



## ფიზიკის შესავალი - I

### ლექცია 8

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

#### ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები

- ძლიერი ურთიერთქმედება  
(ატომის ბირთვების შემაკავებელი ძალა)
- სუსტი ურთიერთქმედება  
(განზიდვა, რადიაქტიული დაშლა)
- ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება  
(ელექტროენერგია, რადიო, ტელევიზია)
- გრავიტაციული ურთიერთქმედება

#### წინა ლექციაში

მუშაობა და კინეტიკური ენერგია  
სიმძლავრე და ენერგია  
პოტენციური ენერგია  
ენერგიის შენახვის კანონი

#### გრავიტაცია

გრავიტაციული ურთიერთქმედება გამოიხატება სხეულებს შორის მიზიდულობის ძალის არსებობაში

გრავიტაციული ურთიერთქმედებების კანონებს ემორჩილებიან ციური სხეულები (პლანეტები, ვარსკვლავები, გალაქტიკები ...)

გრავიტაციული ურთიერთქმედება არის შორსქმედი არ არის საჭირო სხეულებს შორის კონტაქტი.

*ახლოქმედი ძალები:* ხახუნის, რეაქცია ...

## გრავიტაცია

რატომ ეცემა ვაშლი დედამიწაზე?  
 რატომ არ ეცემა მთვარე დედამიწას?  
 რატომ მოძრაობს დედამიწა მზის ირგვლივ?  
 როგორ მოძრაობენ ციური სხეულები?

ისააკ ნიუტონის  
 მსოფლიო  
 მიზიდულობის  
 კანონი



## მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

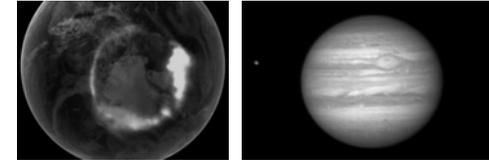
სამყაროში სხეულები იზიდავენ ერთმანეთს ძალით რომელიც პროპორციულია სხეულების მასების ნამრავლის და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$G$  - გრავიტაციული მუდმივა  
 $m_1$  - პირველი სხეულის მასა  
 $m_2$  - მეორე სხეულის მასა  
 $r$  - სხეულებს შორის მანძილი

## გრავიტაცია სამყაროში

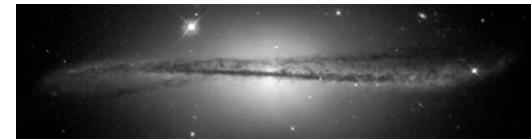
პლანეტების  
 ატმოსფეროები



პლანეტების  
 მიზიდვა  
 მზისაკენ



ვარსკვლავების  
 გროვები



## გრავიტაციული მუდმივა

$G$  - უნივერსალური მუდმივა

$$G = F r^2 / (m_1 m_2)$$

სიდიდე:  $6.6742 \cdot 10^{-11}$

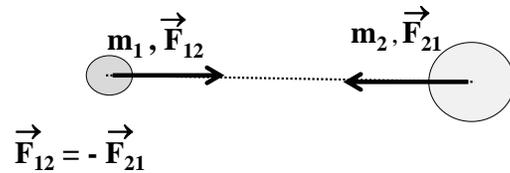
განზომილება:  $\text{ნ მ}^2/\text{კგ}^2$

ნიუტონი =  $\text{კგ მ/წმ}^2$

$$[G] = \text{მ}^3 / (\text{კგ წმ}^2)$$

## მიზიდულობის ძალა

სხეულებს შორის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა მიმართულია მათი შემაერთებელი ხაზის გასწვრივ ერთმანეთის მიმართულებით



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = G m_1 m_2 / r^2$$

## ექვივალენტობის პრინციპი

ნიუტონის მეორე კანონი:  $F = m a$   
 $m$  - ინერციული მასა

მიზიდულობის კანონი:  $F = G m M / r^2$   
 $m$  - გრავიტაციული მასა

სხეულის ინერციული და გრავიტაციული მასები ტოლია (ექვივალენტურია)

## სუპერპოზიციის პრინციპი

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა იჯამება

$M$  მასის სხეულზე მოქმედი ძალა:

$m_1$  მასასთან ურთიერთქმედების ძალა:  $\vec{F}_1$   
 $m_2$  მასასთან ურთიერთქმედების ძალა:  $\vec{F}_2$

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

## დედამიწის მიზიდულობის ძალა

$m$  მასის სხეულზე მოქმედი ძალა დედამიწის ზედაპირზე:

$$F = G m M_{\oplus} / R_{\oplus}^2$$

$M_{\oplus}$  - დედამიწის მასა

$R_{\oplus}$  - დედამიწის რადიუსი

$$F = m g$$

$g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

## თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება:

$$g_{\text{დ}} = G M_{\text{დ}} / R_{\text{დ}}^2$$

დედამიწის მასა:  $5.98 \cdot 10^{24}$  კგდედამიწის რადიუსი:  $6380$  კმ =  $6.38 \cdot 10^6$  მ

$$g_{\text{დ}} = 9.80 \text{ მ/წმ}^2$$

დედამიწის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალით გამოწვეული აჩქარება (თავისუფალი ვარდნა)

## გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

ორი სხეულის გრავიტაციული მიზიდულობის პოტენციური ენერგია უარყოფითი სიდიდეა, რომელიც პროპორციულია სხეულების მასების ნამრავლის და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის

$$U = - G m_1 m_2 / r$$

გრავიტაციული ძალისა და მანძილის ნამრავლი

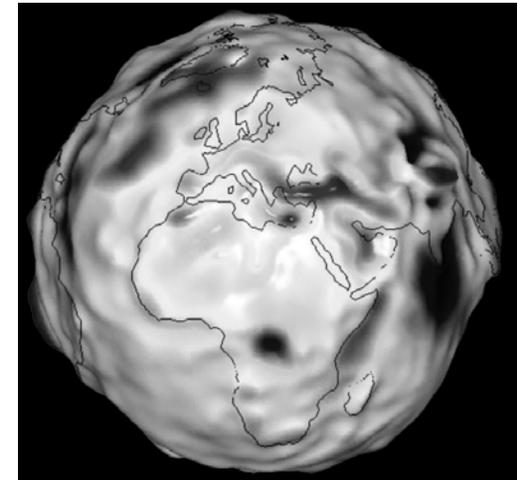
$$U = - F r$$

უარყოფითი ნიშანი გამოწვეულია ურთიერთქმედების მიზიდვის ხასიათით

## თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

გ დედამიწის  
ზედაპირზე  
სხვადასხვა  
წერტილში:

გრავიტაციული  
ანომალიების  
კვლევა



## გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

$$U \sim (-1/r)$$

სხეულებს შორის მანძილის შემცირებისას გრავიტაციული პოტენციური ენერგია მცირდება

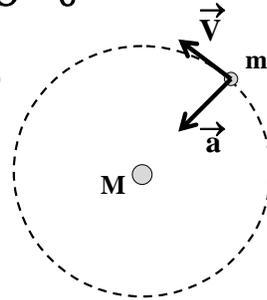
იზრდება პოტენციური ენერგიის მოდული  $|U|$

მაქსიმუმი:  $r = 0$ ,  $U = \infty$  (?)

სხეულების ზომები სასრულია:  $r \neq 0$

## მოდრაობა ორბიტაზე

$m$  მასის თანამგზავრის წრიული ბრუნვა  $M$  მასის ცენტრალური ობიექტის ირგვლივ:



მიზიდულობა:  $F = G m M / r^2$

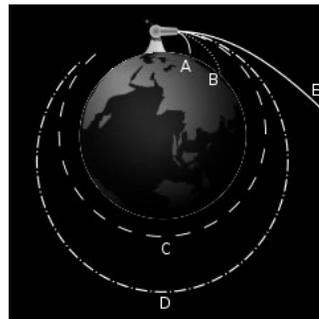
ნიუტონის მეორე კანონი:  $F = m a$

აჩქარება წრიული მოძრაობისას:  $a = V^2 / r$

## პირველი კოსმოსური სიჩქარე

ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეული ეცემა დედამიწას რაღაც მანძილში. რაც მეტია სიჩქარე, მით მეტია ფრენის ჰორიზონტული მანძილი.

რა სიჩქარით უნდა გავისროლოთ სხეული რომ ის აღარ დაეცეს დედამიწას?



## მოდრაობა ორბიტაზე

მოდრაობის კანონი:

$$G m M / r^2 = m a = m V^2 / r$$

ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე:

$$V^2 = G M / r$$

სხეულის ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მის მასაზე, არამედ ცენტრალურ მიმზიდველ მასაზე და ორბიტის რადიუსზე

## პირველი კოსმოსური სიჩქარე

სხეულის გასროლის სიჩქარე უდრის დედამიწის ცენტრიდან იგივე დაშორების ორბიტაზე მოძრაობის სიჩქარეს

$$V_1 = ( G M_{\oplus} / r_{\oplus} )^{1/2}$$

$$V_1 = 7\,860 \text{ მ/წმ} = 28\,296 \text{ კმ/სთ}$$

სხეულის დედამიწის ორბიტაზე გასვლის მინიმალური სიჩქარე

## მეორე კოსმოსური სიჩქარე

ენერჯის შენახვის კანონი:

$$E = E_k + U = \text{constant}$$

კინეტიკური ენერჯია:  $E_k = m V^2 / 2 > 0$ პოტენციური ენერჯია:  $U = - G m M_{\oplus} / r_{\oplus} < 0$ 

სისტემის სრული ენერჯია შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი:

$$E > 0 : |E_k| > |U|$$

$$E < 0 : |E_k| < |U|$$

## მეორე კოსმოსური სიჩქარე

$$V_2 = (2 G M_{\oplus} / r_{\oplus})^{1/2}$$

$$V_2 = 11\,116 \text{ მ/წმ} = 40\,0019 \text{ კმ/სთ}$$

სიჩქარე, რომელიც სხეულს სჭირდება რათა დასძლიოს დედამიწის მიზიდულობის ძალა და გავიდეს ღია კოსმოსში (მზის სისტემაში)

კიდევ უფრო მაღალი სიჩქარეა საჭირო მზის სისტემიდან გასასვლელად

## მეორე კოსმოსური სიჩქარე

რა სიჩქარით უნდა გავისროლოთ სხეული რომ მან დატოვოს დედამიწის მიზიდულობის ველი და შეძლოს ფრენა უსასრულობისკენ?

უსასრულობაში:  $r \rightarrow \infty, U \rightarrow 0, E \rightarrow E_k$   
 $(E_k > 0) \quad E > 0$

$|E_k| > |U| : m V_2^2 / 2 > G m M / r$

$$V_2^2 = 2 G M / r$$

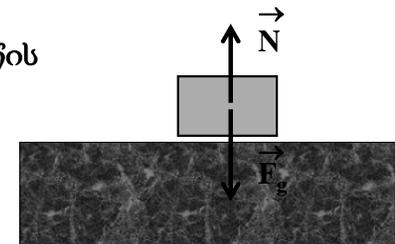
## წონა

სხეულის წონა ეწოდება ძალას, რომლითაც იგი მოქმედებს საყრდენზე ან საკიდარზე

უძრავი სხეული დედამიწის ზედაპირზე:

$$N + F_g = 0$$

$$F_g = -m g$$



წონა:  $W = m g$

## წონა თვითმფრინავში

თანაბარი ფრენა  
10 კმ სიმაღლეზე



გრავიტაციული მიზიდულობა:

$$F = mg_1$$

$$g_1 = G M / (R + r)^2$$

$$g_1 = 0.997 g$$

$$W = 0.997 W_0$$

გრავიტაციული მიზიდულობის შესუსტების გამო ადამიანის წონა კლებულობს 0.3% –ით.

## ადამიანის წონა მთვარეზე

თუკი დედამიწაზე ადამიანის წონაა 1000 ნიუტონი (100 კგ ტვირთის წონა), მაშინ მთვარის ზედაპირზე მისი წონა იქნება 166 ნიუტონი (16.6 კგ ტვირთის ექვივალენტი)

$$g_{\text{მ}} = G M_{\text{მ}} / R_{\text{მ}}^2$$

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მთვარეზე

$$g_{\text{მ}} = 0.166 g_{\text{დ}} \quad (16.6\%)$$

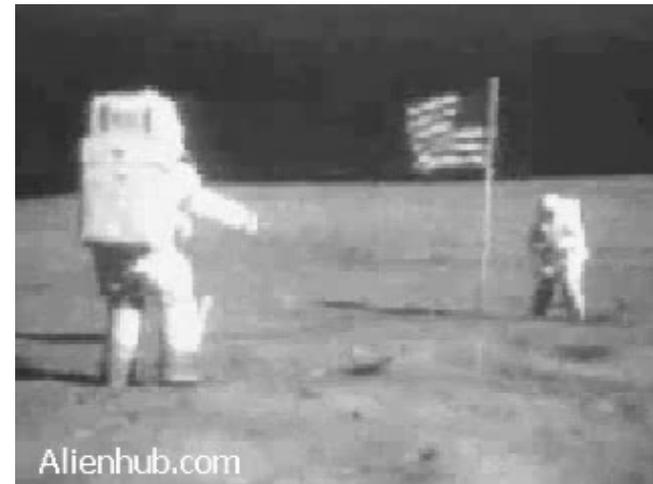
## წონის შემცირება

წონის შემცირება შესაძლებელია თავისუფალი ვარდნის აჩქარების, ანუ გრავიტაციის შესუსტების გამო.

გრავიტაციის მიზიდულობის ძალის შესუსტება:

- 1.) ობიექტამდე მანძილის გაზრდა  
(ატმოსფეროს მაღალ ფენებში)
- 2.) ობიექტის მასის შემცირება  
(სხვა ციური სხეულები)

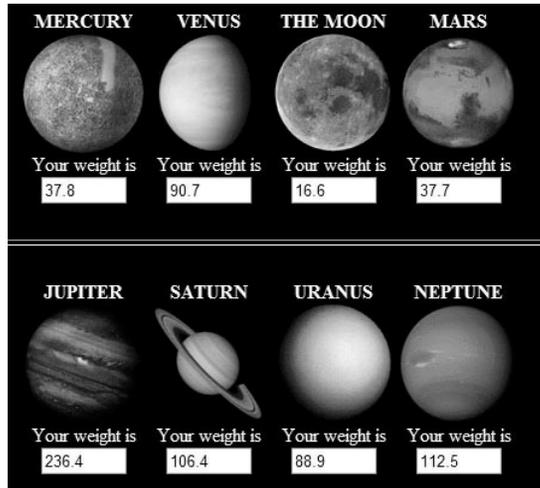
## ადამიანის წონა მთვარის ზედაპირზე



Alienhub.com

### ადამიანის წონა მზის სისტემის პლანეტებზე

100 კგ  
ადამიანის  
წონა  
სხვადასხვა  
პლანეტის  
ზედაპირზე



### სხეულის წონა ეკვატორზე

$$W = m ( g - a )$$

ცენტრისკენული აჩქარება დედამიწის ბრუნვის გამო

ბრუნვის პერიოდი:  $T = 24 \text{ სთ} = 86\,400 \text{ წმ}$

$$a = \omega^2 R = (2 \pi / T)^2 R = 0.039 \text{ მ/წმ}^2$$

$$a/g = 0.039 / 9.8 = 0.00398 \quad (0.398\%)$$

ეკვატორზე სხეულის წონა კლებულობს ~0.4%

### მოძრავი სხეულის წონა

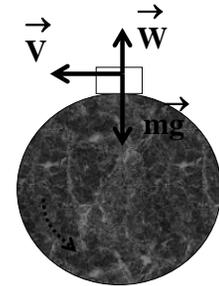
აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა განსხვავდება უძრავი სხეულის წონისაგან.

მაგალითად გავითვალისწინოთ დედამიწის ბრუნვა და გამოვთვალოთ ეკვატორზე მყოფი სხეულის წონა

$$\vec{W} + \vec{mg} = \vec{ma}$$

$$W - mg = -ma$$

$$W = m ( g - a ) \text{ წონა მცირდება}$$



### უწონობა

$$W = m ( g - a )$$

ვთქვათ სხეული ბრუნავს სიჩქარით, რომლის ბრუნვის ცენტრისკენული აჩქარებაცაა:  $a = g$

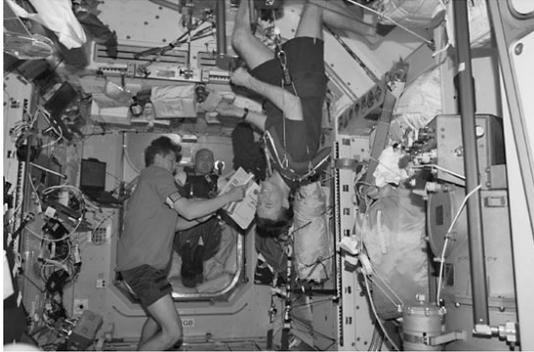
სხეულის წონა ამ შემთხვევაში:  $W = 0$

უწონობის მდგომარეობა

მაგალითად: დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების მოძრაობა

### უწონობა ორბიტაზე

ძალა, რომლითაც ადამიანი მოქმედებს საყრდენზე ან საკიდარზე ნულია. ადამიანი – უწონოა.



რომელი მხარეა ზევით, და რომელი ქვევით?

### უწონობა თავისუფალი ვარდნისას

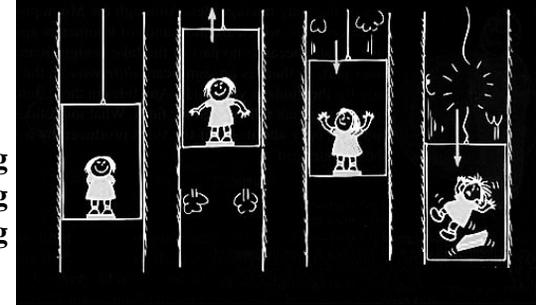


### წონის ცვლილება მოძრაობაში

ლიფტის წრფივი ვერტიკალური მოძრაობა  $a$  აჩქარებით

$$W = m ( g - a )$$

- 1)  $a = 0$  ,  $W = mg$
- 2)  $a < 0$  ,  $W > mg$
- 3)  $a > 0$  ,  $W < mg$
- 4)  $a = g$  ,  $W = 0$



### წონასწორობა სიმძიმის ველში

წონასწორობაში ძალთა ტოლქმედი ნულია რთული სისტემების წონასწორობაში მოსაყვანად შესაძლებელია სისტემის მასათა ცენტრზე ზემოქმედება



წონასწორობა სიმძიმის ველში:



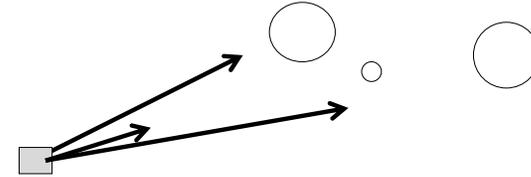
## რთული სისტემის მიზიდულობა

რა ძალით მიგვიზიდავს რამოდენიმე სხეულისაგან შედგენილი ჩვენგან დაშორებული სისტემა?

1.) დავთვალოთ თითოეული სხეულის მიზიდვა და ძალები ავჯამოთ (ვექტორულად);

2.) ვიპოვოთ მასათა ცენტრი და გამოვთვალოთ მიზიდულობა წარმოსახვით სხეულთან, რომლის მასაა მთლიანი სისტემის მასა, ხოლო ადგილმდებარეობა ემთხვევა მასათა ცენტრს;

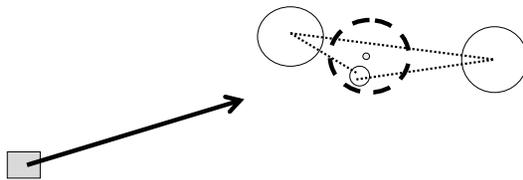
## რთული სისტემის მიზიდულობა



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

ჯამური ძალა ტოლია თითოეული სხეულის მიზიდულობის ძალების ჯამს

## რთული სისტემის მიზიდულობა



$$F = F_m = G m M / r^2$$

$F_m$  - მასათა ცენტრში მყოფი წარმოსახვითი სხეულის მიზიდულობის ძალა

$r$  - მანძილი სხეულიდან სისტემის მასათა ცენტრამდე

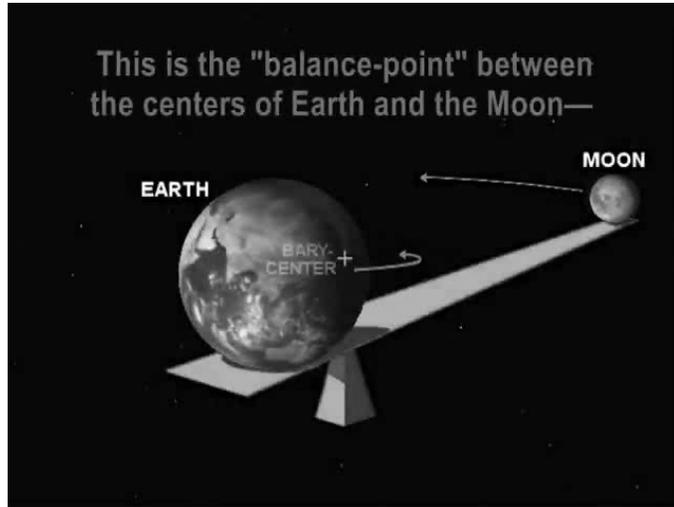
## ორი სხეულის მოძრაობა

ორი ციური სხეულის მოძრაობა ერთმანეთის მიზიდულობის ველში.

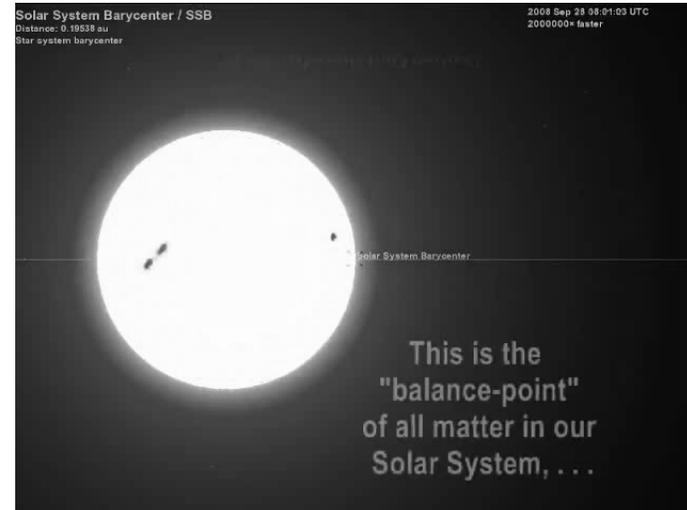
არანულოვანი საწყისი სიჩქარე შემაერთებელი ღერძის მართობული მიმართულებით (წინააღმდეგ შემთხვევაში ერთმანეთს დაეცემიან) მასათა ცენტრის სისტემა



### მთვარე-დედამიწის სიმბიზის ცენტრი

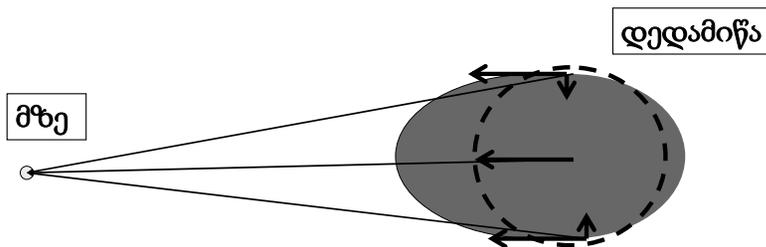


### მზის სისტემის სიმბიზის ცენტრი



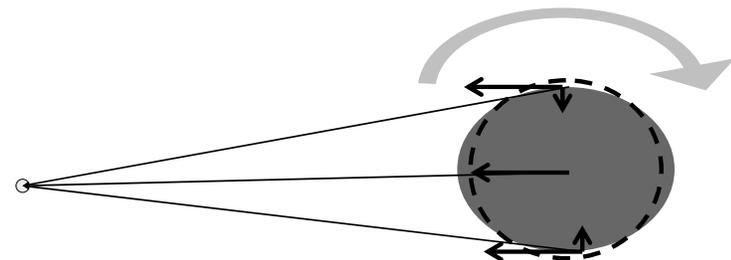
### რთული სხეული სიმბიზის ველში

მზის გრავიტაციული მიზიდულობა ცდილობს პლანეტა "გაწელოს"



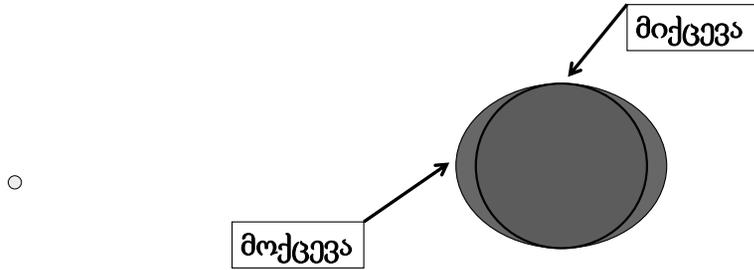
### რთული სხეული სიმბიზის ველში

დედამიწის ბრუნვა ეწინააღმდეგება გლობალურ დეფორმაციას



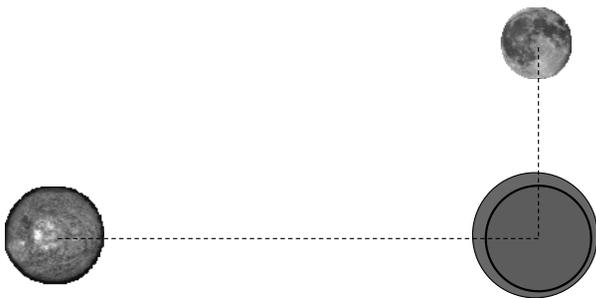
### დედამიწა მზის სიმძიმის ველში

დედამიწის ზედაპირზე მყოფი თხევადი გარსი განიცდის მზის მიმართულებით გაწეულას: მიმოქცევის ძალები



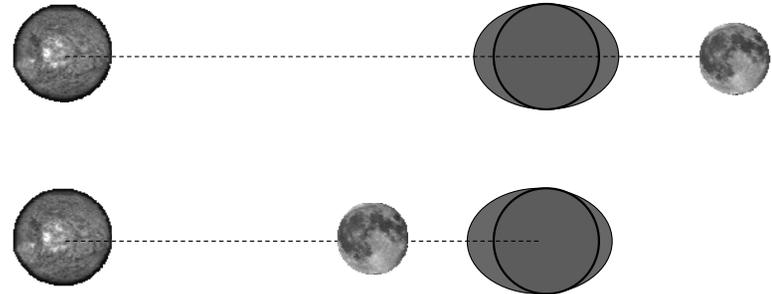
### მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

მზის და მთვარის ზემოქმედება ერთმანეთის მიმართ პერპენდიკულარული მიმართულებით



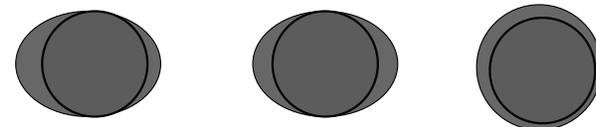
### მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

მზის და მთვარის ჯამური ზემოქმედება დედამიწის ოკეანეებზე



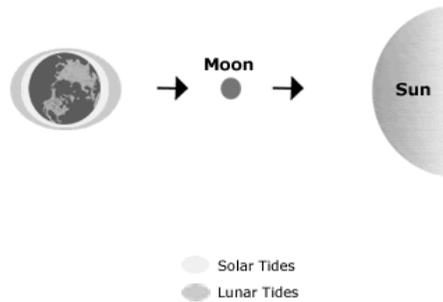
### მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

მზის და მთვარის ზემოქმედება დედამიწაზე:  
 სხვადასხვა სიმაღლის მიქცევა და მოქცევა  
 ოკეანეებში სხვადასხვა სეზონებზე  
 მთვარის ბრუნვა: ~30 დღე  
 მზის ირგვლივ ბრუნვა: ~1 წელი



## მიმოქცევის ძალები

### Spring Tides



[www.tevza.org/home/course/phys2013](http://www.tevza.org/home/course/phys2013)

## მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა  
თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

მოძრაობა ორბიტაზე  
პირველი კოსმოსური სიჩქარე  
მეორე კოსმოსური სიჩქარე

წონა და უწონობა  
წონასწორობა მიზიდულობის ველში

მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე