



ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 11

ავოგადროს რიცხვი

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია
იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება
ბოილ-მარიოტის და გეი-ლუსაკის კანონები

1

წინა ლექციაში

ტემპერატურა და სითბო
სხეულების კუთრი სითბოტევადობა
სითბური გაფართოება

ფაზური გადასვლები
ფაზური გადასვლის კუთრი სითბო

2

წივთიერების რაოდენობა

წივთიერების რაოდენობის საზომი ერთეულები:

– მასა

ერთეული: გრამი, კილოგრამი ...

– ატომების (მოლეკულების) რაოდენობა

ერთეული: მოლი

3

წივთიერების რაოდენობა: მოლი

ერთი მოლი არის მატერიის რაოდენობა, რომელიც შეიცავს იმდენივე ატომს ან მოლეკულას რამდენსაც 0.012 კილოგრამი (12 გრამი) ნახშირბადი C^{12}

სხვადასხვა
წივთიერების
ერთი მოლი



4

ავოგადროს კანონი



ატომების რაოდენობა 12 გრამ ნახშირბადში, ან სხვა ნებისმიერი ნივთიერების ერთ მოლში მუდმივია და განისაზღვრება ავოგადროს რიცხვით:

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ (მოლეკულა/მოლში)}$$

5

მოლური მასა

მოლი არის ნივთიერებაში ატომების რაოდენობის საზომი ერთეული

რაც მეტია ნივთიერების თითოეული ატომის მასა, მით უფრო ნაკლები ატომების რაოდენობაა მასის ერთეულში

სხვადასხვა ნივთიერების ერთიდაიგივე მოლების რაოდენობაში ერთიდაიგივე რაოდენობის ატომებია (მოლეკულებია)

ფიზიკური მასის მისაღებად საჭიროა მოლური მასა

6

ნივთიერების ერთი მოლი

1 მოლი ნივთიერების მასა დამოკიდებულია ინდივიდუალური ნაწილაკის (ატომის, მოლეკულის) მასაზე.

შემდეგი ნივთიერებები შეიცავენ ატომების ტოლ რაოდენობას: $N = N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$

- 7 გრამი ლითიუმი (Li^7)
- 12 გრამი ნახშირბადი (C^{12})
- 55 გრამი რკინა (Fe^{55})
- 207 გრამი ტყვია (Pb^{207})
- 238 გრამი ურანი (U^{238})

$$240 \text{ გრამი} = 20 \times 12 \text{ გრამი}$$

7

მოლური მასა

რას იწონის ნივთიერების ერთი მოლი?

მოლური მასა ტოლია ნივთიერების ატომის (მოლეკულის) მასისა და ავოგადროს რიცხვის ნამრავსს

$$M = N_A m$$

M – მოლური მასა

N_A – ავოგადროს რიცხვი

m – ატომის (მოლეკულის) მასა

8

მოლეკულური მასა

მოლეკულური მასის დათვლა მრავალატომიანი მოლეკულისთვის:

$$m(H) = 1 m_p$$

$$m(H_2O) = 2 + 16 = 18 m_p$$

$$m(O_2) = 2 \times 16 = 32 m_p$$

m_p – პროტონის მასა

$$M = N_A m$$

$$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ კგ}$$

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$$

9

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია

მოლეკულების და ატომების მოძრაობის ურთიერთკავშირი მაკროსკოპულ თვისებებთან:

ტემპერატურა განისაზღვრება მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარით (კინეტიკური ენერგიით);

წნევა განისაზღვრება მოლეკულების კედლებთან დრეკადი დაჯახებით გამოწვეული ძალით;

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ავტორი:
ლუდვიგ ბოლცმანი



10

ბოლცმანის მუდმივა

კავშირი მოლეკულების საშუალო კინეტიკურ ენერგიასა და ტემპერატურას შორის

$$\left\langle \frac{mV^2}{2} \right\rangle = \frac{3}{2} K T$$

მიკროსკოპული

მაკროსკოპული

K - ბოლცმანის მუდმივა

$$K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ ჯოული/კელვინი}$$

(ყურადღებით: K – ბოლცმანის მუდმივა, K - კელვინი)

11

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია

ორი სხვადასხვა მასის მოლეკულების ნარევის აირი:
მაკროსკოპული ტემპერატურა T

ორივე ნივთიერების მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია ტოლია $m_1 V_1^2 / 2 = m_2 V_2^2 / 2$

- უფრო მასიური მოლეკულები მოძრაობენ უფრო ნელა;
- მსუბუქი მოლეკულები მოძრაობენ უფრო სწრაფად;

12

აირის მდგომარეობის განტოლება

აირების დახასიათება შეიძლება შემდეგი სამი ძირითადი მაკროსკოპული მახასიათებლით:

P - წნევა

V - მოცულობა

T - ტემპერატურა

დადგინდა, რომ აირების ფართო კლასებისათვის ეს სამი თერმოდინამიკური პარამეტრი ერთმანეთზე დამოკიდებულია შემდეგი კანონით:

$$P V / T = \text{constant}$$

13

იდეალური აირი

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება
(მენდელეევი-კლაპეირონის კანონი)

$$P V = (m / M) R T$$

P, V, T - აირის წნევა, მოცულობა და ტემპერატურა

m – აირის სრული მასა

M – აირის მოლური მასა

R - აირის უნივერსალური მუდმივა

$$R = 8.31 \text{ კ ჯ/(მოლი K)}$$

14

იდეალური აირი

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების
ალტერნატიული ფორმები

$$m/M = n \quad n - \text{მოლების რაოდენობა}$$

აირის უნივერსალური მუდმივის, ავოგადროს
რიცხვისა და ბოლცმანის რიცხვის კავშირი: $R = N_A K$

$N = n N_A$ - მოლეკულების სრული რაოდენობა

$$P V = N K T$$

15

იდეალური აირი

მიკროსკოპული თვალსაზრისით იდეალური აირის
მდგომარეობის განტოლება სამართლიანია როდესაც
აირის წნევა, სიმკვრივე და ტემპერატურა
ფორმირდება მოლეკულების (ატომების) დრეკადი
დაჯახებებით და შეგვიძლია სხვა მიზიდვის ან
განზიდვის ძალების უგულვებელყოფა

იდეალური აირის პროცესი: $(P_1, V_1, T_1) \rightarrow (P_2, V_2, T_2)$

$$P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2$$

16

თერმოდინამიკური პროცესები

შესაძლებელია სხვადასხვა ფაქტორის გამო იდეალური აირში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესში არ იცვლებოდეს რომელიმე პარამეტრი.

თუკი პროცესის დროს მუდმივია ტემპერატურა, ამბობენ რომ პროცესი **იზოთერმულია**;

თუკი პროცესის დროს მუდმივია წნევა, ამბობენ რომ პროცესი **იზობარულია**;

თუკი პროცესის დროს მუდმივია მოცულობა, ამბობენ რომ პროცესი **იზოქორულია**;

17

იზოთერმული პროცესი

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება იზოთერმული პროცესისას ($T = \text{constant}$)

ბოილ-მარიოტის კანონი

მუდმივი ტემპერატურის დროს მოცემული აირის წნევისა და მოცულობის ნამრავლი მუდმივია

$$P V = \text{constant}$$

აირის მოცულობა უკუპროპორციულია წნევის:

$$V \sim 1/P$$

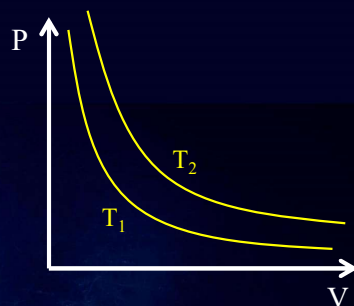
18

იზოთერმული პროცესი

$$P V = \text{const.}$$

PV დიაგრამა:

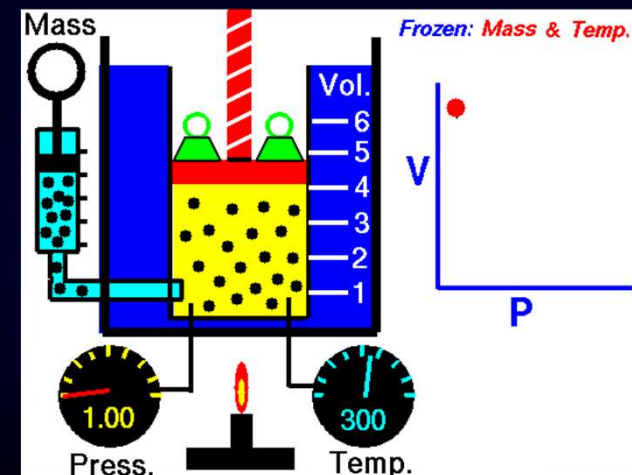
$$P \sim 1/V$$



სხვადასხვა ტემპერატურის **იზოთერმები**
($T_2 > T_1$)

19

ბოილ-მარიოტის კანონი



20

იზობარული პროცესი

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება
იზობარული პროცესისას ($P = \text{constant}$)

გეი-ლუსაკის კანონი

მუდმივი წნევის დროს აირის
მოცულობისა და ტემპერატურის ფარდობა მუდმივია
 $V / T = \text{constant}$

აირის მოცულობა პროპორციულია ტემპერატურის:
 $V \sim T$

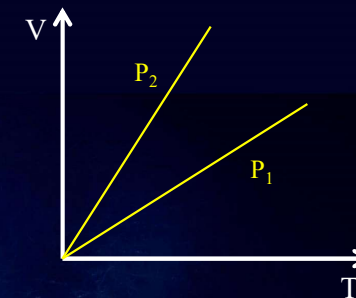
21

იზობარული პროცესი

$$V / T = \text{const.}$$

VT დიაგრამა:

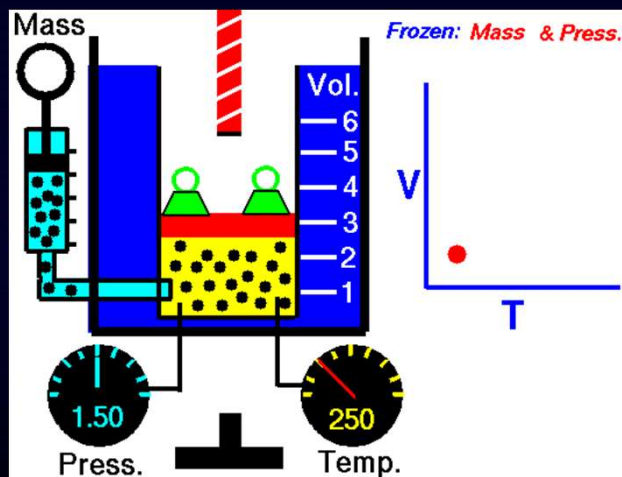
$$V \sim T$$



სხვადასხვა წნევის იზობარები

22

გეი-ლუსაკის კანონი



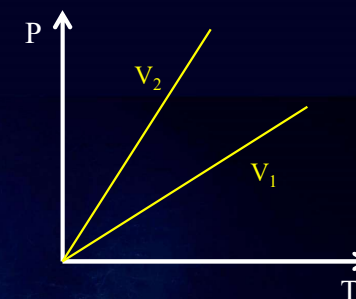
23

იზოქორული პროცესი

$$P / T = \text{const.}$$

PT დიაგრამა:

$$P \sim T$$



სხვადასხვა მოცულობის იზოქორები

24

იზობარული პროცესის მაგალითი



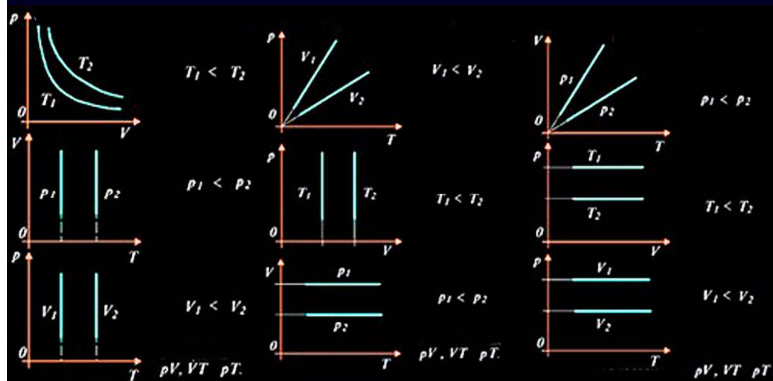
25

იზოქორული პროცესის მაგალითი



26

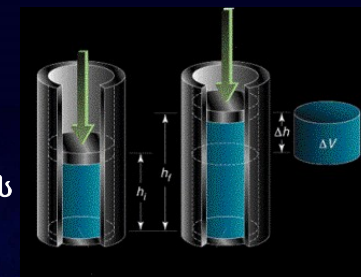
შეჯამება

 $T = \text{constant}$ $V = \text{constant}$ $P = \text{constant}$ მუდმივი მასის აირისთვის: $\rho \sim 1/V$

27

აირის შესრულებული მუშაობა

გაფართოებისას
 აირი ასრულებს დადებით
 მუშაობას დგუშზე, ხოლო
 შეკუმშვისას – უარყოფითს



$$A = F (h_2 - h_1)$$

$$F = P S, \quad A = P S (h_2 - h_1) = P (V_2 - V_1)$$

$$A = P \Delta V$$

28

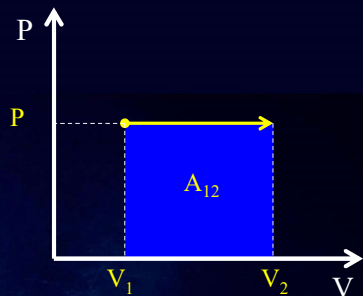
აირის მიერ შესრულებული მუშაობა

$$A = P \Delta V$$

პროცესის დროს
შესრულებული
მუშაობა:

$$A_{12} = P (V_2 - V_1)$$

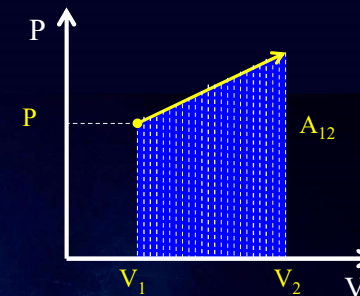
$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$



29

აირის მიერ შესრულებული მუშაობა

აირის მიერ
შესრულებული
მუშაობის დასათვლად
შესაძლებელია პროცესი
დავყოთ ელემენტარულ
სეგმენტებად და შემდეგ
ავჯამოთ:



აირის მიერ შესრულებული მუშაობა უდრის
პროცესის დროს PV დიაგრამაზე მოხაზული
ფიგურის ფართობს

30

აირის შინაგანი ენერგია

აირები შედგებიან მოლეკულების ან ატომებისაგან,
რომლებიც მოძრაობენ და ურთიერთქმედებენ

თითოეულ მოლეკულას გააჩნია კინეტიკური
ენერგია და ურთიერთქმედების პოტენციური
ენერგია

ყველა ინდივიდუალური მოლეკულის კინეტიკური
და პოტენციური ენერგიების ჯამს აირის შინაგანი
ენერგია ეწოდება

31

თერმოდინამიკის პირველი კანონი

აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილება ტოლია
აირზე გადაცემული სითბოსა და აირის მიერ
შესრულებული მუშაობის სხვაობას:

$$U_2 - U_1 = Q - A$$

- თუკი აირი ასრულებს მუშაობას მისი შინაგანი ენერგია კლებულობს;
- თუკი აირს გადავცემთ სითბოს და ვაცხელებთ მისი შინაგანი ენერგია მატულობს;

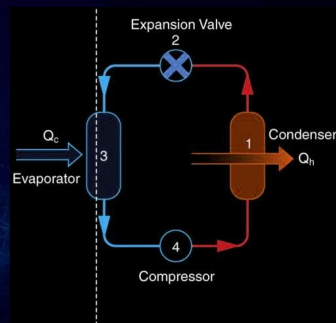
32

“სითბური მანქანა”

აირს შეუძლია შეასრულოს დადებითი, ან უარყოფითი მუშაობა: შესაძლებელია ტემპერატურის მატება, ან კლება

მაცივრების
და კონდიციონერების
სისტემები

ენერგიის რეზერვუარი:
აირის შინაგანი ენერგია



33

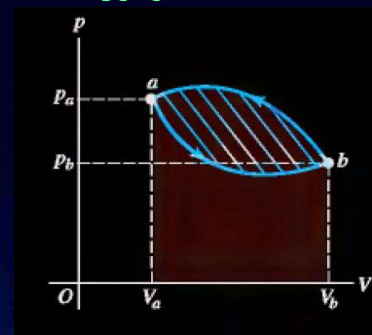
ციკლური პროცესები

$$A = P (V_2 - V_1)$$

აირის მუშაობა
დადებითი
თუკი იგი
ფართოვდება

PV დიაგრამაზე:
პროცესი მიმდინარეობს მარცხნიდან მარჯვნივ

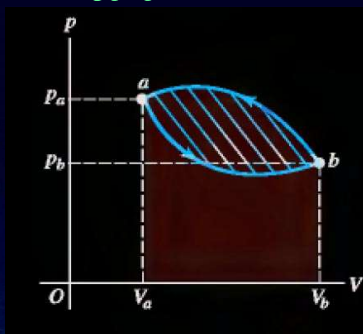
სითბური მანქანა:



34

ციკლური პროცესები

რა მიმართულებით
უნდა მიმდინარეობდეს
ჩაკეტილი პროცესი
PV დიაგრამაზე
რომ აირმა შეასრულოს
დადებითი მუშაობა?



- საათის ისრის მიმართულებით

35

კარნოს ციკლი

1-2-3-4

1-2 იზოთერმული გაფართოება

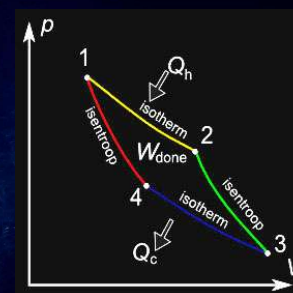
2-3 ადიაბატური გაფართოება

3-4 იზოთერმული შეკუმშვა

4-1 ადიაბატური შეკუმშვა

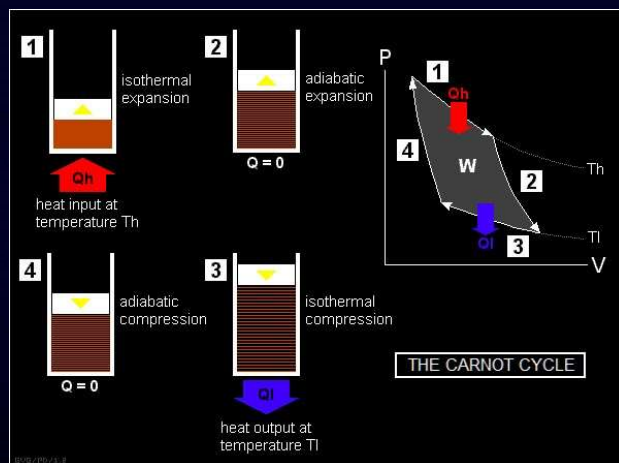
სითბოს გადაცემა: 1-2

სითბოს გაცემა: 3-4



36

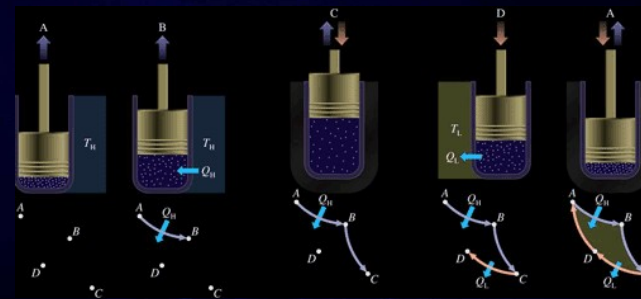
სითბური მანქანა



37

სითბური მანქანა

აირი ჯამურად ასრულებს დადებით მუშაობას:
სითბური მრავი



38

შიდა წვის მრავი

სითბის გამოყოფა საწვავის აალებით დახურულ სივრცეში:

1. მუდმივი მოცულობის;
2. მუდმივი წნევის;

1. ოტტოს ციკლი



2. დიზელის ციკლი



39

სითბოტევადობა

კლასიკური სითბოტევადობა:

$$\Delta Q = C M \Delta T$$

მუდმივი წნევის პროცესი ($P = \text{const.}$):

$$\Delta Q_p = C_p M \Delta T$$

მუდმივი მოცულობის პროცესი ($V = \text{const.}$):

$$\Delta Q_v = C_v M \Delta T$$

40

მუშაობა და სითბოტევადობა

მუდმივ წნევაზე აირი ასრულებს მუშაობას;
მუდმივი მოცულობის აირი მუშაობას არ ასრულებს;

$$C_p M \Delta T - P \Delta V = C_v M \Delta T$$

$$C_p = C_v + P \Delta V / M \Delta T$$

ჩვეულებრივ აირებში: $C_p > C_v$

41

სითბო და იდეალური აირი

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია
ბოლცმანის მუდმივა, ავოგადროს რიცხვი

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება
ბოილ-მარიოტის და გეი-ლუსაკის კანონები

თერმოდინამიკის პირველი კანონი

42

www.tevza.org/home/course/phys2025

43