T} Q_1.$$ **(0,5 т.)**

Като отчетем, че $T_2/T_1 < T_2/T$ **(0,5 т.)**, стигаме до неравенството $Q_4 > Q_1$ **(0,5 т.)**, т.е. устройството отоплява по-ефективно, отколкото непосредственото нагряване чрез нагревателя с температура T_1. **(0,5 т.)**

в) Както се вижда от втората схема

$$Q = Q_2 + Q_4 . \textbf{ (0,5 т.)}$$

От свойството на цикъла на Карно имаме

$$Q_2 = \frac{T}{T_1} Q_1 , \textbf{ (0,5 т.)}$$

А извършената работа от топлинния двигател е

$$A = \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) Q_1 = \left(1 - \frac{T_2}{T}\right) Q_4 . \textbf{ (0,5 т.)}$$

Следователно намираме

$$Q_4 = \frac{\left(T_1 - T\right) T}{\left(T - T_2\right) T_1} Q_1 , \textbf{ (0,5 т.)}$$

при което окончателно получаваме

$$Q = \left[\frac{\left(T_1 - T\right) T}{\left(T - T_2\right) T_1} + \frac{T}{T_1} \right] Q_1 = \frac{1 - T_2/T_1}{1 - T_2/T} Q_1 . \textbf{ (0,5 т.)}$$

Този резултат съвпада с резултата от предишната схема на устройството. **(0,5 т.)**

Задача 3.

а) Ще означим с ΔN броя на частиците, които попадат върху площ S време Δt. Това са частиците, които се намират в цилиндър с обем $Sv\Delta t$. **(1 т.)** При концентрация на частиците n намираме

$$\Delta N \approx \frac{1}{6} n S v \Delta t , \textbf{ (0,5 т.)} \qquad \frac{\Delta N}{\Delta t} \approx \frac{1}{6} n v S . \textbf{(0,5 т.)}$$

От израза за налягането и средноквадратичната скорост имаме

$$n = \frac{P}{kT} , \textbf{ (0,5 т.)} \qquad v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} , \textbf{ (0,5 т.)}$$

при което след заместване получаваме

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \approx \frac{S}{2\sqrt{3mk}} P T^{-1/2} . \textbf{ (1 т.)}$$

б) Броят на частиците, които навлизат за единица време в кухината е

$$\frac{S}{2\sqrt{3mk}} \left[P_0 T_0^{-1/2} + P_0 (2T_0)^{-1/2} \right] = \frac{S}{2\sqrt{3mk}} P_0 T_0^{-1/2} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) , \textbf{ (1 т.)}$$

а броят на тези, които я напускат е

$$\frac{S}{2\sqrt{3mk}} 2 P T^{-1/2} . \textbf{ (0,5 т.)}$$

От баланса следва

(1) $$P T^{-1/2} = \frac{\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2}} P_0 T_0^{-1/2} . \textbf{ (1 т.)}$$

От друга страна всяка частица пренася енергия. Частиците, които навлизат в кухината, добавят енергия

$$\frac{S}{2\sqrt{3mk}}\left[P_0 T_0^{-1/2}\frac{3kT_0}{2}+P_0(2T_0)^{-1/2}\frac{3k(2T_0)}{2}\right]=\frac{S\sqrt{3k}}{4\sqrt{m}}P_0 T_0^{1/2}\left(1+\sqrt{2}\right), \textbf{(1 т.)}$$

а тези, които я напускат, отнасят енергия

$$\frac{S}{2\sqrt{3mk}}2PT^{-1/2}\frac{3kT}{2}=\frac{S\sqrt{3k}}{4\sqrt{m}}2PT^{1/2}. \textbf{ (0,5 т.)}$$

Тъй като вътрешната енергия не се променя, трябва да е налице баланса

(2) $$PT^{1/2}=P_0 T_0^{1/2}\left(\frac{\sqrt{2}+1}{2}\right). \textbf{ (1 т.)}$$

Чрез почленно разделяне на (2) на (1) намираме

$$T=\sqrt{2}T_0\approx 1,41T_0, \textbf{ (0,5 т.)}$$

а след заместване в (2) определяме

$$P=\left(\frac{\sqrt{2}+1}{2\sqrt[4]{2}}\right)P_0\approx 1,02\,P_0. \textbf{ (0,5 т.)}$$