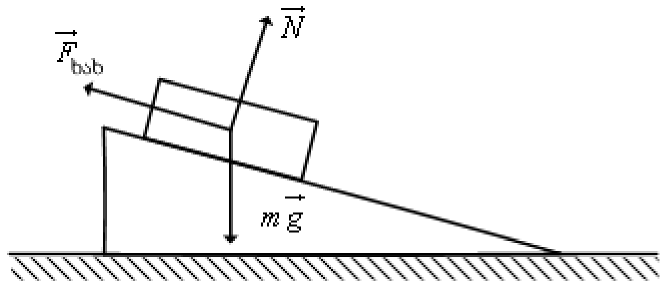
ფიზიკა ამოცანებში – დინამიკა
(გაგრძელება 5)

წინა წერილებში ჩვენ განვიხილეთ კინემატიკის ამოცანები, რომლებშიც არ გვაინტერესებდა მოძრაობის ამა თუ იმ ხასიათის წარმოშობის პირობები და მიზეზები. ეს უკანასკნელი, როგორც მკითხველს მოეხსენება, შეადგენს სწორედ დინამიკის საგანს. დინამიკის ამოცანების ამოხსნისას ჩვენ ვსარგებლობთ ნიუტონის კანონებით. მკითხველს შევახსენებთ, რომ სხეულის აჩქარება გამოწვეულია ამ სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედით და იგი მიმართულია სწორედ ამ ტოლქმედის გასწვრივ. გარდა ამისა ორი სხეული ერთმანეთზე მოქმედებს სიდიდით ერთმანეთის ტოლი და მიმართულებით ურთიერთსაპირისპირო ძალებით. ეს კანონები მათემატიკურად გამოისახება ვექტორული ტოლობებით.

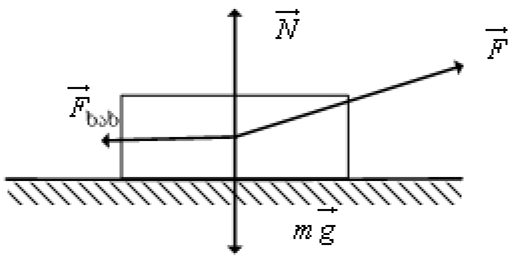
ყოველი ამოცანის ამოხსნა დინამიკაში პირველ რიგში მოითხოვს იმის დადგენას, თუ განსახილველი სხეული რომელ სხეულებთან იმყოფება ურთიერთქმედებაში. აქედან გამომდინარე უნდა დავადგინოთ ბუნებაში არსებული ძალებიდან რომელი მოქმედებს სხეულზე და რა ხასიათის მოძრაობას ასრულებს ეს სხეული. მექანიკაში ჩვენ ვიცით შემდეგი ძალები: მსოფლიო მიზიდულობის ძალა (რომლის გამოვლენაა სიმძიმის ძალა), ხახუნის (უძრაობის, სრიალის, გორვის) ძალა, ჰაერის/სითხის წინააღმდეგობის ძალა, დრეკადობის ძალა. აქვე შევნიშნავთ, რომ დამკვიდრებული ტერმინი ცენტრისკენული ძალა ბუნებაში არ არსებობს. არსებობს ცენტრისკენული აჩქარება, რომელიც გამოწვეულია ზემოთ ჩამოვლილი რომელიმე ძალით ან მათი ტოლქმედით. ამდენად ცენტრისკენული ძალის როლს შეიძლება თამაშობდეს რომელიმე ამ ძალთაგანი.

ამოცანების ამოხსნის წინ მნიშვნელოვანია აგრეთვე დავადგინოთ შასაძლებელია თუ არა განსახილველ სხეულს მიუყენოთ მატერიალური წერტილის მიახლოება. ამ მიახლოების გამოყენება შეიძლება ორი დაშვებით: ა) სხეულის ზომები გაცილებით ნაკლებია იმ მანძილებთან შედარებით, რომლებზეც ამ სხეულის მოძრაობას განვიხილავთ ან/და მასთან ურთიერთქმედი სხეული ზომებზე. ბ) სხეული ასრულებს მხოლოდ გადატანით მოძრაობას, რომლის დროსაც მისი ყოველი წერტილი ერთნაირად მოძრაობს. ეს უკანასკნელი პირობა კი ირღვევა, თუ სხეულს შეუძლია ბრუნვა მასზე გამავალი რომელიმე ღერძის გარშემო. წინამდებარე წერილში ჩვენ მოვიყვანთ დინამიკის კანონების გამოყენების მაგალითებს უმარტივესი შემთხვევაა ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა. როგორც კი სხეულს გასროლისას მივანიჭებთ რაღაც ენერგიას, მასზე ამ ენერგიის მიმნიჭებელი ძალის მოქმედება წყდება (რაც ნიშნავს, რომ ძალის დაგროვება შეუძლებელია, ძალა არის იქ სადაც არის სხეულების ურთიერთქმედება) და მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა (თუ ჰაერის წინააღმდეგობას არ მივიღებთ მხედველობაში), რადგან ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს ორი სხეული – დედამიწა და გასროლილი სხეული. დედამიწის მიზიდულობის ძალა არის ის ძალა, რომელიც გვხდება პრაქტიკულად ყველა ამოცანაში და იგი მიმართულია ყოველთვის ვერ–ტიკალურად ქვევით. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოძრავ სხეულზე (ნახ. 1) მოქმედებს სიმძიმის ძალა $m\vec{g}$, რეაქციის ძალა სიბრტყის მხრიდან $\vec{N}$, სრიალის ხახუნის ძალა $\vec{F}$ ხახ. ნახაზზე მითითებულია აგრეთვე სხეულზე მოქმედი $\vec{F}$ ძალა (ვთქვათ სხეულზე გამობმული ბაგირის მხრიდან). დახრილ სიბრტყეზე (იხ. ნახ.2) სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა, სიბრტყის რეაქციის ძალა, უძრაობის/სრიალის ხახუნის ძალა (ამ უკანასკნელის მიმართულება დამოკიდებულია მოძრაობის მიმართულებაზე. ნახაზზე სხეული მოძრაობს სიბრტყის გასწვრივ ქვევით).

როდესაც რამდენიმე სხეული ურთიერთქმედებს ერთმანეთთან, მკაფიოდ უნდა წარმოვიდგინოთ, თუ რომელი სხეულის მოძრაობას განვიხილავთ და ვიპოვოთ ყველა ის სხეული რომელთანაც იგი ურ–თიერთქმედებს. ვთქვათ ორი სხეული ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე გადაბმუ–ლია ბაგირით და მოძრაობს აჩქარებით.

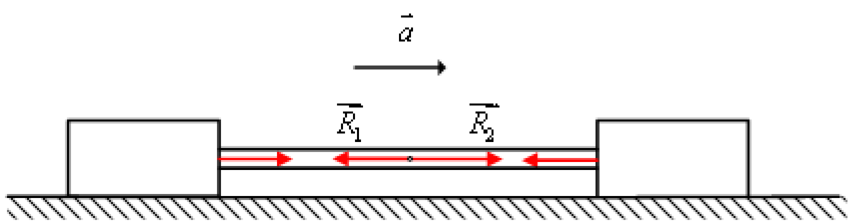


ნახ. 2



ნახ. 1

ასეთ ამოცანებში ბაგირი უმრავლეს შემთხვევაში განიხილება როგორც უმასო სხეული, რის გამოც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ძალები, რომლებითაც ეს ორი სხეული ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს ბაგირის მეშვეობით ერთმანეთის ტოლია და ურთიერთ საპირისპიროდ მიმართული. ახლა დაუშვათ, რომ ბაგირს გააჩნია მასა m და სისტემა მოძრაობს მარჯვნივ $\vec{a}$ აჩქარებით (იხ. ნახ.3, ნახაზზე ჩვენ არ გამოვსახეთ სხვა ძალები გარდა ბაგირის დაჭიმულობის ძალებისა).



ნახ. 3

მაშინ ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად მარცხენა სხეული და ბაგირი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ მოდულით ერთმანეთის ტოლი $\vec{F}\vec{f} + m_2\vec{g} = m_2{}'\vec{a}'R\ R_1$ ძალით. იგივე კანონის თანახმად მარჯვენა სხეული და ბაგირი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ R_2 ძალით. ბაგირისთვის კი სრულდება ნიუტონის მეორე კანონი შემდეგი სახით $R_2 - R_1 = ma$ საიდანაც არ გამომდინარეობს, რომ $R_2 = R_1$. ეს უკანასკნელი ტოლობა სრულდება მაშინ, თუ მივიღებთ, რომ ბაგირი არის უმასო.

ჭოჭონაქზე გადაკიდებული ბაგირის შემთხვევაში პრაქტიკულად ყველა ამოცანაში დაშვებულია, რომ ჭოჭონაქი და მასთან ერთად ბაგირიც არის უმასო. ამ დაშვებას მივყავართ იქამდე, რომ თვით ჭოჭონაქის მოძრაობის განტოლებას უგულებელვყოფთ, ხოლო ჭოჭონაქზე სხვადასხვა მხრიდან მოქმედი ძალები მოდულით ერთმანეთის ტოლია, თუმცა მიმართულებით შეიძლება განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისგან.

დინამიკის ამოცანების ამოხსნისას სიფრთხილეს და ყურადღებას მოითხოვს ხახუნის ძალების გათვალისწინება. როგორც წესი საქმე გვაქვს უძრაობის ან სრიალის ხახუნთან (ნაკლებად გორვის ხახუნთან). უნდა გვახსოვდეს, რომ უძრაობის ხახუნის ძალა დამოკიდებულია სხვა ძალაზე, რომელიც სხეულზე მოქმედებსდა იცვლება მასთან ერთად.

უძრაობის ხახუნის ძალის მხოლოდ მაქსიმალური მნიშვნელობა არის პირდაპირპროპორციული სხეულის საყრდენი სიბრტყის რეაქციის ძალის მოდულის. ამასთან უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი მცირეოდენ აჭარბებს სრიალის ხახუნის კოეფიციენტს. ეს განსხვავება პრაქტიკულად არ განიხილება ამოცანებში. რაც შეეხება სრიალის ხახუნის ძალას, ის პროპორციულია ყოველთვის საყრდენი სიბრტყის რეაქციის ძალის (ან რაც შინაარსით იგივეა, ძალის, რომლითაც სხეული აწვება საყრდენ სიბრტყეს სიბრტყის მართობული მიმართულებით, ეს უკანასკნელი კი მოდულით ტოლია საყრდენის რეაქციის ძალის). აქვე შევნიშნავთ, რომ ხახუნის ძალის გამოვლინებაა აგრეთვე წინააღმდეგობის ძალა ჰაერში ან სითხეში.

ცალკე განხილვას მოითხოვს ძალების გამოყენება სტატიკის ამოცანებში და ამ წერილში ჩვენ მასზე არ შევჩერდებით.

მას შემდეგ, რაც გამოვარკვევთ სხეულზე მოქმედ ყველა ძალას (სასურველია ნახაზის შესრულებაც, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც სხეულზე მოქმედი ძალები სხვადასხვა კუთხით არიან მიმართულნი, თუმცა არის ამოცანები, სადაც ეს აუცილებელი არ არის), გავარკვევთ სხეულის მოძრაობის ხასიათს, ვწერთ ნიუტონის მეორე კანონს, რომელიც წარმოადგენს ვექტორულ განტოლებას. ამოცანის ამოსახსნელად გვჭირდება ექვივალენტური ალგებრული განტოლებები ამისთვის კი ვირჩევთ კოორდინატთა სისტემას (როგორც წესი არაუმეტეს ორგანზომილებიანს) და მის ღერძებზე ვაგეგმილებთ ნიუტონის მეორე კანონს. ასეთი დაგეგმილების წყალობით ჩვენ მოძრაობას წარმოვადგენთ როგორ მოძრაობების ჯამს ორი (როგორც წესი სამგანზომილებიანი მოძრაობა ამოცანებში არ გვხვდება) ურთიერთ მართობული მიმართულებით. კოორდინატთა სისტემის არჩევისას უნდა გავითვალისწინოთ ორი შემთხვევა: ა) მოძრაობა არის თანაბრწრფივი ან სხეული უძრავია; ბ) სხეული მოპძრაობს აჩქარებით. პირველ შემთხვევაში კოორდინატთა სისტემის არჩევაში ნაკლებად შეზღუდული ვართ – ერთ–ერთი ღერძი შეგვიძლია ავირჩიოთ რომელიმე ძალის გასწვრივ. რაც შეეხება მეორე შემთხვევას, აქ უმჯობესია ერთ–ერთი ღერძი ავირჩიოთ აჩქარების მიმართულებით (ეს არჩევანი გამოწვეულია გამოანგარიშების გამარტივებით). მაშინ ცხადია, მეორე ღერძის გასწვრივ აჩქარება არ გვექნება. ამის შემდეგ ნიუტონის მეორე კანონს ვაგეგმილებთ არჩეულ საკოორდინატო ღერძებზე. ცხადია სულაც არ არის სავალდებულო ერთ–ერთი ღერძი არჩეულ იქნას აჩქარების გასწვრივ. ეს გამოთვლების შედეგებს არ შეცვლის, მაგრამ გაართულებს გამოანგარიშებას, რადგან აჩქარებას ექნება გეგმილი ორივე ღერძზე..

მკითხველს მინდა შევთავაზო **ამოცანა**, **რომელიც ეხება** m **მასის სხეულის მოძრაობას დახრილ სიბრტყეზე.** განვიხილოთ სიბრტყე, რომელიც ჰორიზონტთან ადგენს α კუთხეს. ხახუნის კოეფიციენტი სიბრტყის ზედაპირსა და სხეულს შორის იყოს μ. სხეულზე აგრეთვე მოქმედებს სიბრტყის პარალელურად მოქმედი ძალა $\vec{F}$ და მისი მასა არის m. შე–ვისწავლოთ მოძრაობის ხასიათი კუთხეზე დამოკიდებულების თვალსაზრისით და გამოვთვალოთ აჩქარება.

ამოცანაში არ არის მითითებული მოძრაობის მიმართულება. ასეთ შემთხვევაში ხახუნის ძალის მიმართულებაც გაურკვეველია, ამიტომ უნდა გავაკეთოთ დაშვება მოძრაობის მიმართულების შესახებ. დაუშვათ სხეული მოძრაობს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით (ნახ.4). კოორდინატთა ღერძი ავირჩიოთ ისე, როგორც ეს ნახაზზეა, ox ღერძი სიბრტყის პარალელურად ზევით, ხოლო oy ღერძი მის მართობულად. ნიუტონის მეორე კანონს აქვს შემდეგი სახე

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{ხახ}}$$

ამ განტოლების დაგეგმილებით საკოორდინატო ღერძებზე მივიღებთ შემდეგ განტოლებათა სისტემას:

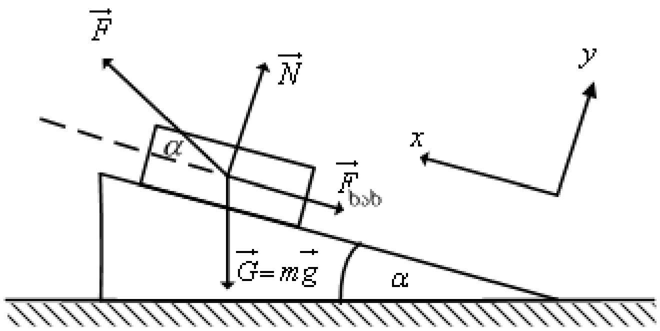
$$ma_x = F\cos\alpha - G\sin\alpha - F_{\text{ხახ}} ,$$

$$0 = N + F\sin\alpha - G\cos\alpha .$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $F_{\text{ხახ}} = \mu N$, აჩქარების გეგმილისთვის ox ღერძზე მივიღებთ:

$$a_x = \frac{F\cos\alpha - G\sin\alpha - \mu(G\cos\alpha - F\sin\alpha)}{G} g . \qquad (1)$$

(1) ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ სხეული იმოძრავებს ზევით აჩქარებით, თუ სრულდება პირობა:



ნახ. 4

$$F\cos\alpha - G\sin\alpha - \mu(G\cos\alpha - F\sin\alpha) > 0$$

$$F > \frac{\mu - \tan\alpha}{1 + \mu\tan\alpha} \qquad (2)$$

რადგან მრიცხველი დადებითი უნდა იყოს, მოვითხოვოთ α კუთხე იმდენად მცირე, რომ შესრულდეს პირობა:

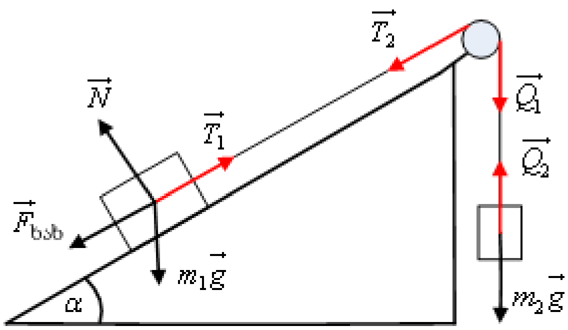
$$\tan\alpha < \mu . \qquad (3)$$

ეს ტოლობა არის პირობა იმის, რომ სხეული იმოძრავებს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით აჩქარებულად. თუ ეს პირობა ირღვევა, მაშინ სხეულის აჩქარების გეგმილი უარყოფითია, რაც სრულებით არ ნიშნავს, რომ სხეული ამ პირობებში იმოძრავებს ვერტიკალურად ქვევით (ჩვენ დაუშვით, რომ სხეული მოძრაობს ზევით). თუ პირობა (3) არ სრულდება და ადგილი აქვს ტოლობას

$$\tan\alpha \geq \mu \qquad (4)$$

მაშინ სხეული მოძრაობს ზევით თანაბარწრფივად (ტოლობის შემთხვევაში), ან შენელებუ–ლად (მეტობის შემთხვევაში).

განვიხილოთ **ორი გადაბმული სხეულის მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე.** მოცემულია დახრილ სიბრტყეზე მყოფი m_1 მასის სხეული და მასთან ძაფით გადაბმული და ჭოჭონაქზე გადაკიდებული m_2 მასის სხეული. იპოვეთ სისტემის აჩქარება და გაანალიზეთ მოძრაობის ხასიათი (ნახ. 5).



ნახ. 5
სისტემა მოძრაობს მარცნიდან მარჯვნივ

ამოცანაში არ არის განსაზღვრული მოძრაობის მიმართულება. შესაბამისად უნდა განვიხილოთ ორივე შესაძლებლობა: მოძრაობა ზევით და მოძრაობა ქვევით დახრილი სიბრტის გასწვრივ. გარდა ამისა არ გვაქვს მოცემული თანაფარდობა მასებს შორის, ამიტომ საჭიროა ჩატარდეს ანალიზი ამ კუთხით.

ნიუტონის მეორე კანონი ვექტორული სახით, ცხადია, ყველა შემთხვევაში ერთია. ისიც ცხადია, რომ ორივე სხეული მოძრაობს სიდიდით ტოლი და მიმართულებით განსხვავებული აჩქარებით. დახრილი სიბრტყეზე მყოფი სხეულისთვის მას შემდეგი სახე აქვს:

$$\vec{T}_1 + m_1\vec{g} + \vec{F}_{\text{ხახ}} + \vec{N} = m_1\vec{a}_1 , \qquad (5)$$

ძაფზე ჩამოკიდებული სხეულისთვის

$$\overrightarrow{Q_2} + m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a} \,. \tag{6}$$

აჩქარებების მოდულები აღვნიშნოთ a, ანუ $a = |\vec{a}_1| = |\vec{a}_2|$.

ნიუტონის მესამე კანონი თანახმად

$$\vec{T}_1 = -\vec{T}_2, \ \vec{Q}_1 = -\vec{Q}_2, \tag{7}$$

ხოლო ჭოჭონაქის ორივე მხარეს მოქმედი ძალები მოდული ტოლია.

$$T_2 = Q_2 \tag{8}$$

(7) და (8) ტოლობების გათვალისწინებით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T_1 = T_2 = Q_1 = Q_2 = T. \tag{9}$$

კიდევ ერთი განტოლება, რომელიც გვჭირდება, არის სრიალის ხახუნის ძალის ფორმულა:

$$F_{ხახ} = \mu N \,. \tag{10}$$

ჩვენ შემოვიღეთ ახალი სიმბოლო T, რომლის აზრი მკითხველისთვის გასაგები უნდა იყოს. (5)-(10) ტოლობები ის განტოლებებია, რომლებიც ამოცანის ამოსახსნელად არის აუცილებელი და საკმარისი.

ვთქვათ სისტემა მოძრაობს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ მარცხნიდან მარჯვნივ (ნახ. 5). ასეთ შემთხვევაში (5)-(10) აჩქარებისთვის მივიღებთ:

$$a = \frac{m_2 - m_1 \sin\alpha - \mu m_1 \cos\alpha}{m_1 + m_2} g \tag{11}$$

თუ სხეული მოძრაობს მარჯვნიდან მარცხნივ, მაშინ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ხახუნის ძალის მიმართულება შეიცვლება საპირისპიროთი. ასეთ შემთხვევაში აჩქარება (აღვნიშნოთ იგი a') იქნება.

$$a' = \frac{m_1 \sin\alpha - m_2 - \mu m_1 \cos\alpha}{m_1 + m_2} g \tag{12}$$

გავაანალიზოთ მიღებული გამოსახულებები სხეულთა მასების ფარდობის m_2 / m_1 მიხედვით. (11) განტოლებიდან ვხედავთ, რომ სისტემა მოძრაობს მარცხნიდან მარჯვნივ, თუ

$$m_2 - m_1 \sin\alpha - \mu m_1 \cos\alpha > 0 \,,$$

ანუ რაც იგივეა

$$\frac{m_2}{m_1} \geq \sin\alpha + \mu \cos\alpha \,. \tag{13}$$

ტოლობის შემთხვევაში სისტემა იმოძრავებს თანაბარი სიჩქარით. იმისათვის, რომ სისტემამ იმოძრავოს მარჯვნიდან მარცხნივ, საჭიროა შესრულდეს ტოლობა

$$\frac{m_2}{m_1} \leq \sin\alpha - \mu \cos\alpha \;. \tag{14}$$

ამავე დროს უტოლობის მარჯვენა მხარე უნდა იყოს დადებითი, ანუ კუთხე α უნდა იყოს იმდენად დიდი, რომ შესრულდეს დამატებით პირობა:

$$\tan\alpha > \mu \tag{15}$$

თუ ეს პირობა არ სრულდება და

$$\tan\alpha \le \mu \,, \tag{16}$$

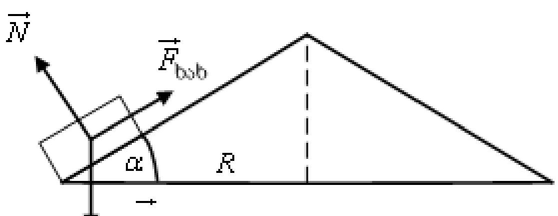
როგორი დიდიც არ უნდა იყოს მასების ფარდობა m_2/m_1, სისტემა ვერ იმოძრავებს მარჯვნიდან მარცხნივ. დასასრულს, თუ სრულდება პირობა (15), მაშინ სისტემა საერთოდ უძრავი იქნება იმ პირობით, რომ m_2/m_1 აკმაყოფილებს შემდეგ უტოლობას ((13) და (14) უტოლობების საპირისპირო უტოლობა):

$$\sin\alpha - \mu\cos\alpha < \frac{m_2}{m_1} < \sin\alpha + \mu\cos\alpha \,,$$

რადგან ამ შემთხვევაში (11) და (12) ტოლობით განსაზღვრული აჩქარებების მარჯვენა მხარეები ღებულებენ უარყოფით მნიშვნელობებს.

სხეული მბრუნავ დახრილ სიბრტყეზე. ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი სიბრტყეზე ძევს სხეული (ნახ. 6). დახრილი სიბრტყე ბრუნავს ვერტიკალური ღერძის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით. ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და სიბრტყეს შორის არის μ. რა პირობა უნდა შესრულდეს, რომ სხეული არ ჩამოსრიალდეს დახრილი სიბრტყიდან?

სიბრტყე ბრუნავს წყვეტილი ხაზით აღნიშნული ღერძის გარშემო. სხეული მოძრაობს R წრეწირზე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში $\vec{a}$ აჩქარებით. კოორდინატთა ღერძები ავირჩიოთ ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მიმართულებით. ეს უკანასკნელი მივმართოთ წრეწირის ცენტრისკენ აჩქარების მიმართულებით (მარცხნიდან მარჯვნივ).



ნახ. 6

ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად ღერძებზე დაგეგმილების შემდეგ მივიღებთ შემდეგ განტოლებებს:

$$F_{\text{ხახ}}\cos\alpha - N\sin\alpha = ma \,,$$

$$F_{\text{ხახ}}\sin\alpha + N\cos\alpha - mg = 0 \,.$$

სხეულს დახრილ სიბრტყეზე ჩამოსრიალებისგან აკავებს უძრაობის ხახუნის ძალა, რომლისთვისაც უნდა ავიღოთ მაქსიმალური მნიშვნელობა $F_{\text{ხახ}} = \mu N$. ჩავსვათ ეს გამოსახულება ნიუტონის მეორე კანონში და გამოვრიცხოთ განტოლებებიდან რეაქციის ძალა N. მარტივი გარდაქმნებით დახრილობის კუთხისთვის მივიღებთ შემდეგ ტოლობას:

$$\tan\alpha = \frac{g\mu - \omega^2 R}{\omega^2 R + g} \,.$$

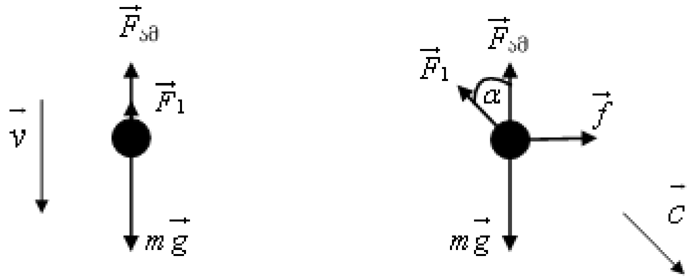
ამ გამოსახულებიდან ვასკვნით, რომ სხეული ბრუნვის დროს არ ჩამოსრიალდება, თუ შესრულდება პირობა:.

$$g\mu \ge \omega^2 R \,.$$

მოცემული რადიუსის და კუთხური სიჩქარის მიხედვით შეგვიძლია შევაფასოთ ხახუნის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა. ზოგადად, ამ ტოლობაში მოცემული ორი პარამეტრის მიხედვით შეგვიძლია შევაფასოთ მესამე სიდიდე. თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ სხეული აუცილებლად ჩამოსრიალდება სიბრტყიდან. ადვილი მისახვედრია, რომ ტოლობის შემთხვევაში სხეული ძევს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე $\alpha = 0$.

სხეულის მოძრაობა სითხეში: m მასის და V მოცულობის ბურთულა ვარდება ვერტიკა–ლურად ქვევით მუდმივი $\vec{v}$ სიჩქარით ρ სიმკვრივის სითხეში. ბურთულას დამატებით

მოსდეს ჰორიზონტალურად მიმართული $\vec{f}$ ძალა. გამოთვალეთ როგორი იქნება სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი $\vec{u}$, თუ ბურთულა აგრძელებს მოძრაობას მუდმივი $\vec{c}$ სიჩქარით.



ნახ. 7

ამოცანის პირობის თანახმად ბურთულა სითხეში ორივე შემთხვევაში მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით (ნახ.7). მაშასადამე ბურთულაზე მომედი ძალების ტოლქმედი ორივე შემთხვევაში ნულის ტოლია. პირველ შემთხვევაში

$$m\vec{g} + \vec{F}_1 + \vec{F}_{\text{ა}} = 0\,,$$

სადაც $\vec{F}_1$ არის სითხის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც პირობის თანახმად ტოლია $F_1 = kv^2$ (k პროპორციულობის კოეფიციენტია), ხოლო $F_{\text{ა}} = \rho gV$ – ამომგდები ძალა. რადგან ეს ძალები ერთი წრფის გასწვრივ არიან მიმართულნი, გეგმილებში გვექნება:

$$mg - \rho gV = kv^2\,. \tag{1}$$

როდესაც ბურთულაზე იმოქმედებს დამატებით $\vec{f}$ ძალა, მისი მოძრაობის მიმართულება შეიცვლება და მისი სიჩქარე შეადგენს α კუთხეს ვერტიკალთან. ასევე შეიცვლება სითხის წინააღმდეგობის ძალის მიმართულება, რომელიც იგივე α კუთხეს შეადგენს ვეტიკალთან. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად

$$m\vec{g} + \vec{F}_2 + \vec{f} + \vec{F}_{\text{ა}} = 0\,.$$

აქ ამომგდები ძალა არის იგივე, ხოლო სითხის წინაარმდეგობის ძალა $F_2 = kc^2$. გეგმილებში (ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით) მივიღებთ შემდეგ განტოლებებს:

$$f - kc^2 \sin\alpha = 0\,, \tag{2}$$

$$mg - \rho gV - kc^2 \cos\alpha = 0\,. \tag{3}$$

ეს განტოლებები საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ საძიებელი სიდიდე, სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი, რომელიც ტოლია

$$u = c\cos\alpha\,. \tag{4}$$

(2) და (3) განტოლებებიდან ადვილი მისაღებია შემდეგი ტოლობა:

$$\tan a = \frac{f}{mg - \rho gV}\,,$$

საიდანაც

$$\cos\alpha = \frac{mg - \rho gV}{\sqrt{(mg - \rho gV)^2 + f^2}}\,. \tag{5}$$

იგივე (2) და (3) განტოლებებიდან მარტივი გამოთვლებით მივიღებთ:

$$c = \frac{\sqrt[4]{(mg - \rho gV)^2 + f^2}}{\sqrt{k}}\,. \tag{6}$$

ამ უკანასკნელში უცნობია k, რომელიც განისაზღვრება (1) ტოლობიდან. საბოლოოდ საძიებელი სიდიდისთვის მივიღებთ:

$$u = \frac{\sqrt{mg - \rho g V}}{\sqrt[4]{(mg - \rho g V)^2 + f^2}} .$$

ორი გადაბმული სხეული მოძრაობა. ერთნაირი ფორმის, მოცულობის და სხვადასხვა ρ_1 და ρ_2 სიმკვრივის ორი სხეული მიბმულია ერთმანეთთან თოკით. სხეულები გადმოაგდეს ჰაერში გაჩერებული საჰაერო ბურთიდან. გარკვეული დროის შემდეგ სხეულებმა დაიწყეს ვარდნა მუდმივი სიჩქარით. გამოთვალეთ თოკის დაჭიმულობას ძალა მუდმივი სიჩქარით სხეულების ვარდნისას.

სიმარტივისთვია დაუშვათ $\rho_2 > \rho_1$. როდესაც დამყარდება მუდმივი სიჩქარე მეტი სიმკვრივის სხეული იქნება ნაკლები სიმკვრივის სხეული ქვემოთ და ერთმანეთს რაღაც მანძილით დაშორებული სხეულები იმოძრავებენ ერთი და იგივე სიდიდის სიჩქარით, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათზე მოქმედებს ტოლი სიდიდის წინააღმდეგობის ძალა F. თუ თოკის დაჭიმულობის ძალის სიდიდეს აღვნიშნავთ T, მაშინ ნიუტონის მეორე კანონს ამ სხეულებისთვის ექნება შემდეგი სახე:

$$\rho_1 g V + T = F, \ \rho_2 g V - T = F ,$$

საიდანაც ადვილად მიიღება

$$T = \frac{1}{2}(\rho_2 - \rho_1) g V .$$

ჩვენ აქ სხეულებისთვისგამოვიყენეთ აგრეთვე ნიუტონის მესამე კანონი.