



*ივანე ჯავახიშვილის ხელმოწერის
სამართლის ხელშეწყობის
აქტივებისთვის*

ფიზიკის შესავალი

ლექცია 8

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

წინა ლექციაში

მუშაობა და კინეტიკური ენერგია

სიმძლავრე და ენერგია

პოტენციური ენერგია

ენერგიის შენახვის კანონი

ფუნდამენტური ურთიერთქმედები

ძლიერი ურთიერთქმედება

(ატომის ბირთვების შემაკავებელი ძალა)

სუსტი ურთიერთქმედება

(რადიაქტიული დაშლის გამომწვევი)

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება

(ელექტროენერგია, რადიო, ტელევიზია)

გრავიტაციული ურთიერთქმედება

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 უშუალო 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 ყოველი ორი სხეული იზიდავს ერთმანეთს ძალით რომელიც პროპორციულია სხეულების მასების ნამრავლის და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის

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

G - გრავიტაციული მუდმივა

m_1 - პირველი სხეულის მასა

m_2 - მეორე სხეულის მასა

r - სხეულებს შორის მანძილი

გრავიტაციული კონსტანტა

G - უნივერსალური მუდმივია

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

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



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

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

სუპერპოზიციის პრინციპი

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა იჯამება

M მასის სხეულზე მოქმედი ძალა:

m₁ მასასთან ურთიერთქმედების ძალა:

\vec{F}_1

m₂ მასასთან ურთიერთქმედების ძალა:

\vec{F}_2

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

ექვივალენტობის პრინციპი

ნიუტონის მეორე კანონი:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \mathbf{a}$$

m - ინერციული მასა

მიზიდულობის კანონი:

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} \mathbf{m} \mathbf{M} / r^2$$

m - გრავიტაციული მასა

სხეულის ინერციული და გრავიტაციული მასები
ტოლია (ექვივალენტურია)

დედამიწის მიზიდულობის ძალა

m მასის სხეულზე მოქმედი ძალა დედამიწის ზედაპირზე:

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

$M_{\text{ღ}}$ - დედამიწის მასა

$R_{\text{ღ}}$ - დედამიწის რადიუსი

$$F = m g$$

g - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება:

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

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

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

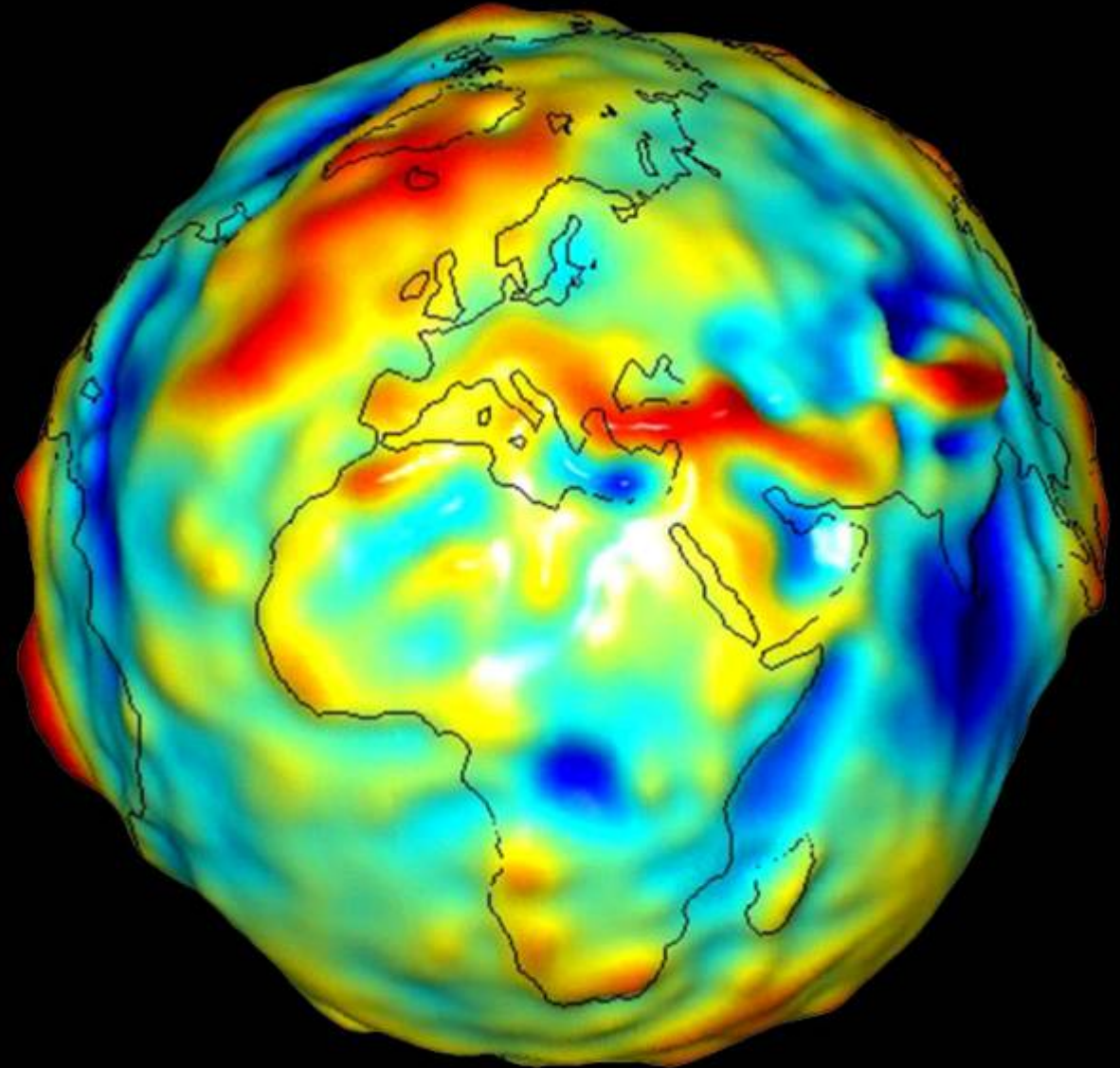
$$g_{\text{ღ}} = 9.80 \text{ მ/წმ}^2$$

დედამიწის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალით გამოწვეული აჩქარება (თავისუფალი ვარდნა)

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

გ დედამიწის
ზედაპირზე
სხვადასხვა
წერტილში:

გრავიტაციული
ანომალიების
კვლევა



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

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: $r \neq 0$

მოძრაობა ორბიტაზე

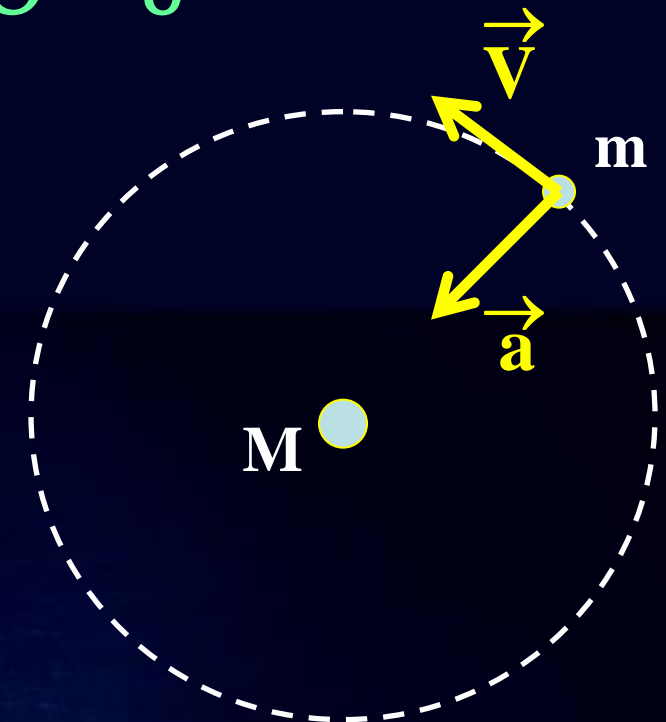
m მასის თანამგზავრის წრიული ბრუნვა M მასის ცენტრალური ობიექტის ირგვლივ:

მიზიდულობა: $\mathbf{F} = \mathbf{G} mM / r^2$

ნიუტონის მეორე კანონი: $\mathbf{F} = \mathbf{m} \mathbf{a}$

აჩქარება წრიული მოძრაობისას:

$$\mathbf{a} = \mathbf{V}^2 / r$$



მოძრაობა ორბიტაზე

მოძრაობის კანონი:

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

ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე:

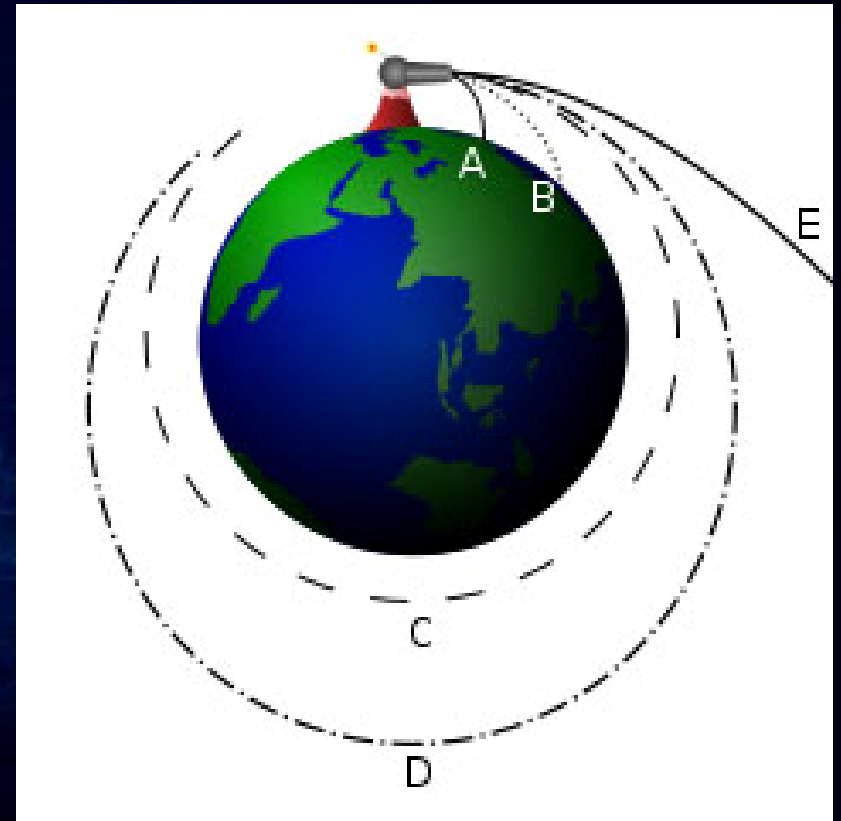
$$V^2 = G M / r$$

სხეულის ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მის მასაზე, არამედ ცენტრალური 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

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

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

სხეულის დედამიწის ორბიტაზე გასვლის მინიმალური სიჩქარე

მეორე კოსმოსური სიჩქარე

ენერჯიის შენახვის კანონი:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_k + U = \mathbf{constant}$$

კინეტიკური ენერჯია: $\mathbf{E}_k = m V^2 / 2 > 0$

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

სისტემის სრული ენერჯია შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი:

$$\mathbf{E} > 0 : \quad |\mathbf{E}_k| > |U|$$

$$\mathbf{E} < 0 : \quad |\mathbf{E}_k| < |U|$$

მეორე კოსმოსური სიჩქარე

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

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

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

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

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

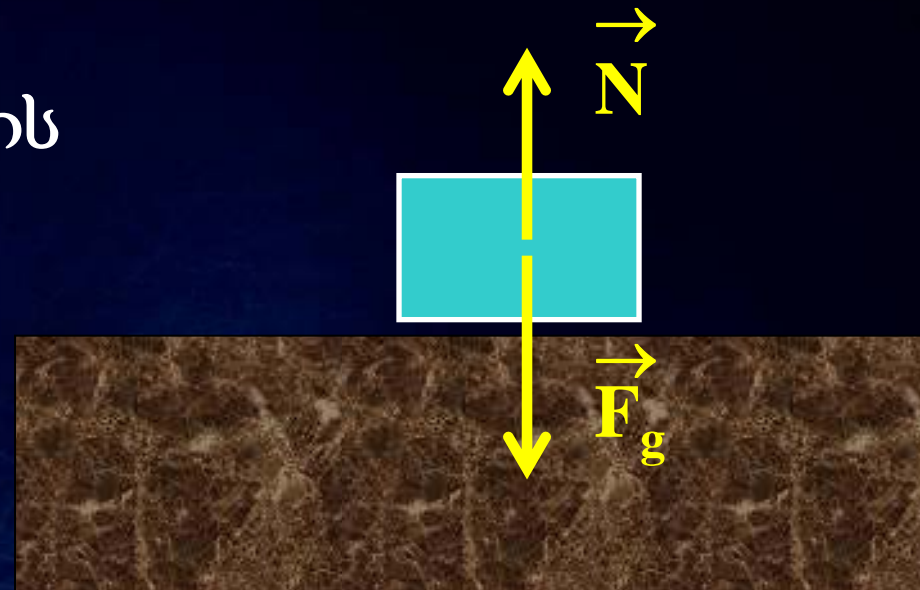
წონა

სხეულის წონა ეწოდება ძალას, რომლითაც იგი მოქმედებს საყრდენზე ან საკიდარზე

უძრავი სხეული დედამიწის ზედაპირზე:

$$\mathbf{N} + \mathbf{F}_g = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{F}_g = -m \mathbf{g}$$



წონა:

$$W = m g$$

წონა თვითმფრინავში

თანაბარი ფრენა
10 კმ სიმაღლეზე



გრავიტაციული მიზიდულობა:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{g}_1$$

$$\mathbf{g}_1 = G M / (R + r)^2$$

$$\mathbf{g}_1 = 0.997 \mathbf{g}$$

$$\mathbf{W} = 0.997 \mathbf{W}_0$$

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

წონის შემცირება

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

გრავიტაციის მიზიდულობის ძალის შესუსტება:

1.) მანძილის გაზრდა

(ატმოსფეროს მაღალ ფენებში)

2.) მიმზიდველი ობიექტის მასის შემცირება

(სხვა ციური სხეულები)

ადამინის 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

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

ადამიანის წონა მთვარის ზედაპირზე



ადამიანის წონა მზის სისტემის პლანეტებზე

100 კგ
ადამიანის
წონა
სხვადასხვა
პლანეტის
ზედაპირზე

MERCURY



Your weight is

37.8

VENUS



Your weight is

90.7

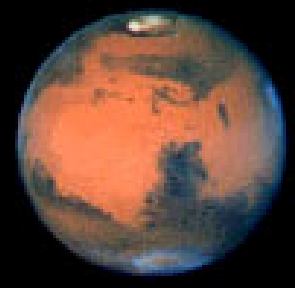
THE MOON



Your weight is

16.6

MARS



Your weight is

37.7

JUPITER



Your weight is

236.4

SATURN



Your weight is

106.4

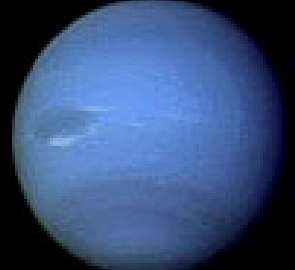
URANUS



Your weight is

88.9

NEPTUNE



Your weight is

112.5

მოდრავი სხეულის წონა

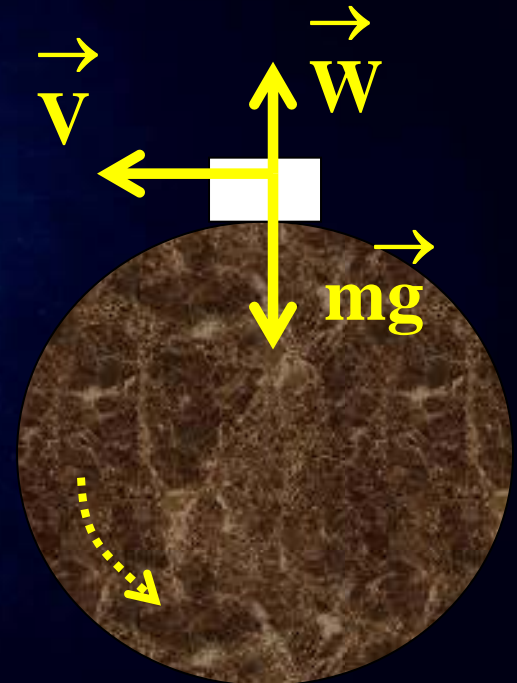
აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა განსხვავდება უძრავი სხეულის წონისაგან.

მაგალითად გავითვალისწინოთ დედამიწის ბრუნვა და გამოვთვალოთ ეკვატორზე მყოფი სხეულის წონა

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

$$W - mg = -ma$$

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



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 $\sim 0.4\%$

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 – უწონოა.



რომელი მხარეა ზევით, და რომელი ქვევით?

წონის ცვლილება მოძრაობაში

ლიფტის წრფივი ვერტიკალური მოძრაობა a აჩქარებით

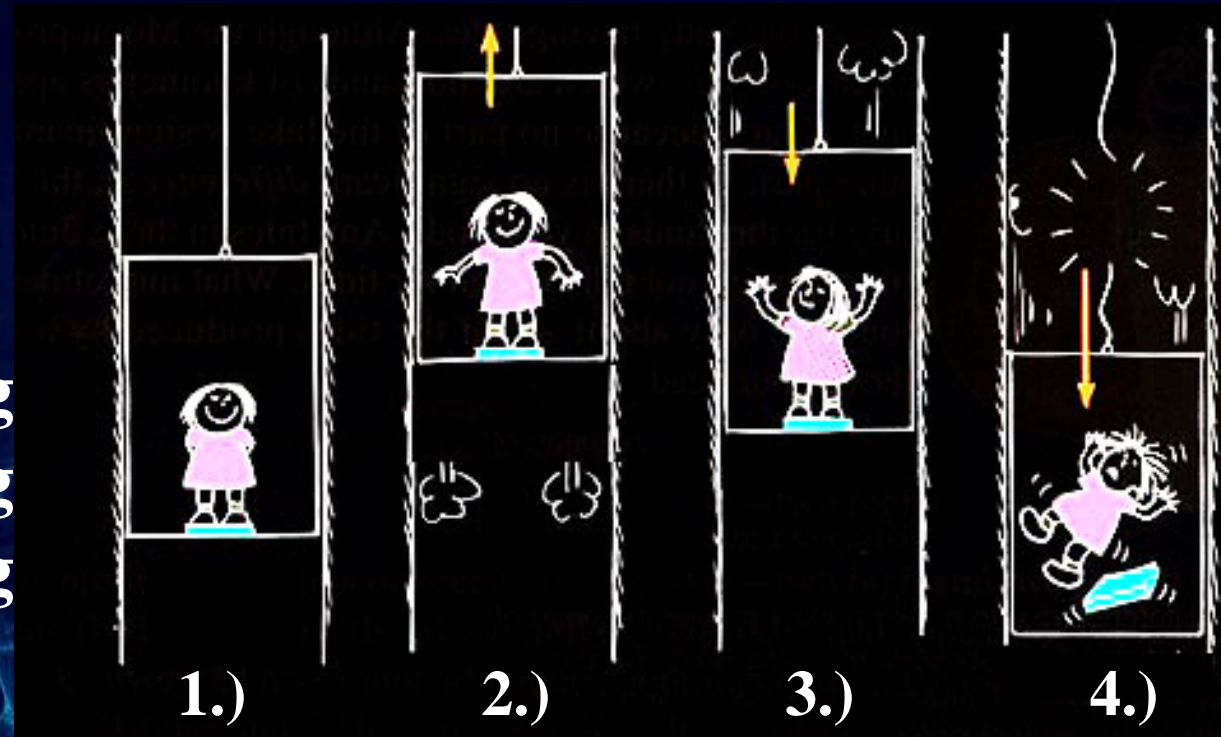
$$W = m (g - a)$$

1.) $a = 0$, $W = mg$

2.) $a < 0$, $W > mg$

3.) $a > 0$, $W < mg$

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

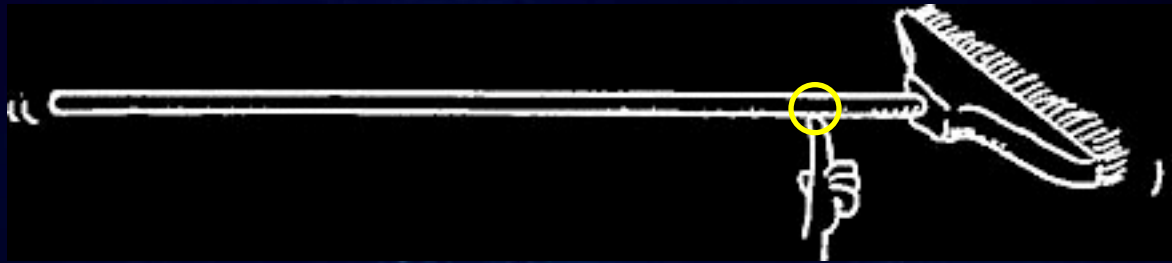


უწონობა თავისუფალი ვარდნისას



წონასწორობა სიმძიმის ველში

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



წონასწორობა სიმძიმის ველში:



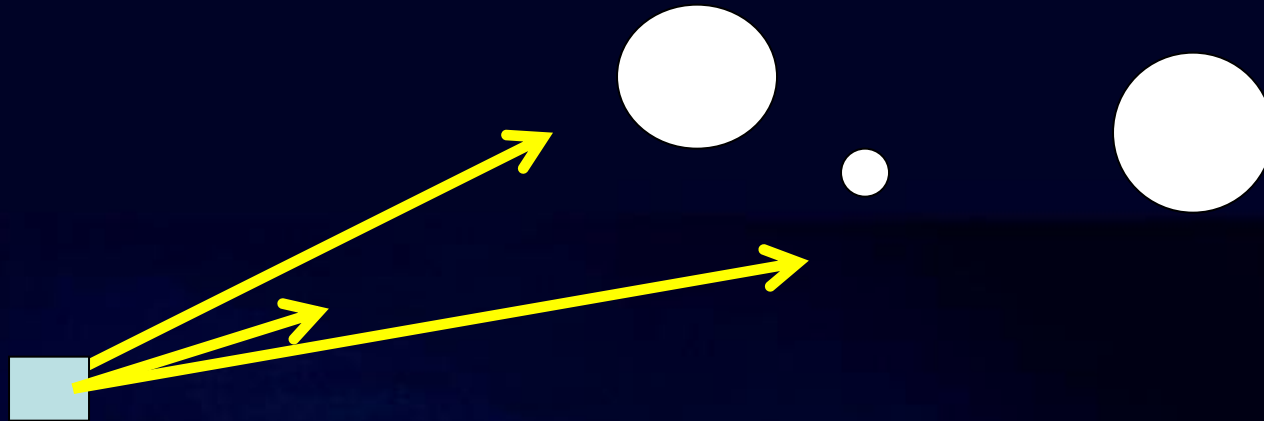
რთული სისტემის მიზიდულობა

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

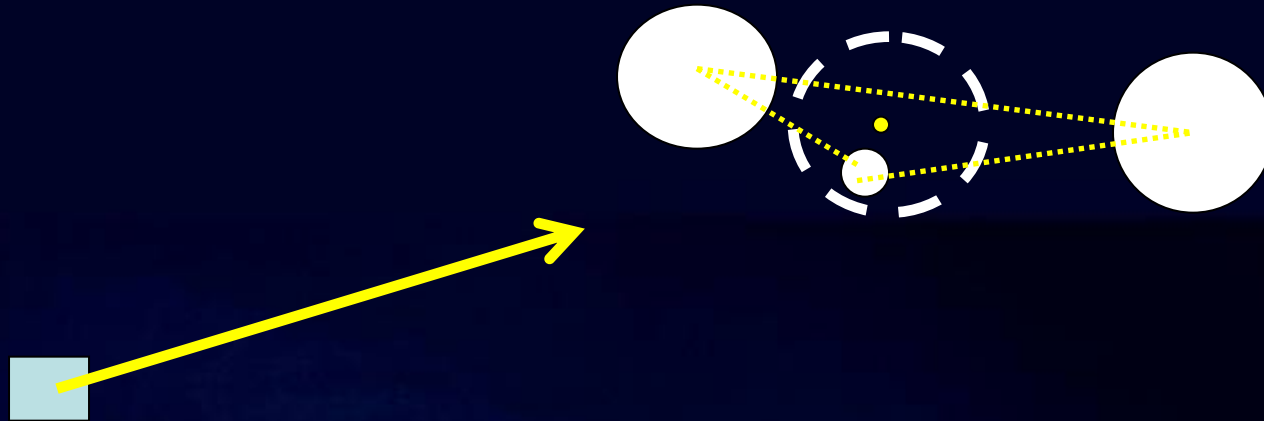
რთული სისტემის მიზიდულობა



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

ჯამური ძალა ტოლია თითოეული სხეულის მიზიდულობის ძალების ჯამს

რთული სისტემის მიზიდულობა



$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_m = \mathbf{G} m M / r^2$$

\mathbf{F}_m - მასათა ცენტრში მყოფი წარმოსახვითი სხეულის მიზიდულობის ძალა

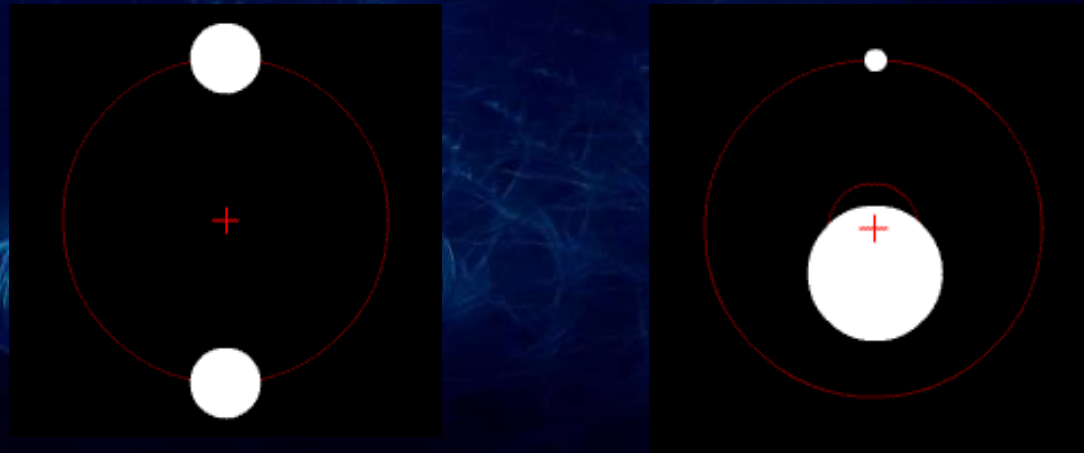
\mathbf{r} - მანძილი სხეულიდან სისტემის მასათა ცენტრამდე

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 სიმძიმის ცენტრი

This is the "balance-point" between the centers of Earth and the Moon—



მზის სისტემის სიმბიმის ცენტრი

Solar System Barycenter / SSB

Distance: 0.19538 au

Star system barycenter

2008 Sep 28 08:01:03 UTC

2000000x faster



Solar System Barycenter

This is the
"balance-point"
of all matter in our
Solar System, . . .

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა
თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

მოდრაობა ორბიტაზე
პირველი კოსმოსური სიჩქარე
მეორე კოსმოსური სიჩქარე

წონა და უწონობა
წონასწორობა მიზიდულობის ველში

www.tevza.org/home/course/phys2010

