



ფიზიკის შესავალი

ლექცია 8

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები

- ძლიერი ურთიერთქმედება
(ატომის ბირთვების შემკავებელი 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: ხახუნი, 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

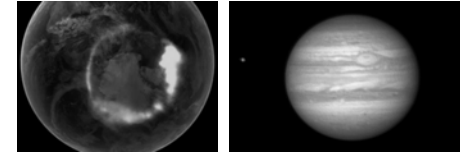
სამყაროში სხეულები იზიდავენ ერთმანეთს ძალით
 რომელიც პროპორციულია სხეულების მასების
 ნამრავლის და უკუპროპორციულია მათ შორის
 მანძილის კვადრატის

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

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

გრავიტაცია სამყაროში

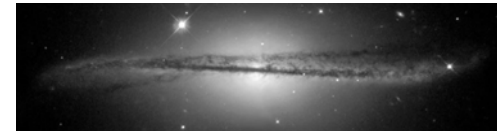
პლანეტების
 ატმოსფეროები



პლანეტების
 მიზიდვა
 მზისაკენ



ვარსკვლავების
 გროვები



გრავიტაციული მუდმივა

G - უნივერსალური მუდმივა

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

სიდიდე: $6.6742 \cdot 10^{-11}$

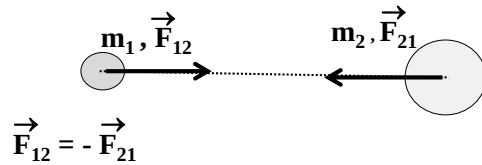
განზომილება: $\text{ნ მ}^2/\text{კგ}^2$

ნიუტონი = კგ მ/წმ²

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

მიზიდულობის ძალა

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



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

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:

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

$M_{\text{დ}}$ - დედამიწის მასა

$R_{\text{დ}}$ - 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

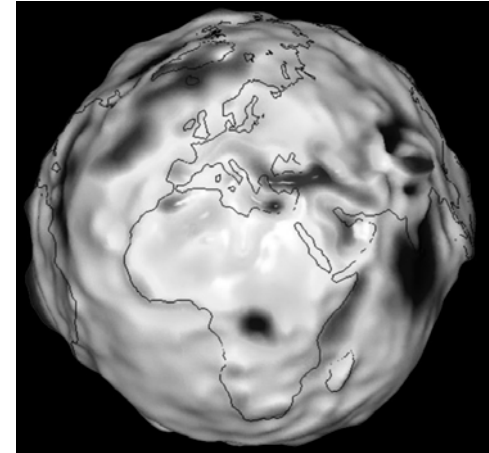
$$U = - G m_1 m_2 / r$$

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

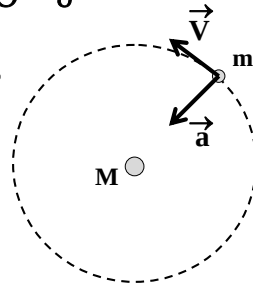
$$U \sim (-1/r)$$

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: $a = V^2 / r$

მოდრაობა ორბიტაზე

მოდრაობის კანონი:

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

ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე:

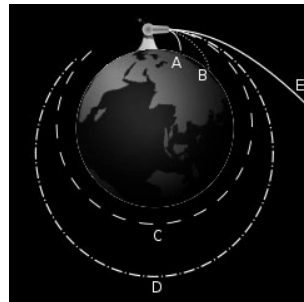
$$V^2 = G M / r$$

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

პირველი კოსმოსური სიჩქარე

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?



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

ენერგიის შენახვის კანონი:

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

კინეტიკური ენერგია: $E_k = m V^2 / 2 > 0$

პოტენციური ენერგია: $U = - G m M_{\oplus} / r_{\oplus} < 0$

სისტემის სრული ენერგია 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 შემდგომ ფრენა უსასრულობისკენ?

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

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

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

წონა

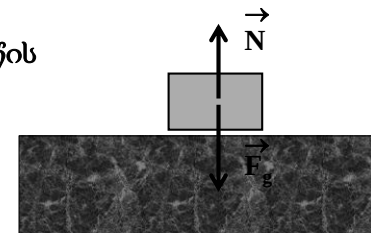
სხეულის წონა ეწოდება ძალას, რომლითაც იგი მოქმედებს საყრდენზე ან საკიდარზე

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)

$$g_0 = G M_0 / R_0^2$$

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მთვარეზე

$$g_0 = 0.166 g_{\text{დ}} \quad (16.6\%)$$

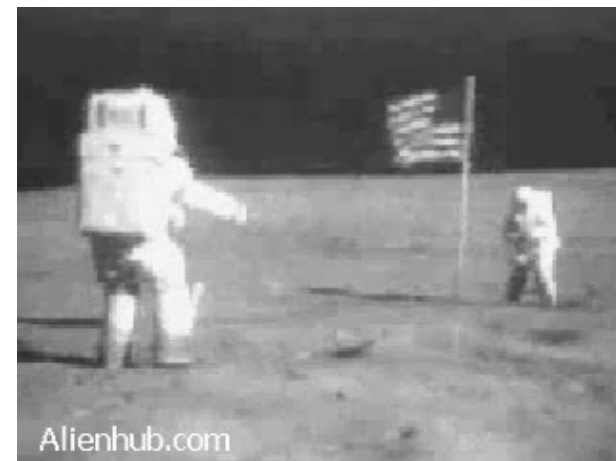
წონის შემცირება

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

გრავიტაციის მიზიდულობის ძალის შესუსტება:

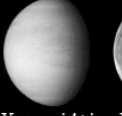
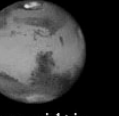
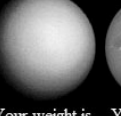
- 1.) ობიექტამდე მანძილის გაზრდა
(ატმოსფეროს მაღალ ფენებში)
- 2.) ობიექტის მასის შემცირება
(სხვა ციური სხეულები)

ადამიანის წონა მთვარის ზედაპირზე



ადამიანის წონა მზის სისტემის პლანეტებზე

100 კგ
ადამიანის
წონა
სხვადასხვა
პლანეტის
ზედაპირზე

MERCURY	VENUS	THE MOON	MARS
			
Your weight is 37.8	Your weight is 90.7	Your weight is 16.6	Your weight is 37.7
JUPITER	SATURN	URANUS	NEPTUNE
			
Your weight is 236.4	Your weight is 106.4	Your weight is 88.9	Your weight is 112.5

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%

მოდრავი სხეულის წონა

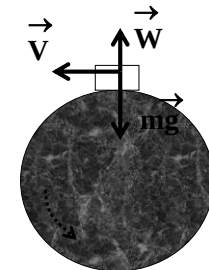
აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა განსხვავდება უძრავი სხეულის წონისაგან.

მაგალითად გავითვალისწინოთ დედამიწის ბრუნვა და გამოვთვალოთ ეკვატორზე მყოფი სხეულის წონა

$$\vec{W} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$W - mg = -ma$$

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



უწონობა

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

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

სხეულის წონა ამ შემთხვევაში: $W = 0$

უწონობის მდგომარეობა

მაგალითად: დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების მოძრაობა

უწონობა ორბიტაზე

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



რომელი მხარეა ზევით, და რომელი ქვევით?

უწონობა თავისუფალი ვარდნისას

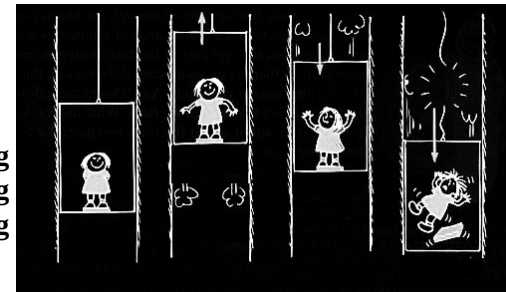


წონის ცვლილება მოძრაობაში

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:



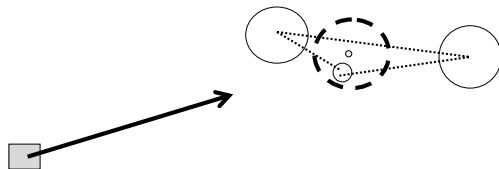
რთული სისტემის მიზიდულობა

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

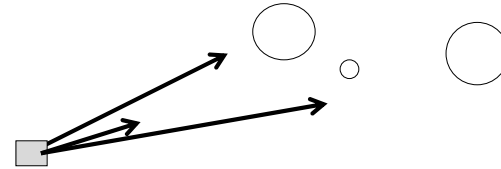


$$F = F_m = G m M / r^2$$

F_m - მასათა ცენტრში მყოფი წარმოსახვითი სხეულის მიზიდულობის ძალა

r - მანძილი სხეულიდან სისტემის მასათა ცენტრამდე

რთული სისტემის მიზიდულობა



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

ჯამური ძალა ტოლია თითოეული სხეულის მიზიდულობის ძალების ჯამს

ორი სხეულის მოძრაობა

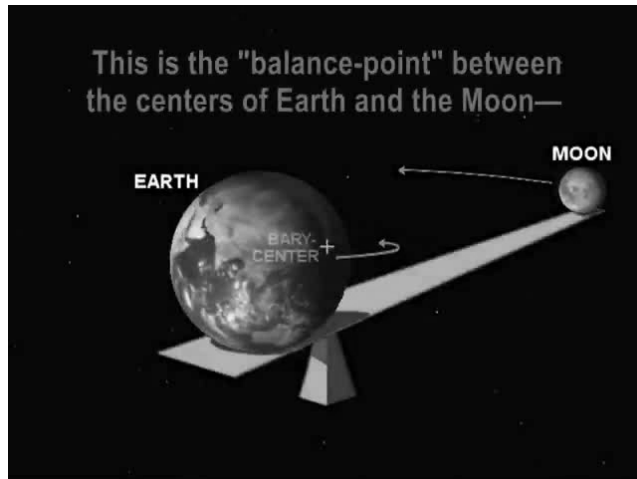
ორი ციური სხეულის მოძრაობა ერთმანეთის მიზიდულობის ველში.

არანულოვანი საწყისი სიჩქარე შემადგენელი ღერძის მართობული მიმართულებით (წინააღმდეგ შემთხვევაში ერთმანეთს დაეცემიან)

მასათა ცენტრის სისტემა

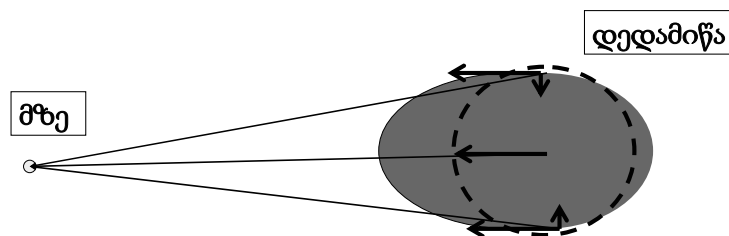


მთვარე-დედამიწის სიმძიმის ცენტრი



რთული სხეული სიმძიმის ველში

მზის გრავიტაციული მიზიდულობა ცდილობს პლანეტა “გაწელოს”

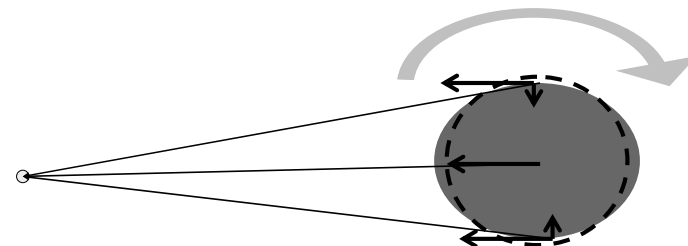


მზის სისტემის სიმძიმის ცენტრი



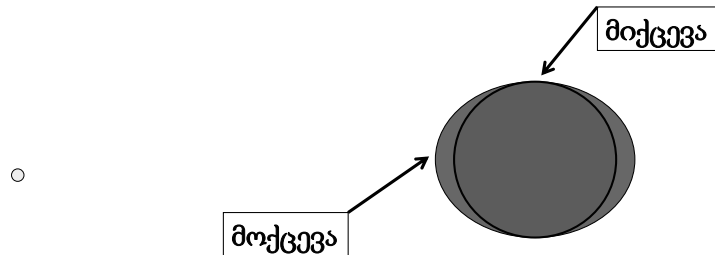
რთული სხეული სიმძიმის ველში

დედამიწის ბრუნვა ეწინააღმდეგება გლობალურ დეფორმაციას



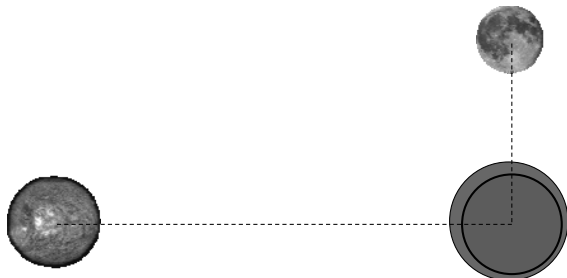
დედამიწა მზის სიმბიომის ველში

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



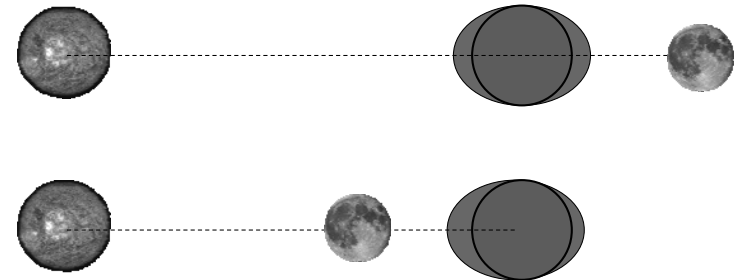
მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

მზის და მთვარის ზემოქმედება ერთმანეთის მიმართ პერპენდიკულარული მიმართულებით



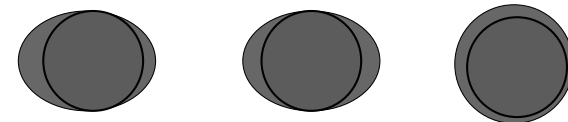
მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

მზის და მთვარის ჯამური ზემოქმედება დედამიწის ოკეანეებზე



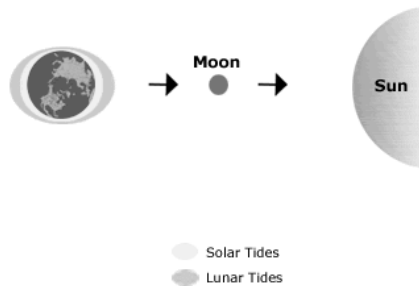
მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

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/phys2014

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა
თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

მოდრაობა ორბიტაზე
პირველი კოსმოსური სიჩქარე
მეორე კოსმოსური სიჩქარე

წონა და უწონობა
წონასწორობა მიზიდულობის ველში

მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე