



ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 8

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი
მოძრაობა გრავიტაციულ ველში

1

წინა ლექციაში

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

კონსერვატიული და არა-კონსერვატიული ძალები

2

ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები

- ძლიერი ურთიერთქმედება

(ატომის ბირთვების შემაკავებელი ძალა)

- სუსტი ურთიერთქმედება

(განზიდვა, ბირთვის რადიოაქტიული დაშლა)

- ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება

(ელექტროენერგია, რადიო, ტელევიზია, სინათლე)

- გრავიტაციული ურთიერთქმედება

(მიზიდულობა, პლანეტების მოძრაობა)

3

გრავიტაცია

გრავიტაციული ურთიერთქმედება გამოიხატება
სხეულებს შორის **მიზიდულობის** ძალის
არსებობაში.

გრავიტაციული ურთიერთქმედების კანონს
ემორჩილებიან ციური სხეულები (პლანეტები,
ვარსკვლავები, გალაქტიკები ...)

გრავიტაციული ურთიერთქმედება არის **შორსქმედი**
- არ არის საჭირო სხეულებს შორის კონტაქტი.

ახლოქმედი ძალები: ხახუნი, რეაქცია, ...

4

გრავიტაცია

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

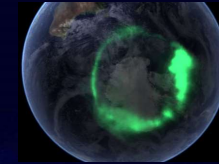
ნიუტონის
მსოფლიო
მიზიდულობის
კანონი



5

გრავიტაცია სამყაროში

პლანეტების
ატმოსფეროები



პლანეტების
მიზიდვა
მზისაკენ



ვარსკვლავების
გროვები



6

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

7

გრავიტაციული მუდმივა

G - უნივერსალური მუდმივა

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

სიდიდე: $6.6742 \cdot 10^{-11}$

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

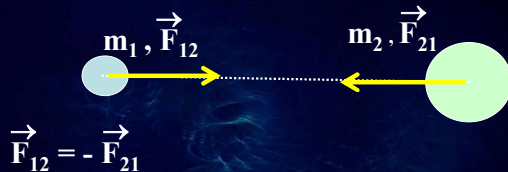
ნიუტონი = კგ მ/წმ^2

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

8

მიზიდულობის ძალა

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



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

$$|F_{12}| = |F_{21}| = G m_1 m_2 / r^2$$

9

სუპერპოზიციის პრინციპი

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა იჯამება

M მასის სხეულზე მოქმედი ძალა:

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

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

10

ექვივალენტობის პრინციპი

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

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

სხეულის ინერციული და გრავიტაციული მასები ტოლია (ექვივალენტურია)

$$m = m_I = m_G$$

11

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

12

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება:

$$g_d = G M_d / R_d^2$$

დედამიწის მასა: $5.98 \cdot 10^{24}$ კგ

დედამიწის რადიუსი: 6380 კმ = $6.38 \cdot 10^6$ მ

$$g_d = 9.80 \text{ მ/წმ}^2$$

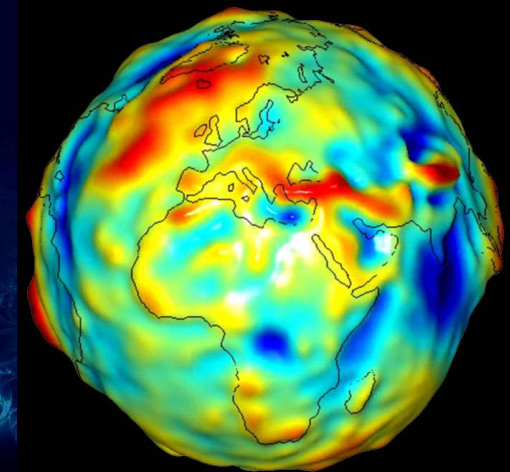
დედამიწის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალით გამოწვეული აჩქარება (თავისუფალი ვარდნა)

13

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

გ დედამიწის
ზედაპირზე
სხვადასხვა
წერტილში:

გრავიტაციული
ანომალიების
კვლევა



14

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

$$U = - F r$$

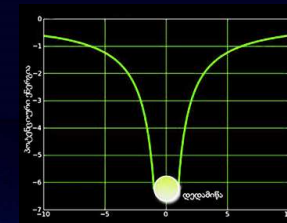
უარყოფითი ნიშანი გამოწვეულია ურთიერთქმედების მიზიდვის ხასიათით

15

უარყოფითი პოტენციური ენერგია

$$U \sim -1/r$$

სხეულებს შორის მანძილის შემცირებისას გრავიტაციული პოტენციური ენერგია მცირდება



იზრდება პოტენციური ენერგიის მოდული $|U|$

მაქსიმუმში: $r \rightarrow 0$, $U \rightarrow \infty$???

პოტენციური ენერგია სინგულარულია

მიზეზი: სხეულების ზომები სასრულია: $r \neq 0$

16

მოძრაობა ორბიტაზე

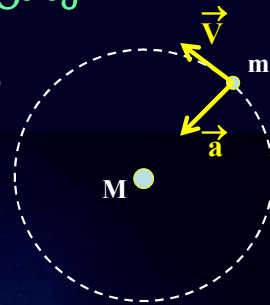
m მასის თანამგზავრის წრიული ბრუნვა M მასის ცენტრალური ობიექტის ირგვლივ:

მიზიდულობა: $F = G m M / r^2$

ნიუტონის მეორე კანონი: $F = m a$

აჩქარება წრიული მოძრაობისას:

$$a = V^2 / r$$



17

მოძრაობა ორბიტაზე

მოძრაობის კანონი:

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

ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე:

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

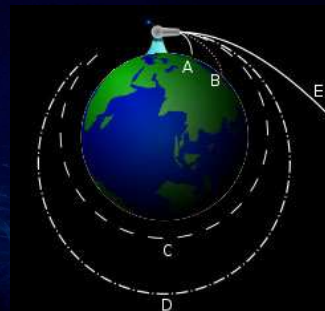
სხეულის ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მის მასაზე, არამედ ცენტრალურ მიმზიდველ მასაზე და ორბიტის რადიუსზე

18

პირველი კოსმოსური სიჩქარე

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

რა სიჩქარით უნდა გავსროლოთ სხეული რომ ის აღარ დაეცეს დედამიწას?



19

პირველი კოსმოსური სიჩქარე

სხეულის გასროლის სიჩქარე უდრის დედამიწის ცენტრიდან იგივე დაშორების ორბიტაზე მოძრაობის სიჩქარეს

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

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

სხეულის დედამიწის ორბიტაზე გასვლის მინიმალური სიჩქარე

20

მეორე კოსმოსური სიჩქარე

ენერგიის შენახვის კანონი:

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

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

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

სისტემის სრული ენერგია შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი:

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

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

21

მეორე კოსმოსური სიჩქარე

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

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

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

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

22

მეორე კოსმოსური სიჩქარე

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

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

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

კიდევ უფრო მაღალი სიჩქარეა საჭირო მზის სისტემიდან გასასვლელად

23

წონა

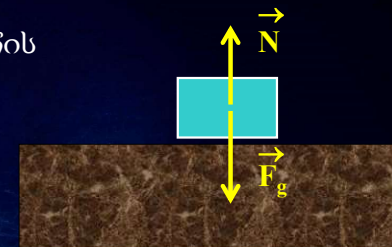
სხეულის წონა ეწოდება ძალას, რომლითაც იგი მოქმედებს საყრდენზე ან საკიდარზე

უძრავი სხეული დედამიწის ზედაპირზე:

$$N + F_g = 0$$

$$F_g = -m g$$

წონა: $W = m g$



24

წონა თვითმფრინავში

თანაბარი ფრენა

10 კმ სიმაღლეზე



გრავიტაციული მიზიდულობა:

$$F = mg_1$$

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

$$g_1 = 0.997 \text{ g}$$

$$W = 0.997 W_0$$

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

25

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 სხეულების მიზიდულობა)

26

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)

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

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მთვარეზე

$$g_{\oplus} = 0.166 \text{ g}_{\oplus} \quad (16.6\%)$$

27

ადამიანის წონა მთვარის ზედაპირზე

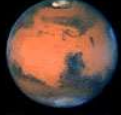


Alienhub.com

28

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

29

მოდრავი სხეულის წონა

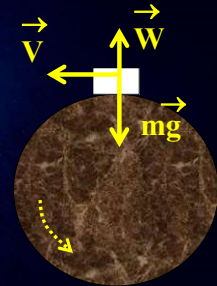
აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა განსხვავდება უძრავი სხეულის წონისაგან.

მაგალითად: გავითვალისწინოთ დედამიწის ბრუნვა და გამოვთვალოთ ეკვატორზე მყოფი სხეულის წონა

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

$$W - mg = -ma$$

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



30

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%**

31

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

32

უწონობა ორბიტაზე

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



რომელი მხარეა ზევით, და რომელი ქვევით?

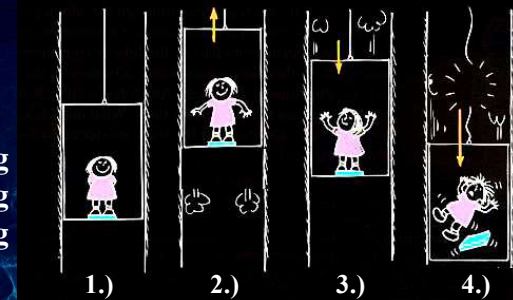
33

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) $a = g$, $W = 0$



34

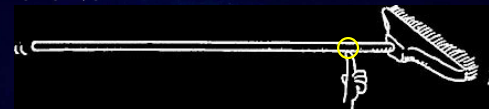
უწონობა თავისუფალი ვარდნისას



35

წონასწორობა სიმძიმის ველში

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



წონასწორობა სიმძიმის ველში:



36

რთული სისტემის მიზიდულობა

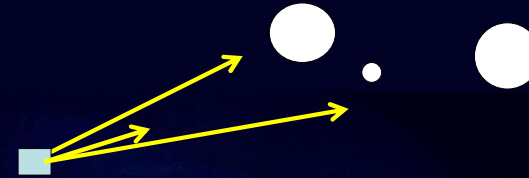
რა ძალით მიიზიდება რამდენიმე სხეულისაგან შედგენილი ჩვენგან დაშორებული სისტემა?

1.) დავითვალოთ 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;

37

რთული სისტემის მიზიდულობა

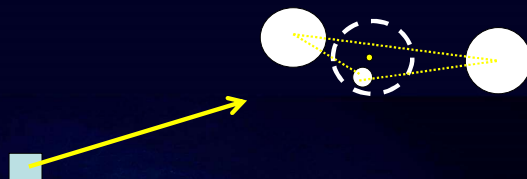


$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

ჯამური ძალა ტოლია თითოეული სხეულის მიზიდულობის ძალების ჯამს

38

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

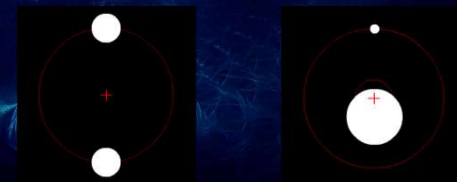
39

ორი სხეულის მოძრაობა

ორი ციური სხეულის მოძრაობა ერთმანეთის მიზიდულობის ველში.

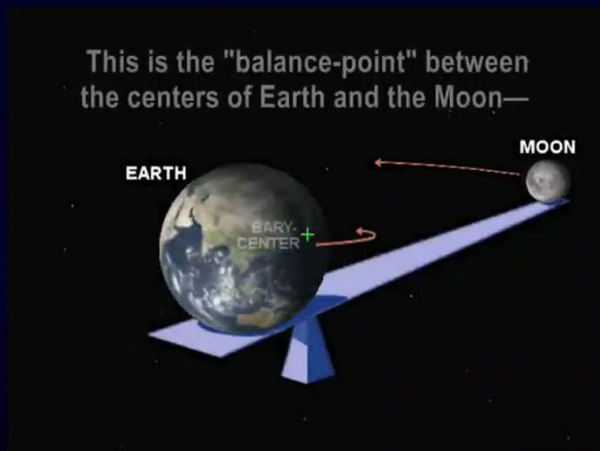
არანულოვანი საწყისი სიჩქარე შემაერთებელი ღერძის მართობული მიმართულებით (წინააღმდეგ შემთხვევაში ერთმანეთს დაეცემიან)

მასათა ცენტრის სისტემა



40

მთვარე-დედამიწის სიმძიმის ცენტრი



41

მზის სისტემის სიმძიმის ცენტრი

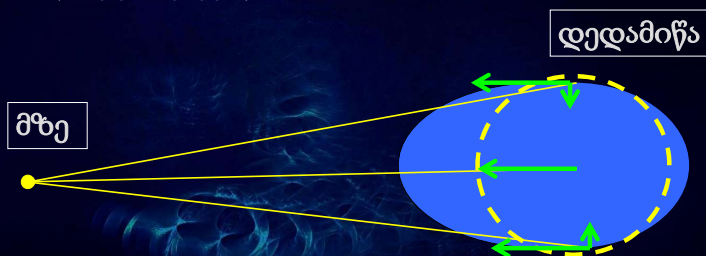


42

რთული სხეული სიმძიმის ველში

მყარი ბირთვი და თხევადი გარსი:

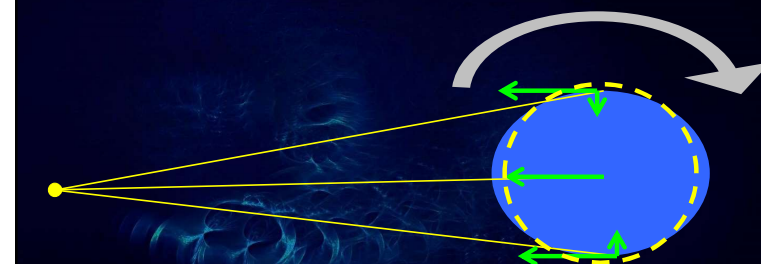
მზის გრავიტაციული მიზიდულობა ცდილობს პლანეტა “გაწელოს”



43

რთული სხეული სიმძიმის ველში

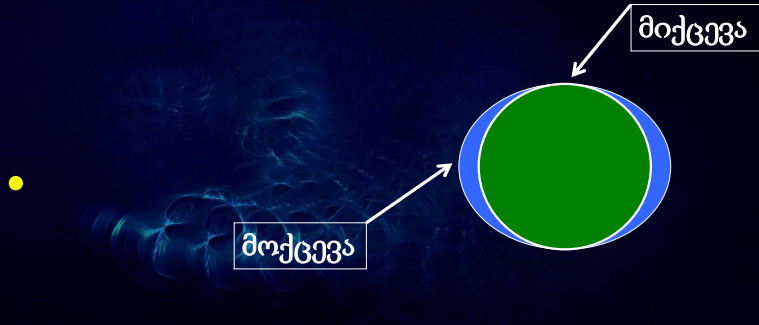
დედამიწის ბრუნვა ეწინააღმდეგება გლობალურ დეფორმაციას



44

დედამიწა მზის სიმძიმის ველში

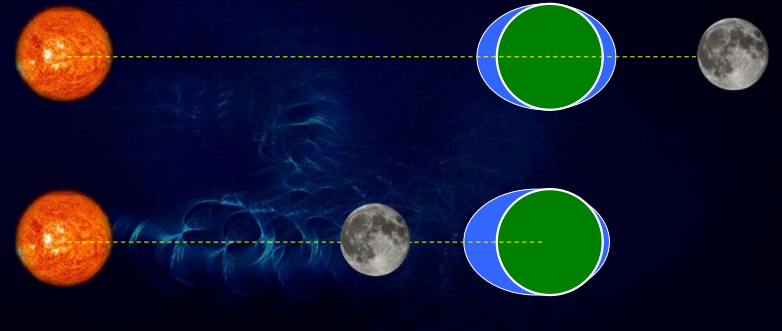
დედამიწის ზედაპირზე მყოფი თხევადი გარსი
განიცდის მზის მიმართულებით გაწელებას:
მიმოქცევის ძალები



45

მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

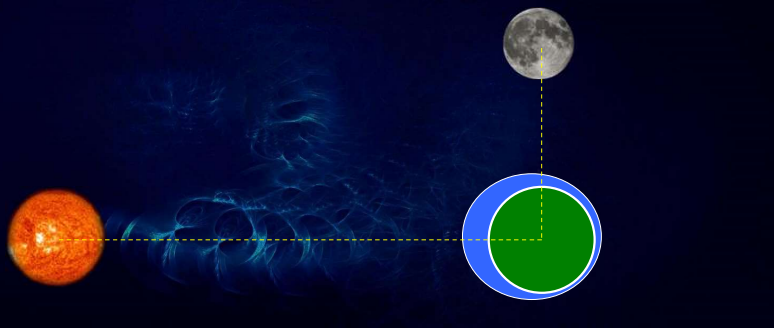
მზის და მთვარის ჯამური ზემოქმედება დედამიწის
ოკეანეებზე



46

მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

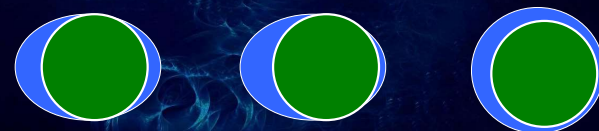
მზის და მთვარის ზემოქმედება ერთმანეთის მიმართ
პერპენდიკულარული მიმართულებით



47

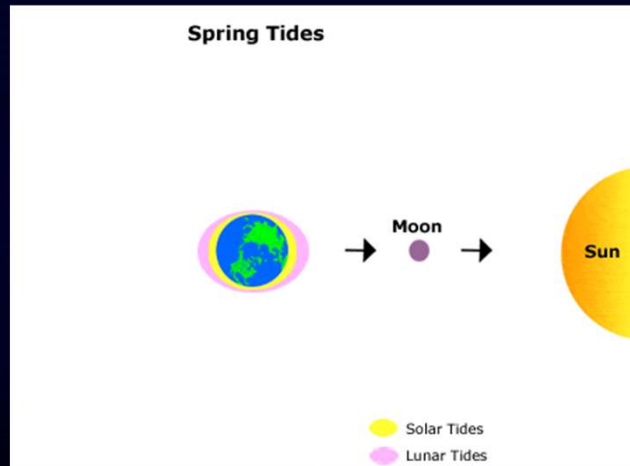
მიმოქცევის ძალები დედამიწაზე

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



48

მიმოქცევის ძალები



49

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

50

www.tevza.org/home/course/phys2025

51