



ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 11/1

## ფიზიკის შესავალი

### ლექცია 11

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

ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 11/1

## წინა ლექციაში

ტემპერატურა და სითბო  
სხეულების კუთრი სითბოტევადობა  
სითბური გაფართოება

ფაზური გადასვლები  
ფაზური გადასვლის კუთრი სითბო

ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 11/2

## წივთიერების რაოდენობა

წივთიერების რაოდენობის საზომი ერთეულები:

- მასა  
ერთეული: გრამი, კილოგრამი ...
- ატომების (მოლეკულების) რაოდენობა  
ერთეული: მოლი

ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 11/3

## 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



## ავოგადროს კანონი



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

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

## ნივთიერების ერთი მოლი

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

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

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

## 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

## მოლური მასა

რას იწონის ნივთიერების ერთი მოლი?

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

$$M = N_A m$$

$M$  – მოლური მასა

$N_A$  – ავოგადროს რიცხვი

$m$  – ატომის (მოლეკულის) მასა

## მოლური მასა

მოლური მასის დათვლა ნივთიერებისათვის რომელიც შედგება მოლეკულებისაგან:

$$m(\text{H}) = 1 m_p$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 2 + 16 = 18 m_p$$

$$m(\text{O}_2) = 2 \times 16 = 32 m_p$$

$m_p$  – პროტონის მასა

$$M = N_A m$$

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

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

## 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:  
ლოუდვიგ ბოლცმანი



## ბოლცმანის მუდმივა

კავშირი მოლეკულების საშუალო კინეტიკურ ენერგიასა და ტემპერატურას შორის

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{3}{2} KT$$

მაკროსკოპული

მაკროსკოპული

K – ბოლცმანის მუდმივა

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

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

## მოლეკულურ–კინეტიკური თეორია

ორი სხვადასხვა მასის მოლეკულების ნარევის აირი:  
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;

## 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:

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

## 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

$$R = 8.31 \text{ კ ჯ}/(\text{მოლი K})$$

## 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

$$P V = N K T$$

## 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:  $(P_1, V_1, T_1) \rightarrow (P_2, V_2, T_2)$

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

### თერმოდინამიკური პროცესები

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

თუკი პროცესის დროს ტემპერატურა მუდმივია, ამბობენ რომ პროცესი იზოთერმულია;

თუკი პროცესის დროს მუდმივია წნევა, ამბობენ რომ პროცესი იზობარულია;

თუკი პროცესის დროს მუდმივია მოცულობა, ამბობენ რომ პროცესი იზოქორულია;

### იზოთერმული პროცესი

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

ბოილ–მარიოტის კანონი

მუდმივი ტემპერატურის დროს მოცემული აირის წნევისა და მოცულობის ნამრავლი მუდმივია

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

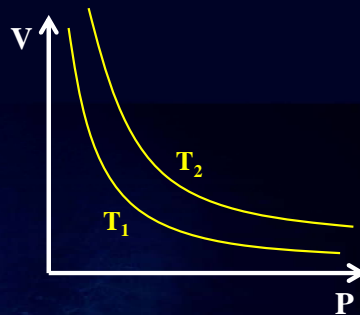
აირის მოცულობა უკუპროპორციულია წნევის:  
 $V \sim 1/P$

### იზოთერმული პროცესი

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

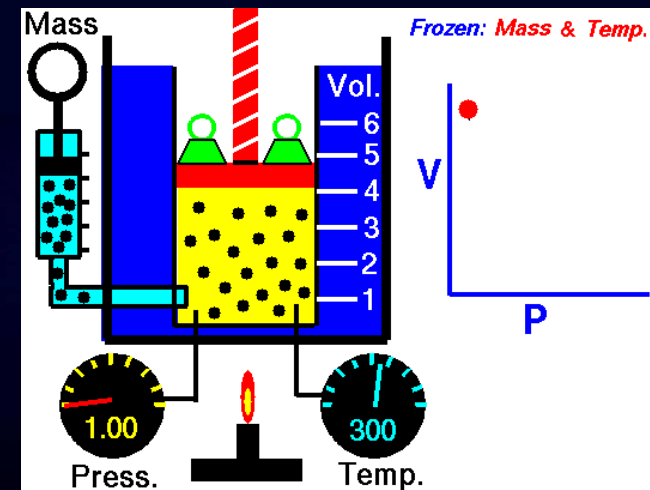
PV დიაგრამა:

$$P \sim 1/V$$



სხვადასხვა ტემპერატურის იზოთერმები

### ბოილ–მარიოტის კანონი



### იზობარული პროცესი

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

გეი-ლუსაკის კანონი

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

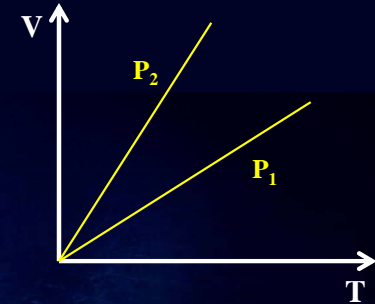
აირის მოცულობა პროპორციულია ტემპერატურის:  
 $V \sim T$

### იზობარული პროცესი

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

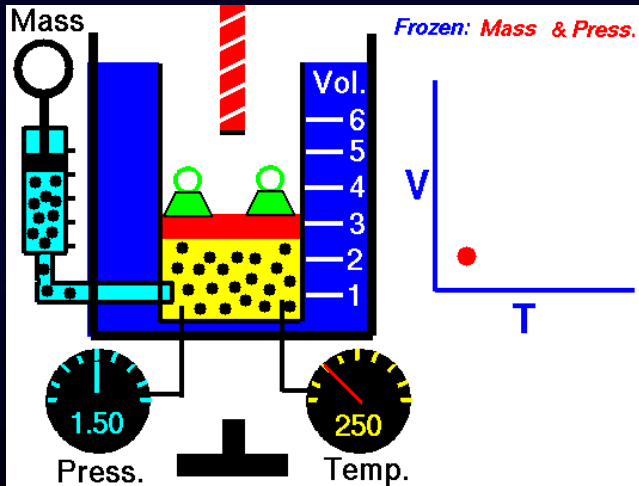
VT დიაგრამა:

$V \sim T$



სხვადასხვა წნევის იზობარები

### გეი-ლუსაკის კანონი

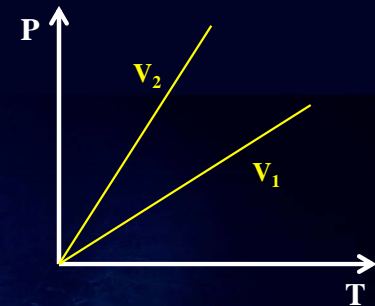


### იზოქორული პროცესი

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

PT დიაგრამა:

$P \sim T$



სხვადასხვა მოცულობის იზოქორები

### იზობარული პროცესის მაგალითი



### იზოქორული პროცესის მაგალითი

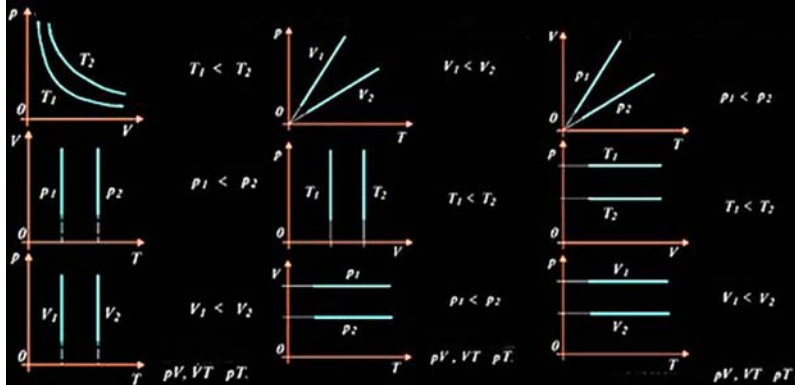


### შეჯამება

T = constant

V = constant

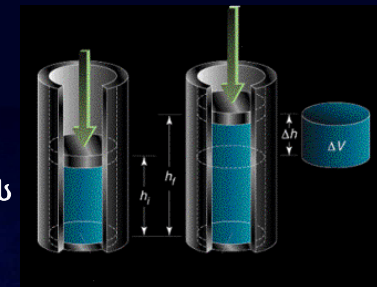
P = constant



მუდმივი მასის აირისთვის:  $\rho \sim 1/V$

### აირის შესრულებული მუშაობა

გაფართოებისას აირი ასრულებს დადებით მუშაობას დეგუმზე, ხოლო შეკუმშვისას – უარყოფითს



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

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

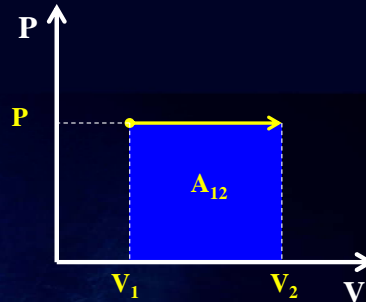
$$A = P \Delta V$$

## აირის მიერ შესრულებული მუშაობა

$$A = P \Delta V$$

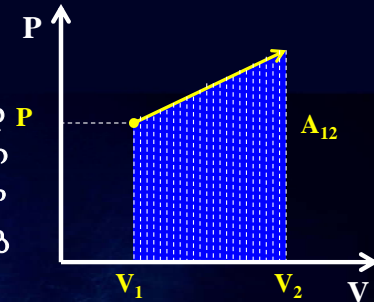
პროცესის დროს  
შესრულებული  
მუშაობა:

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



## აირის მიერ შესრულებული მუშაობა

აირის მიერ  
შესრულებული  
მუშაობის დასათვლელად P  
შესაძლებელია პროცესი  
დავყოთ ელემენტარულ  
სეგმენტებათ და შემდეგ  
ავეჯამოთ:



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

## 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

## თერმოდინამიკის პირველი კანონი

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

$$U_2 - U_1 = Q - A$$

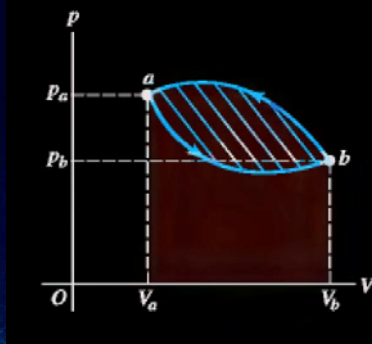
- თუკი აირი ასრულებს მუშაობას მისი შინაგანი ენერგია კლებულობს;
- თუკი აირს გადავცემთ სითბოს და ვაცხელებთ მისი შინაგანი ენერგია მატულობს;



### აირის შესრულებული მუშაობა

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

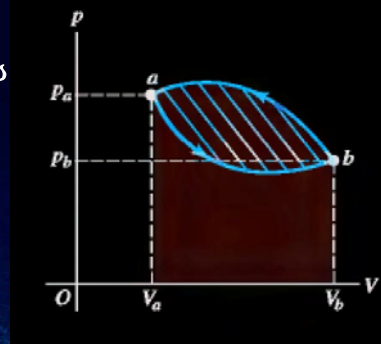
აირის  
მუშაობა  
დადებითი  
თუკი იგი  
ფართოვდება



PV დიაგრამაზე: პროცესი მიმდინარეობს მარცხნიდან მარჯვნივ

### აირის შესრულებული მუშაობა

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

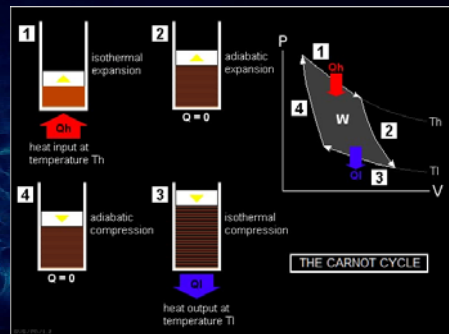


ჩაკეტილი კონტურზე პროცესი უნდა  
მიმდინარეობდეს საათის ისრის მიმართულებით

### სითბური მანქანა

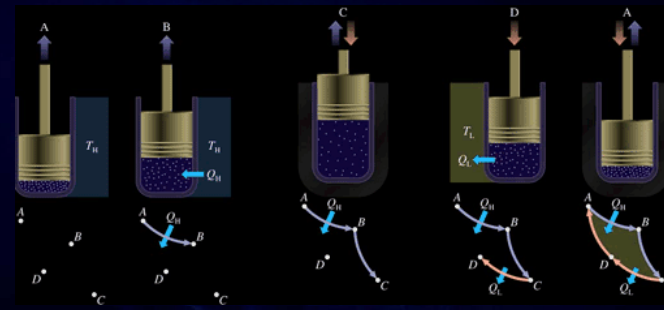
აირი ჯგამურად ასრულებს უარყოფით მუშაობას:  
საჭიროა გარეშე ენერჯის წყარო

მაცივრების  
და კონდიციონერების  
სისტემები



### სითბური მანქანა

აირი ჯგამურად ასრულებს დადებით მუშაობას:  
სითბური ძრავი



## სითბო და იდეალური აირი

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია  
ბოლცმანის მუდმივა, ავოგადროს რიცხვი

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

თერმოდინამიკის პირველი კანონი

[www.tevza.org/home/course/phys2012](http://www.tevza.org/home/course/phys2012)