

ავთანდილ შურღაია

მექანიკური ძალების შესახებ

ძალას და ძალის მოქმედებას ადამიანი ხვდება და განიცდის ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ძალის გამოყენების მაგალითებია გაჩერებული მანქანის მიწოლა, თოკის გაქაჩვა, ქვის სროლა, კარის გაღება, სიმძიმეების აწევა, სხეულების ვარდნა და ა. შ. ფიზიკური თვალსაზრისით ძალა არის სიდიდე, რომელიც წარმოიქმნება სხეულების ურთიერთქმედების დროს და რომლითაც ვახასიათებთ სხეულების ურთიერთქმედებას. ბუნებაში არსებული ძალები შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად: ძალებად, რომლებიც ვლინდებიან სხეულების უშუალო შეხების დროს გამოწვეული ურთიერთქმედებით და ძალებად, რომელთა გამოვლენა ან არსებობა არ მოითხოვს სხეულების რაიმე სახით შეხებას. პირველი ტიპის ძალის გამოვლინება არის სხეულების დეფორმაციით გამოწვეული ურთიერთქმედება, როგორცაა ზამბარის გაჭიმვა, თოკზე გამობმული სხეულია მოძრაობა, იგივე კარის გაღება. ყველა ეს მაგალითი დაკავშირებულია სხეულების დეფორმაციასთან, რომელიც შეიძლება თვალის უხილავი იყოს. ასეთი სახის ძალებს ფიზიკაში დრეკადობის ძალებს უწოდებენ. ყველასათვის ცნობილია ხახუნის ცნება და მისი არსებობა. ხახუნიც ვლინდება სხეულების უშუალო შეხების დროს და მას მივაწერთ ხახუნის ძალას. მოძრაობის დროს სხეულები განიცდიან ჰაერის წინააღმდეგობის ძალის გავლენას, რომელიც განსაკუთრებით შესამჩნევია სიჩქარის ზრდასთან ერთად. ესეც ხახუნის ძალის გამოვლენაა, მსგავსად წყლის წინააღმდეგობის ძალისა სითხეებში მოძრაობის დროს. ძალებს, რომლებიც ახასიათებენ სხეულების ურთიერთქმედებას რაღაც მანძილებზე (მათ შორის ძალიან დიდ მანძილებზე), რომლის არსებობისთვის არ არის საჭირო სხეულების შეხება, პირველ რიგში განეკუთვნება გრავიტაციული ძალა. მის გამოვლინებას ადამიანი ყველაზე ადრე სწავლობს. ისეთი არასასიამოვნო მოვლენა როგორც არის წაქცევა (მიუხედავად მისი მიზეზისა), არის სწორედ ამ ძალის მოქმედების შედეგი. ასეთი ტიპის ძალებს განეკუთვნება აგრეთვე ელექტრომაგნიტური, ბირთვული ძალები.

წინამდებარე წერილში ჩვენ შევეცდებით გავანალიზოთ ძალების შესწავლის დროს წარმოქმნილი შეცდომები. რადგან ძალა ვლინდება სხეულების ურთიერთქმედების დროს. ძალა არსებობს მანამ, ვიდრე ადგილი აქვს სხეულების ურთიერთქმედებას. ამიტომ, სხეულზე მოქმედი ძალების გამოვლენა გულისხმობს ურთიერთქმედების სახის დადგენას. ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლისას კითხვაზე, რა ძალები მოქმედებენ ქვაზე პასუხად დედამიწის მიზიდულობის ძალასთან და ჰაერის წინააღმდეგობის ძალასთან ერთად სახელდება ძალა, რომლითაც გასროლილია ქვა. აქ შეცდომა მდგომარეობს იმაში, რომ უნდა გაიმიჯნოს ერთმანეთისგან ქვის სროლის მოვლენა ქვის შემდგომი მოძრაობისგან. ქვის სროლის შემდგომ მოძრაობისას განმსაზღვრელია მიზიდულობის და ჰაერის წინააღმდეგობის ძალები. სროლისთვის საჭირო ძალას მის შემდგომ მოძრაობაზე გავლენა არ აქვს. გასროლით მომენტში ქვას ენიჭება სიჩქარე. სროლის შემდეგ ძალა განოლდება და აღარ იარსებებს - **ძალის დაგროვება არ შეიძლება.**

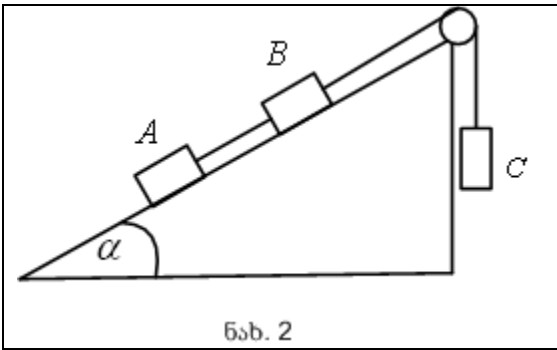
დახრილ სიბრტყეზე სხეულის მოძრაობის დროს ხშირად არის საუბარი ჩამო-მომასრიალებელძალაზე. ამ ტერმინის იგულისხმება სიმძიმის ძალის მდგენელი სიბრტყის პარალელურად. უნდა გვახსოვდეს, რომ საუბარია ბუნებაში არსებულ ძალებზე,

ხოლო ასეთებში ჩამომომასრიალებელი ძალა არ არსებობს. სხეულზე მოქმედი ძალების გასარკვევად საკმარისია დავადგინოთ, თუ რომელი სხეულები მოქმედებენ საკვლევ სხეულზე. ამ შემთხვევაში ეს სხეულებია დედამიწა და დახრილი სიბრტყე. შესაბამისად სხეულზე მოქმედებენ სიმძიმის, სიბრტყის რეაქციის და სიბრტყესთან ხახუნის ძალები. ამდენად სწავლების დროს ჩვენ არასწორად მიგვაჩნია ტერმინის ჩამომომასრიალებელი ძალა გამოყენება. ამიტომ, დახრილ სიბრტყეზე მოძრაობის დროს უნდა ვაჩვენოთ სიმძიმის, ხახუნის, რეაქციის ძალები, აგრეთვე სხეულზე დამატებით მოდებული სხვა ძალა, თუ ასეთი არსებობს (იხ. ნახ. 1ა).



ნახაზზე ძალები გამოსახულია იმ პირობით, რომ სხეული მოძრაობს ქვევით. შესაბამისად აჩქარებაც მიმართულია ქვევით და ამ აჩქარებას სხეულს ანიჭებს მითითებული სამი ძალის ვექტორული ჯამი. ჩამომომასრიალებელი ძალა არის ხახუნის და სიმძიმის ძალების გეგმილების ალგებრული ჯამი აჩქარების მიმართულებაზე.

გავიხსენოთ თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე. სხეულს ამ დროს გააჩნია ცენტრისკენული აჩქარება, რომელსაც, როგორც ხშირად და არაკორექტულად ამბობენ, სხეულს ანიჭებს ცენტრისკენული ძალა. მაგალითად, ძაფზე გამოზმული სხეულის თანაბარი ბრუნვისას ჰორიზონტალურ (ან ვერტიკალურ) სიბრტყეში სხეულზე მოქმედებენ დედამიწა და ძაფი. მაშასადამე ცენტრისკენულ აჩქარებას სხეულს ანიჭებს სიმძიმის და ძაფის დაჭიმულობის ძალების ტოლქმედი (იხ. ნახ. 1ბ). კოორდინატა სისტემის ერთ-ერთ ღერძს ვირჩევთ აჩქარების გასწვრივ (გასათვალისწინებელია ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც სიმცირის გამო უგულებელყოფილია). მაშინ ამ ღერძზე ძაფის დაჭიმულობის გეგმილი იქნება ის ძალა რომელიც სხეულს ანიჭებს ცენტრისკენულ აჩქარებას. მოსახვევში მანქანების მოძრაობის დროს სხეული ურთიერთქმედებს დედამიწასთან და მასზე მოქმედებს სამი ძალა: სიმძიმის, ხახუნის და რეაქციის ძალა. რომლენიც ახასიათებენ მის მოძრაობას. თუ კოორდინატა სისტემის ერთ ღერძს მივმართავთ ცენტრისკენული აჩქარების გასწვრივ დავრწმუნდებით, რომ ამ აჩქარებას სხეულს რეალურად ანიჭებს ხახუნის ძალა, რომელიც მიმართულია მოსახვევის ცენტრისკენ. ამდენად სწავლების დროს უნდა გამოვიყენოთ ტერმინი ცენტრისკენული აჩქარება და არა ცენტრისკენული ძალა. დასასრულს, ხაზი მინდა გაუსვა იმ ფაქტს, რომ ძალა სხეულებს შორის აღიძვრება მათი ურთიერთქმედების დროს.

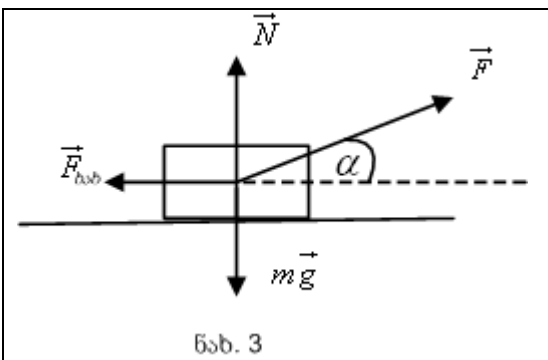


ნახ. 2

ამიტომ პირველ რიგში უნდა მოვნახოთ ურთიერთქმედებაში მონაწილე სხეულები. ძალები არ შეიძლება გაჩნდეს რაიმე სხვა, გვერდითი მოსაზრებით. ანალოგიურად უნდა მოვიქცეთ, როდესაც ურთიერთქმედებაში მონაწილეობს რამდენიმე, ერთმანეთთან დაკავშირებული სხეული, განვიხილოთ მაგალითად ნახ. 2 -ზე მოყვანილი შემთხვევა. ამ შემთხვევაში უნდა გამოვყოთ ცალკე A და B

სხეულების მოძრაობა. ისინი ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან ძაფის მეშვეობით. ამასთან ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად ადგილი აქვს ქმედება-უკუქმედებას. ეს სხეულები რა თქმა უნდა ურთიერთქმედებენ მიზიდულობის ძალითაც, მაგრამ ეს ძალა ძალიან მცირეა და პრაქტიკულად არ მიიღება მხედველობაში. A სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა, ძაფის დაჭიმულობის ძალა, საყრდენის რეაქციის ძალა და ხახუნის ძალა, ამ უკანასკნელის მიმართულებაზე ვერაფერს ვიტყვით, ვიდრე არ გვეცოდინება თუ რა მიმართულებით მოძრაობს სისტემა, დახრილის სიბრტყის გასწვრივ ქვევით, თუ ზევით. პირობითად შეგვიძლია ავირჩიოთ რომელიმე მათგანი. ამის შემდეგ შეიძლება დავაფიქსიროთ ხახუნის ძალის მიმართულებაც. აჩქარების გამოანგარიშების შემდეგ თუ საბოლოო პასუხში მივიღებთ დადებით რიცხვს, მაშინ მიმართულება აგვირჩევია სწორად, თუ უარყოფით რიცხვს, მაშინ მოძრაობას ექნება საპირისპირო მიმართულება, შესაბამისად უნდა შეიცვალოს ხახუნის ძალის მიმართულებაც და გამოვიანგარიშოთ თავიდან აჩქარება. ამ ამოცანის ამოხსნის დროს კეთდება დაშვება, რომ ჭოჭონაქზე მოქმედი ძალები ორივე მხარეს ერთმანეთის ტოლია. თუ ვიმსჯელებთ მკაცრად, ეს ასე არ არის. ჭოჭონაქის მოძრაობის დროს, მაგალითად საათის ისრის მიმართულებით, მასზე მოქმედი ძალა C სხეულის მხრიდან მეტია, ვიდრე B სხეულის მხრიდან. ეს იწვევს ჭოჭონაქის აჩქარებულ ბრუნვით მოძრაობას. სასკოლო ფიზიკის კურსში ჩვეულებრივ ჭოჭონაქის მასას მხედველობაში არ ვიღებთ, ამიტომ ეს აჩქარებაც და ძალებს შორის განსხვავებაც უგულებელყოფილია.

უფრო დაწვრილებით გვინდა შევჩერდეთ ხახუნის ძალაზე და მის როლზე მექანიკის ამოცანებში. ვთქვათ სხეულზე მოქმედებს ჰორიზონტალური \vec{F} კუთხით მიმართული ძალა (იხ. ნახ.3). რას უდრის სრიალის ხახუნის ძალა, თუ სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი არის μ ? სრიალის ხახუნის ძალის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია სხეულის საყრდენი ზედაპირის რეაქციის ძალის. ეს უნდაგვახსოვდეს. დამახასიათებელი შეცდომა მდგომარეობს იმაში, რომ რეაქციის ძალის მაგივრად იღებენ პირდაპირ სიმძიმის ძალას. ამ-

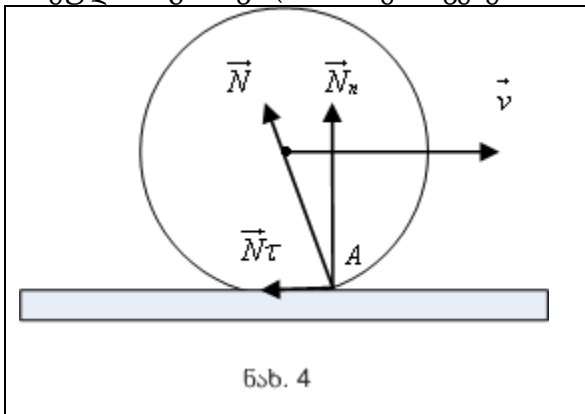


ნახ. 3

რიგად, $F_{\text{ხხ}} = \mu N$. დავშალოთ \vec{F} ძალა ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მდგენელებად. მაშინ ვერტიკალური მიმართულებით გვემძიმებისთვის მივიღებთ: $N + F \sin \alpha = mg$, საიდანაც ჩანს, რომ რეაქციის ძალა არ არის სიმძიმის ძალის ტოლი. მაშასადამე სრიალის ხახუნის ძალა $F_{\text{ხხ}} = \mu(mg - F \sin \alpha)$. თუ \vec{F} ძალა მიმართულია ჰორიზონტალურად, მაშინ მიიღება სწორედ $F_{\text{ხხ}} = \mu mg$. აქამდე

საუბარი გვეყონდა სრიალის ხახუნის ძალაზე. მოდით განვიხილოთ ახლა უძრაობის

ხახუნის ძალა. აქ არის ერთი თავისებურება, რომელსაც ხშირად არ ექცევა ყურადღება. ვთქვათ სხეული უძრავად დევს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე და მასზე მოდებულია ჰორიზონტალურად მიმართული \vec{F} ძალა, რომლის მეშვეობით უნდა დავძრათ სხეული. რისი ტოლი იქნება ამ შემთხვევაში უძრავობის ხახუნის ძალა? შეცდომა, რომელსაც ხშირად უშვებენ, არის ის, რომ ამ შემთხვევაშიც ხახუნის ძალას უტოლებენ μmg , ეს ასე არ არის. რადგან სხეული უძრავია, მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია. ვერტიკალური მიმართულებით ერთმანეთის ტოლია სიმძიმის და რეაქციის ძალების სიდიდეები, ხოლო ჰორიზონტალური მიმართულებით - უძრავობის ხახუნის და \vec{F} ძალების სიდიდეები. მამასადამე $F_{\text{უძრავობის}} = F$, ეს ნიშნავს, რომ უძრავობის ხახუნის ძალა დამოკიდებულია გარეშე F ძალაზე. თუ ეს ძალა იზრდება, იზრდება უძრავობის ხახუნის ძალაც, მაგრამ არა უსასრულოდ. ის აღწევს თავის ზღვრულ მნიშვნელობას $F_{\text{უძრავობის}} = \mu_0 N$, სადაც μ_0 არის უძრავობის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც მცირეოდენ აჭარბებს სრიალის ხახუნის კოეფიციენტს. გარეშე F ძალა როგორც კი გაუტოლდება ამ მაქსიმალურ მნიშვნელობას, სხეული იწყებს მოძრაობას, ამასთან კოეფიციენტი μ_0 უტოლდება μ . ასე რომ ხახუნის ძალა ცოტათი მცირდება. გარეშე ძალის შემდგომი ზრდა აღარ იწვევს ხახუნის ძალის (უკვე სრიალის ხახუნის ძალის) ზრდას და სხეული იძენს აჩქარებას. ცხადია თუ გარეშე ძალა არ გვაქვს, უძრავობის ხახუნის ძალაც უტოლდება ნულს (ჰორიზონტალურ ზედაპირზე). დახრილ სიბრტყეზე უძრავ მდგომარეობაში მყოფი სხეულის შემთხვევაში უძრავობის ხახუნის ძალას აწონასწორებს სიმძიმის ძალის მდგენელი სიბრტყის გასწვრივ და ამიტომ უძრავობის ხახუნის ძალა ტოლი იქნება $F_{\text{უძრავობის}} = mg \sin \alpha$. და ბოლოს რამდენიმე სიტყვა გორვის ხახუნის შესახებ. გორვის ხახუნი წარმოიქმნება, მაშინ როდესაც სფერული ან წრიული ფორმის სხეული მიგორავს ზედაპირზე. გორვის ხახუნის წარმოქმნის მიზეზი შემდეგში მდგომარეობს. სიმძიმის ძალის გავლენით წრიული ან სფერული ფორმის სხეული განიცდის დეფორმაციას და ზადაპირს ეყრდნობა არ ერთ წერტილში, არამედ მეტი ან ნაკლები ფართობის მქონე ზედაპირზე (იხ. ნახ. 4). როდესაც სხეული მიგორავს (ნახაზზე ნაჩვენებია მიმართულებით), რეაქციის ძალის მოდების წერტი-

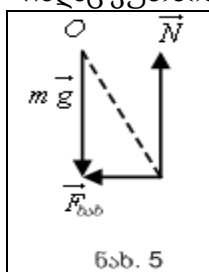


ლი ვერტიკალისგან წინ გადაადგილდება, ხოლო რეაქციის ძალის მოქმედების წრფე გადაიხრება უკან ისე, რომ გაივლის ცენტრზე. შედეგად წარმოიქმნება ამ ძალის ნორმალური \vec{N}_n და ტანგენციალური \vec{N}_τ მდგენელები. ნორმალური მდგენელი აწონასწორებს სიმძიმის ძალას, ხოლო ტანგენციალური მდგენელი აფერხებს მოძრაობას და წარმოადგენს გორვის ხახუნის ძალას. ეს ძალა პირდაპირ პროპორციულია საყრდენ ზედაპირზე წნევის ნორმალური ძალის და

უკუპროპორციულია სხეული რადიუსის: $F_{\text{გორვის}} = k \frac{N_n}{R}$ სადაც k არის გორვის ხახუნის

კოეფიციენტი და იგი ნაკლებია სრიალის ხახუნის კოეფიციენტზე. შევვხვით ძალის მოდების წერტილს. ზემოთ განხილულ შემთხვევებში ყველა ძალა მოდებული იყო ერთი და იგივე წერტილში. ეს სწორია იმ დაშვებით, რომ სხეული განხილულია როგორც მატერიალური წერტილი. ამის დაშვება კი შესაძლებელია, თუ

სხეული ზომები ბევრად ნაკლებია კონკრეტული ამოცანისთვის დამახასიათებელ სხვა მანძილებზე. მაგრამ შესაძლებელია ეს პირობების სრულდებოდეს და სხეულის განხილვა მატერიალურ წერტილად არ იყოს დასაშვები. საქმე ის არის, რომ ამ დაშვების გასაკეთებლად აუცილებელია მოძრაობის ხასიათის გათვალისწინება. თუ სხეული ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას რაიმე ღერძის გარშემო, მაშინ მატერიალური წერტილის მოდელი ამ სხეულისთვის მიუღებელია. როდესაც მატერიალური წერტილის მოდელს ვიყენებთ, ჩვენ ძალის გამომსახველ ვექტორის ნახაზზე ნებისმიერად გადაადგილების დროს. შეიცვალოს იმ ძალის მოქმედების ხასიათი და შედეგი, რომელიც იწვევს სხეულის ბრუნვას. ეს იმიტომ ხდება, რომ ძალის მოქმედების ხასიათი და შედეგი არ იცვლება, თუ ძალის ვექტორს გადავადგილებთ მხოლოდ ძალის მოქმედების წრფის გასწვრივ. მაგალითისთვის განვიხილოთ ველოსიპედზე მჯდომი ადამიანის მოძრაობა მოსახვევში. ყველასთვის კარგად არის ცნობილი, რომ ველოსიპედისტი მოსახვევში უნდა დაიხაროს რაღაც კუთხით, რომ არ წაიქცეს (იხ. ნახ. 5).



სხეულზე მოქმედი ძალებია სიმძიმის, დედამიწის რეაქციის და ხახუნის ძალები. რეაქციის და ხახუნის ძალები სხეულს ანიჭებენ ურთიერთ საპირისპირო ბრუნვით მოძრაობას სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ. ველოსიპედისტი არ წაიქცევა, თუ წრფე, რომლის გასწვრივ ის დაიხრება, გაივლის სიმძიმის ცენტრზე. ამავე დროს რეაქციის ძალა და სიმძიმის ძალა ერთმანეთს აწონასწორებენ, ხოლო ხახუნის ძალა სხეულს ანიჭებს ცენტრისკენულ აჩქარებას. თუ ამ ამოცანაში სხეულს განვიხილავთ როგორც მატერიალურ წერტილს, მაშინ გაგვიჭირდება დახრილობის კუთხის განსაზღვრა.

მისი გამოთვლისთვის დაგვიჭირდება წონასწორობის პირობების, მათ შორის ძალთა მომენტების წესის, გამოყენება.

მოკლედ გვინდა შევეხოთ ნიუტონის კანონებს და ათვლის სისტემებს. მკითხველს კარგად მოეხსენება, რომ ნიუტონის კანონები სამართლიანია ინერციული ათვლის სისტემებში. საკმარისია ფიზიკური მოვლენა განვიხილოთ არაინერციული ათვლის სისტემის მიმართ, რომ ნიუტონის კანონი ჩვეული სახით დაირღვეს. ხშირად გსმენიათ, ან გამოგიყენებიათ ტერმინი ცენტრიდანული ძალა. ამ ძალას ხშირად არასწორად იგებენ. ცენტრიდანული ძალა ეს არის ფიქტიური ძალა, რომელიც ბუნებაში არ არსებობს და შემოტანილია მხოლოდ იმიტომ, რომ შესაძლებელია იყოს ნიუტონის კანონების გამოყენება არაინერციული ათვლის სისტემაში. ასეთი ძალის უფრო ზუსტი და სწორი დასახელებაა ინერციის ძალა. ეს ძალა არანაირად არ არის ძალა ჩვეულებრივი, ფიზიკური გაგებით, რომელიც ახასიათებს სხეულების ურთიერთქმედებას. ინერციის ძალის გამოყენებით სხვა ძალებთან ერთად ნიუტონის კანონების გამოყენება შესაძლებელია ათვლის არაინერციულ სისტემებში. განვიხილოთ ლიფტის მაგალითი, რომელიც მოძრაობს რაღაც \vec{a} აჩქარებით ვერტიკალურად ზევით. ლიფტში მყოფ ადამიანზე მოქმედებს ლიფტის იატაკის რეაქციის \vec{N} ძალა და სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა. აჩქარებით მოძრავი ლიფტთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში ადამიანი უძრავია, მაგრამ აღნიშნული ორი ძალის ტოლქმედი არ არის ნულის ტოლი, ე. ი. ლიფტთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში ნიუტონის პირველი კანონი ირღვევა. თუ შემოვიტანთ ინერციის ძალას, რომელიც განისაზღვრება როგორც სხეულის მასის და აჩქარების ნამრავლი და მიმართულია ლიფტის აჩქარების საპირისპიროდ, ე. ი. $\vec{F}_{in} = -m\vec{a}$, მაშინ სიმძიმის, რეაქციის და ინერციის ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლი იქნება და ადამიანი ლიფტთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში იქნება უძრავი ნიუტონის პირველი კანონის შესაბამისად. მეორეს მხრივ დედამიწასთან დაკავშირებულ

ათვლის ინერციულ სისტემაში სხეულის მოძრაობას აღწერს ნიუტონის მეორე კანონი, რომლის თანახმად სიმძიმის და რეაქციის ძალების ტოლქმედი ტოლია ადამიანის მასის და ამ ტოლქმედით გამოწვეული აჩქარების ნამრავლის: $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$. r რადიუსის წრეწირზე v სიჩქარით თანაბრად მოძრავ სხეულზე მოქმედი ინერციის ძალის სიდიდე ამ სხეულთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში ტოლია $\frac{mv^2}{r}$ და მიმართულია ცენტრისკენული აჩქარების საპირისპიროდ. ამ ძალას უწოდებენ სწორედ ცენტრიდანულ ძალას. ამრიგად, ინერციის ძალის შემოტანა ფორმალურად საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ნიუტონის კანონები არაინერციული ათვლის სისტემებში.