

ფიზიკა ამოცანებში (გაგრძელება 15)

თერმოდინამიკა

თერმოდინამიკა შეისწავლის სითბური პროცესების დინამიკას ნივთიერებებში, იკვლევს პირობებს, რომლის დროსაც სითბური ენერგია გარდაიქმნება მექანიკურ ენერგიად. თერმოდინამიკაში ხშირად გამოიყენება ცნება სისტემა. იგი გულისხმობს ერთმანეთთან გარკვეულ ურთიერთქმედებაში მყოფი სხვადასხვა ობიექტის ერთობლიობას. ამ აზრით სამყარო შეიძლება განვიხილოთ როგორც თერმოდინამიკური სისტემა. სისტემის წწევა, მოცულობა და ტემპერატურა არის სისტემის ის ძირითადი პარამეტრები, რომლითაც გამოისახება სისტემის მახასიათებელი სხვა ფიზიკური სიდიდეები - ენერგია, მუშაობა, ენტროპია და სხვა. ერთ-ერთი ძირითად ფიზიკური სიდიდე თერმოდინამიკაში არის სისტემის შინაგანი ენერგია, რომელიც წარმოადგენს სისტემის შემადგენელი მოლეკულების ქაოსური მოძრაობის კინეტიკური და მთი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიების ჯამს. კინეტიკური ენერგია განსაზღვრავს სისტემის ტემპერატურას და არსებობს მისი რაოდენობრივი გამოსახულება, რასაც ვერ ვიტყვით პოტენციურ ენერგიაზე - მისი ფორმულით განსაზღვრა სირთულეებს აწყდება სისტემის შემადგენელი მოლეკულების დიდი რაოდენობის გამო.

თერმოდინამიკური პროცესები იმართება თერმოდინამიკის კანონების საფუძველზე. პირველი კანონის თანახმად სისტემისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა ხმარდება სისტემის შინაგანი ენერგიის გაზრდას და სისტემის მიერ გარე ძალების წინააღმდეგ მუშაობის შესრულებას:

$$Q = \Delta U + A,$$

სადაც Q არის სისტემისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა, ΔU სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება, ხოლო A - სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობა. ცხადია, რომ ეს მუშაობა ტოლია და ნიშნით საპირისპირო გარე ძალების მიერ სისტემაზე შესრულებული A' მუშაობის: $A' = -A$.

თერმოდინამიკაში უმარტივეს სისტემას წარმოადგენს ჰიპოთეტური იდეალური აირი, რომლის მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ენერგია მიღებულია ნულის ტოლად. ამდენად, მისი შინაგანი ენერგია იქნება მოლეკულების ქაოსური მოძრაობის კინეტიკური ენერგია და განისაზღვრება ფორმულით;

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT.$$

აქ m არის აირის მასა, μ მისი მოლური მასა, T ტემპერატურა, ხოლო R აირის უნივერსალური მუდმივა. რიცხობრივად R ტოლის მუშაობის, რომელსაც ასრულებს ერთი მოლი აირი ერთი გრადუსით გათბობისას.

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT.$$

აქ ν არის აირის მოლელების რაოდენობა.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი თავის მხრივ გარკვეულად არის შეზღუდული. საქმე ის არის, რომ არსებობს პროცესები, რომელთა მიმდინარეობა პირველი კანონის თანახმად შესაძლებელია, მაგრამ ბუნებაში არ ხორციელდება, მაგალითად სითბოს გადაცემა ცივი სხეულიდან ცხელ სხეულზე, ოთახში ჰაერის მასების გადანაცვლება, რომლის დროსაც ოთახის ერთი ნაწილი ცარიელდება, ან წყალი რომელიც მოულოდნელად ცივდება, იყინება და გარემო თბება. ასეთ და სხვა მის მსგავს პროცესებს პირველი კანონი არ ეწინააღმდეგება, მაგრამ ბუნებაში ამ პროცესებს ადგილი არ აქვთ და ამას ეწინააღმდეგება თერმოდინამიკის მეორე კანონი. საქმე ეხება თერმოდინამიკური პროცესების მიმდინარეობის მიმართულებას. ამ აზრით პირველი კანონი სიმეტრიულია და იგი ერთნაირად აღწერს, მაგალითად, სითბოს გადაცემას როგორც ცხელი სხეულიდან ცივზე, ასე პირიქით. ამ უკანასკნელს კი მეორე კანონი კრძალავს. აქ მნიშვნელოვანია ისეთი ცნება როგორც არის სისტემის ენტროპია. მისი მცირე ცვლილება განისაზღვრება, როგორც ერთი სხეულიდან მეორე სხეულზე გადაცემული სითბოს მცირე რაოდენობის ფარდობა მათ საერთო ტემპერატურასთან.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}.$$

მეორე კანონის ჩამოყალიბებას წინ უსწრებდა კარნოს დებულება იდეალური სითბური ძრავისთვის, რომლის თანახმად სითბური ძრავის მ.ქ.კ. დამოკიდებულია ორი - ცივი და ცხელი - რეზერვუარის ტემპერატურებზე და არ შეიძლება იყოს მეტი ვიდრე

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

სადაც T_1 და T_2 შესაბამისად ცხელი და ცივი რეზერვუარები ტემპერატურებია.

განვმარტოთ რამდენიმე მნიშვნელოვანი სიდიდე:

სხეული კუთრი სითბოტევადობა არის 1 კგ მასის სხეულის ერთი გრადუსით გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობა:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}.$$

იზობარული და იზოქორული პროცესებისთვის შესაბამისი კუთრი სითბოტევადობების სიდიდეები განსხვავებულია, კერძოდ

$$c_p = c_v + \frac{R}{\mu}.$$

ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილებისთვის საჭირო სითბოს რაოდენობა ზოგადად განიმარტება როგორც სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა 1 კგ ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობის შესაცვლელად მუდმივი ტემპერატურის დროს. რამდენიმე სხეულისგან შემდგარ სისტემაში სხეულებს შორის ენერგიების გაცვლის შემდეგ მყარდება სითბური წონასწორობა და სრულდება სითბური ბალანსის განტოლება:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0.$$

ასეთი სახით ჩაწერილ განტოლებაში ტემპერატურათა სხვაობაში იგულისხმება საბოლოო ტემპერატურას გამოკლებული საწყისი, რაც ავტომატურად ითვალისწინებს გაცივებასაც (სითბოს რაოდენობა არის უარყოფითი) და გაცხელებასაც (სითბოს რაოდენობა არის დადებითი). აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილების დროს დნობის/აორთქლების კუთრი სითბო განიხილება როგორც დადებითი სიდიდე, ხოლო გამყარების/კონდენსაციის კუთრი სითბო, როგორც უარყოფითი სიდიდე, ხოლო მათი აბსოლუტურინ სიდიდეები ერთმანეთის ტოლია.

მუშაობა და სითბო: ერთატომიანი იდეალური აირი იზობარულ პროცესში ასრულებს n -ჯერ მეტ მუშაობას, ვიდრე იზოთერმულ პროცესში. განსაზღვრეთ აირისთვის მიწოდებული სითბოს რაოდენობების ფარდობა ამ პროცესებში.

იზობარული პროცესის დროს აირისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა Q_1 თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად ტოლია

$$Q_1 = \Delta U_1 + A_1,$$

სადაც ΔU_1 და A_1 შესაბამისად აირის შინაგანი ენერგიის და მის მიერ გაფართოებისას შესრულებული მუშაობის ტოლია. ერთატომიანი აირისთვის

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T.$$

აირის მიერ შესრულებული მუშაობა იზობარული პროცესის დროს

$$A_1 = p \Delta V = \nu R \Delta T.$$

ამ განტოლებების საფუძველზე ვასკვნით, რომ

$$Q_1 = \frac{5}{2} A_1.$$

მეორეს მხრივ იზოთერმული პროცესის დროს აირის შინაგანი ენერჯიის ცვლილება ნულის ტოლია და თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად $Q_2 = A_2$. პირობის თანახმად $A_1 = nA_2$. საძიებელი სიდიდისთვის მიიღება შემდეგი შედეგი:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{5n}{2}.$$

სითბოს რაოდენობის გაცვლა: თბოგაუმტარი ტიხარი სითბურად იზოლირებულ ჭურჭელს ჰყოფს ორ ნაწილად. საწყის მომენტში ჭურჭლის ერთ ნაწილში მოთავსებულია T_1 ტემპერატურის ν_1 მოლი აირი, ხოლო მეორე ნაწილში $T_2 > T_1$ ტემპერატურის ν_2 მოლი აირი. სითბოს რა რაოდენობა გადაეცემა აირს პირველ ნაწილში სითბური წონასწორობის დამყარებისას? რა მოხდება, თუ ტიხარი იქნება მოძრავი?

სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ აირის ტემპერატურები ორივე ნაწილში გათანაბრდება. თუ აირების საბოლოო ტემპერატურას აღვნიშნავთ T , მაშინ T_1 ტემპერატურის აირისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა ტოლი იქნება

$$Q = \frac{3}{2}\nu_1(T - T_1).$$

ცხადია აირების ენერჯიები შეიცვლება, მაგრამ სრული ენერჯია ჭურჭელში იგივე დარჩება. რადგან ჭურჭელი სითბურად იზოლირებულია. ამიტომ

$$\frac{3}{2}\nu_1RT_1 + \frac{3}{2}\nu_2RT_2 = \frac{3}{2}\nu_1RT + \frac{3}{2}\nu_2RT.$$

ამ უკანასკნელიდან ვპოულობთ აირების საბოლოო ტემპერატურას:

$$T = \frac{\nu_1T_1 + \nu_2T_2}{\nu_1 + \nu_2}.$$

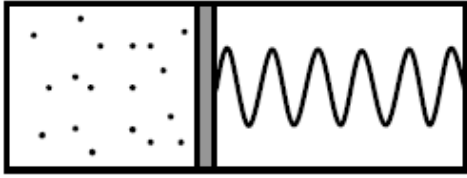
სითბოს რაოდენობისთვის, რომელიც გადაეცა აირს ჭურჭლის პირველ ნაწილში, მივიღებთ:

$$Q = \frac{3\nu_1\nu_2(T_2 - T_1)}{2(\nu_1 + \nu_2)}.$$

ცხადია სითბოს იგივე რაოდენობა გასცა T_2 ტემპერატურის მქონე აირმა.

რა შეიცვლება, თუ ტიხარი იქნება მოძრავი? თუ ტიხარი იქნება მოძრავი, მაშინ ტემპერატურის გათანაბრებასთან ერთად გათანაბრდება წნევები ორივე მხარეს. ვინაიდან აირი არ ასრულებს მუშაობას გარეშე ძალების წინააღმდეგ, სრული ენერჯია კვლავ მუდმივი იქნება. ერთი აირი დაკარგავს ენერჯიას, ხოლო მეორე შეიძენს. განსვავება არის ის, რომ გადაცემული ენერჯიის ნაწილი მოხმარდება აირის მიერ მუშაობის შესრულებას აირის გაფართოების (შეკუმშვის) დროს.

ზამბარის სიხისტე: თბოიზოლირებულ ცილიდრულ ჭურჭელში, რომლის განივკვეთის ფართობია S , ზამბარის მეშვეობით დამაგრებულია თბოგაუმტარი ტიხარი. მის ერთ მხარეს



მოთავსებულია T_0 ტემპერატურის ν მოლი აირი, ხოლო მეორე მხარეს ვაკუუმია. ზამბარა არადეფორმირებულ მდგომარეობაშია. ტიხარი გაათავისუფლეს და აირი გაფართოვდა. წონასწორობის დამყარების შემდეგ მისი მოცულობა

ორჯერ გაიზარდა. იპოვეთ ზამბარის სიხისტე k , თუ დეფორმაციის სიდიდე არის x .

ტიხარის გაათავისუფლების და წონასწორობის დამყარების შემდეგ აირის წნევა გაუტოლდება ზამბარის მიერ წარმოებულ წნევას. აღვნიშნოთ აირის საწყისი და საბოლოო წნევები შესაბამისად p_0 და p მაშინ ზამბარის სიხისტე ტოლი იქნება

$$k = \frac{pS}{x}.$$

რადგან ჭურჭელი თბოიზოლირებულია, ვისარგებლოთ ენერჯის მუდმივობის კანონით. აირის საწყისი ენერჯია ტოლია აირის საბოლოო ენერჯის და ზამბარას დეფორმაციის ენერჯის ჯამის. თუ აირის საბოლოო ტემპერატურა არის T , მაშინ

$$\frac{3}{2} \nu RT_0 = \frac{3}{2} \nu RT + \frac{1}{2} kx^2.$$

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების გამოყენებით ეს ტოლობა შემდეგნაირად გადაიწერება:

$$\frac{3}{2} p_0 V = \frac{3}{2} p 2V + \frac{1}{2} pV.$$

აქედან

$$p = \frac{3}{7} p_0.$$

ზამბარას სიხისტისთვის მივიღებთ შემდეგ ტოლობას:

$$k = \frac{3p_0 S}{7x}.$$

გადაცემული სითბოს რაოდენობა: $\nu = 2$ მოლი რაოდენობის აირი, რომლის ტემპერატურაა $T_1 = 300K$, გაცივებს იზოქორულად ისე, რომ მისი წნევა დაეცა $n = 2$ -ჯერ. შემდეგ აირი გაათბეს მუდმივი წნევის ქვეშ და მისი ტემპერატურა მიიყვანეს საწყის ტემპერატურამდე. სითბოს რა რაოდენობა გადაეცა აირს?

აირის იზოქორულად გაცივებისას იგი სითბოს გამოყოფს და მისი შინაგანი ენერგია მცირდება. იზობარული გაფართოების დროს აირი შეიძენს დაკარგულ შინაგან ენერგიას, რადგან მისი ტემპერატურა უზრუნდება საწყის მნიშვნელობას. ამავე დროს იზობარული გაფართოებისას აირი ასრულებს მუშაობას. ამისთვის მას სჭირდება დამატებითი ენერგია, რომელიც მან სითბოს რაოდენობის სახით უნდა მიიღოს. ამიტომ ორივე პროცესის დროს აირისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა რეალურად ხმარდება აირის მიერ შესრულებულ მუშაობას. გამოვთვალოთ მისი სიდიდე. გამოვიყენოთ თერმოდინამიკის პირველი კანონი. პირველ პროცესში აირის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობა ტოლია

$$Q_1 = \Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1), \quad (1)$$

სადაც ΔU_1 არის აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილება, რომელიც უარყოფითია. იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების თანახმად

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{n}, \quad \text{რადგან } V_1 = V_2 \text{ და } P_2 = \frac{P_1}{n}.$$

განტოლება (1) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$Q_1 = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{T_1}{n} - T_1 \right). \quad (2)$$

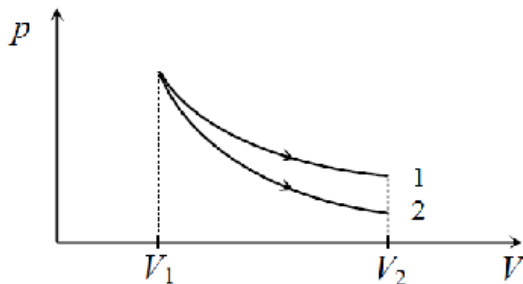
მეორე პროცესი არის იზობარული და აირისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა იხარჯება აირის შინაგანი ენერგიის გაზრდაზე და მის მიერ აირის გაფართოებისას შესრულებულ A მუშაობაზე. ამიტომ

$$Q_2 = \Delta U_2 + A = \frac{3}{2} \nu R \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right) + P_2 \Delta V = \frac{3}{2} \nu R \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right) + \nu R \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right). \quad (3)$$

აქ კვლავ გამოვიყენეთ იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება. (2) და (3) ტოლობების ჯამი იქნება აირის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \nu R \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right) = 2493 \text{ ჯ.}$$

აირის მუშაობა: ერთატომიანი იდეალური აირი ფართოვდება V_1 მოცულობიდან V_2 -მდე ჯერ იზოთერმულად, ხოლო შემდეგ ადიაბატურად. რომელი პროცესის დროს ასრულებს აირი მეტ მუშაობას? რომელ პროცესში იღებს იგი სითბოს მეტ რაოდენობას?



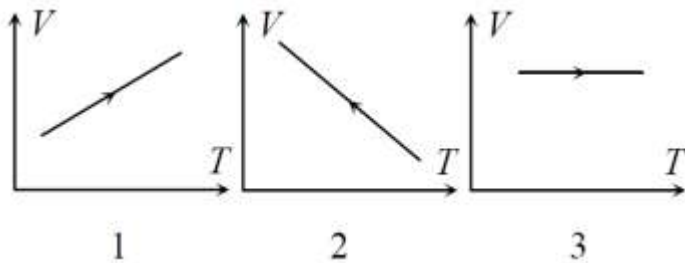
აირის მიერ შესრულებული მუშაობების შესადარებლად მოცემულ პროცესებში ავაგოთ პროცესების ამსახველი გრაფიკები. ნახაზიდან ჩანს, რომ ადიაბატური პროცესის დროს აირის წნევა უფრო სწრაფად ეცემა, ვიდრე

იზოთერმული პროცესის დროს. მართლაც, პროცესი ადიაბატურია, თუ არ ხდება სითბოს ცვლა გარემოსთან. აირის გაფართოებისას შესრულებული მუშაობა დადებითია, მაშინ თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად

$$\Delta U = -A$$

და აირის შინაგანი ენერგია ეცემა. ეს თავის მხრივ გამოიწვევს ტემპერატურის დაცემასაც, რასაც მოყვება აირის წნევის შემცირება. ამიტომ ნახაზზე ერთი და იგივე მოცულობისთვის ადიაბატური პროცესის გრაფიკი იზოთერმას ქვემოთ არის. რადგან აირის მუშაობა ტოლია $P - V$ დიაგრამაზე გრაფიკით შემოსაზღვრული გეომეტრიული ნაკვეთის ფართობის, იზოთერმული პროცესის დროს აირის მუშაობა მეტია: $A_1 > A_2$. რაც შეეხება სითბოს რაოდენობას, ცხადია იზოთერმული პროცესის დროს აირის ლეზულობს სითბოს მეტ რაოდენობას, რადგან ადიაბატური პროცესის დროს სითბოს ცვლა გარემოსთან არ ხდება.

პროცესები იდეალურ აირებში: ერთი და იგივე იდეალურ აირში მიმდინარეობს პროცესები, რომელთა გრაფიკები $V - T$ ცვლადებში ნაჩვენებია ნახაზზე. განსაზღვრეთ



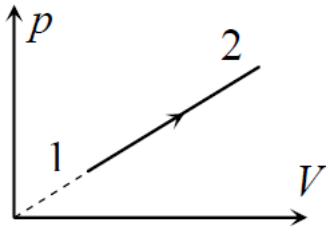
რომელ პროცესშია აირის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითი და რომელში უარყოფითი; რომელ პროცესში იზრდება აირის შინაგანი ენერგია და რომელში მცირდება; რომელ პროცესში გასცემს აირი სითბოს და რომელში იღებს.

1 პროცესში აირის მოცულობა იზრდება ტემპერატურასთან ერთად, მაგრამ ეს არ არის იზობარული პროცესი, რადგან გრაფიკის გაგრძელება არ გადის კოორდინატთა სათავეზე. ამასთან პროცესის საწყისი მდგომარეობის შესაბამის წერტილზე გამავალ იზობარასთან შედარებით გრაფიკის დახრილობა შემცირებულია, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ წნევაც იზრდება ტემპერატურასთან ერთად. ამიტომ: აირის მუშაობა დადებითია, შინაგანი ენერგია იზრდება და აირს გადაეცემა სითბოს რაოდენობა.

2 პროცესში აირის მოცულობა იზრდება, მაგრამ ტემპერატურა მცირდება. ამიტომ შინაგანი ენერგია მცირდება, ხოლო აირის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითია. ეს კი იგი გასცემს სითბოს და მის შინაგანი ენერგია მცირდება. რას შეეხება სითბოს, აირი გასცემს თუ მის მიერ შესრულებული მუშაობის სიდიდე აჭარბებს ენერგიის ცვლილების სიდიდეს და პირიქით.

3 პროცესი არის იზოქორული პროცესი. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად იზრდება აირის წნევა. ამ დროს აირი ასრულებს ნულოვან მუშაობას, მისი შინაგანი ენერგია იზრდება და მას გადაეცემა სითბო.

აირისტვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა: ν მოლი რაოდენობის აირში მიმდინარეობს პროცესი, რომლის დროსაც აირის წნევა მისი მოცულობის პირდაპირპროპორციულია. იპოვეთ აირისტვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა, აირის საწყისი ტემპერატურაა T_1 , ხოლო საბოლოო ტემპერატურა T_2 .



დიაგრამზე წნევა მოცულობის პროპორციულად იზრდება. ამიტომ აირის ტემპერატურაც მატულობს. აირისტვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა ტოლია

$$Q = \Delta U + A.$$

მუშაობის გამოსათვლელად შევნიშნოთ, რომ წნევას და მოცულობას შორის არის წრფივი დამოკიდებულება: $P = kV$. აირის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება გრაფიკით შემოსაზღვრული ტრაპეციის ფართობის და უდრის

$$A = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1) = k \frac{V_2^2 - V_1^2}{2},$$

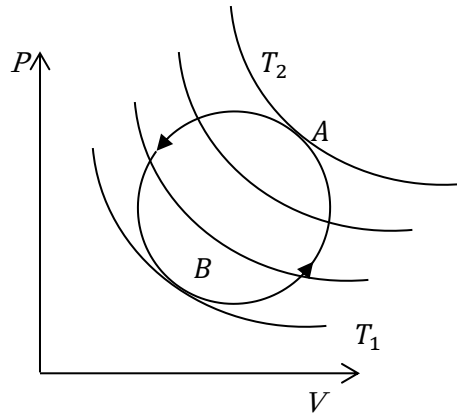
სადაც P_1, V_1 და P_2, V_2 აირის საწყისი და საბოლოო წნევები და მოცულობებია. აირის მდგომარეობის განტოლების თანახმად

$$PV = \nu RT \Rightarrow kV^2 = \nu RT \Rightarrow A = \frac{1}{2} \nu RT.$$

მარტივი გარდაქმნებით მივიღებთ, რომ აირისტვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$Q = 2\nu R(T_2 - T_1).$$

წრიული პროცესი: აღწერეთ, თუ როგორ იცვლება აირის ტემპერატურა $P - V$ დიაგრამაზე მოცემულ წრიულ პროცესში.



დიაგრამაზე ასახულ წრიულ პროცესში იცვლება სამივე პარამეტრი - P , V და T . ამავე დროს დიაგრამზე დახაზულია რამდენიმე იზოთერმა სხვადასხვა ტემპერატურებისთვის. ცნობილია, რომ ერთი და იგივე მასის აირისთვის იზოთერმა გადაინაცვლებს ზევით ტემპერატურის ზრდასთან ერთად. ზედა იზოთერმის და წრიული დიაგრამისთვის შეხების A წერტილში ტემპერატურა ერთი და იგივეა. იგივე სამართლიანია B წერტილისთვის. ამიტომ, ცხადია, A წერტილიდან B წერტილამდე პროცესში ტემპერატურა კლებულობს, ხოლო B წერტილიდან A წერტილამდე - ტემპერატურა იზრდება.

ნარევის ტემპერატურა: კალორიმეტრში, რომლის მასა არის m , ხოლო ტევადობა c , ჩასხმულია m_1 მასის და t_1 ტემპერატურის, m_2 მასის და t_2 ტემპერატურის, m_3 მასის და t_3 ტემპერატურის წყალი. იპოვეთ ნარევის t ტემპერატურა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ.

სითბური ბალანსის გატოლების თანახმად

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0.$$

ანუ

$$c_1 m_1 (t - t_1) + c_2 m_2 (t - t_2) + c_3 m_3 (t - t_3) + c m (t - t_1) = 0.$$

ნარევის საბოლოო ტემპერატურისთვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$t = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + c_3 m_3 t_3 + c m t_1}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 + c m}.$$

წყლის გაცივების დრო: ჭურჭელში ჩასხმულ $m = 300$ გ წყალს აცხელებენ გამაცხელებლით, რომლის სიმძლავრეა $P = 40$ ვტ. წყლის ტემპერატურა აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას $T = 60^\circ\text{C}$. რა t დრო დასჭირდება ამ ტემპერატურის წყლის $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ -ით გაცივებას, თუ გამაცხელებელს გამოვრთავთ? წყლის კუთრი სითბოტევადობა არის $c = 4.2 \cdot 10^3$ ჯ/კგკელ.

ამოცანაში მნიშვნელოვანია, რომ წყლის ტემპერატურა დროის რაღაც მომენტისთვის აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ამ მომენტიდან მოყოლებული წყალი აღარ ცხელდება. აქედან ვასკვნით, რომ წყალი გამოყოფს გარემოში იმდენ სითბოს, რამდენსაც იღებს გამაცხელებლისგან. ამიტომ როდესაც ის დაიწყებს გაცივებას მის მიერ დროის ერთეულში გაცემული სითბოს რაოდენობა q უტოლდება გამაცხელებლის სიმძლავრეს: $q = P$. ამრიგად, წყალი ერთი გრადუსით გაცივებისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$Q = cm\Delta T = Pt, \quad \text{აქედან} \quad t = \frac{cm\Delta T}{P} = 31.5 \text{ წმ}.$$

საწვავის მასა: რა M მასის ნავთია საჭირო იმისთვის, რომ ავადულოთ $T = 25^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის $m = 500\text{გ}$ მასის წყალი, თუ გამაცხელებლის მ.ქ.კ. ტოლია 20%. ნავთის წვის კუთრი სითბო $q = 4.6 \cdot 10^7 \text{ჯ/კგ}$, წყლის კუთრი სითბოტევადობა არის $c = 4.2 \cdot 10^3 \text{ჯ/კგ კელ}$.

გამაცხელებლის მ.ქ.კ.

$$\eta = \frac{Q}{Mq} = \frac{cm(100^{\circ}\text{C} - T)}{q}, \quad \text{აქედან} \quad M = \frac{cm(100^{\circ}\text{C} - T)}{\eta q} = 0.34\text{გ}.$$

აორთქლების დრო: $m_1 = 0.5$ კგ მასის ალუმინის ჭურჭელში ჩასხმულია $m_2 = 2$ კგ მასის და $T_1 = 20^{\circ}\text{C}$ წყალი. წყალს აცხელებენ ელექტროქურით, რომლის მ.ქ.კ. $\eta = 30\%$. ქურა მოიხმარს $P = 5 \cdot 10^3 \text{ვტ}$ სიმძლავრეს. წყლის რა რაოდენობა აორთქლდება $t = 12$ წთ-ს შემდეგ? ალუმინის კუთრი სითბოტევადობა $c_1 = 9 \cdot 10^2 \text{ჯ/კგკელ}$, წყლის კუთრი სითბოტევადობა $c_2 = 4.2 \cdot 10^3 \text{ჯ/კგკელ}$, წყლის აორთქლადქცევის კუთრი სითბო $q = 2.6 \cdot 10^6 \text{ჯ/კგ}$.

ჩაიდანის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობა მოხმარდება ალუმინის ჭურჭლის და წყლის გაცხელებას დუდილის ტემპერატურამდე ($T_2 = 100^{\circ}\text{C}$) და წყლის ნაწილის აორთქლებას. ამასთან ამ პროცესს მოხმარდება ჩაიდანის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობის მხოლოდ 30%. სითბული ბალანსის განტოლების თანახმად

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = \eta Pt$$

სადაც $Q_1 = c_1 m_1 (T_2 - T_1)$ არის ჩაიდანის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა; $Q_2 = c_2 m_2 (T_2 - T_1)$ არის წყლის ასადულებლად საჭირო სითბოს რაოდენობა; $Q_3 = q \Delta m$ წყლის ასაორთქლებლად საჭირო სითბოს რაოდენობა. მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$\Delta m = \frac{\eta Pt - (c_1 m_1 + c_2 m_2)(T_2 - T_1)}{q} = 0.143 \text{კგ}.$$