IV ლექცია – ზოგადი ფიზიკა

იმპულსი. იმპულსის მუდმივობის კანონი. ძალები მექანიკაში: დრეკადობის ძალა, ჰუკის კანონი, მექანიკური ძაბვა, იუნგის მოდული.

§1. იმპულსი. იმპულსის მუდმივობის კანონი.

ვექტორულ სიდიდეს, რომელიც სხეულის მასისა და სიჩქარის ნამრავლის ტოლია, ამ სხეულის მოძრაობის რაოდენობა, ანუ იმპულსი ეწოდება და ის ასე ჩაიწერება:

$$\vec{P} = m\vec{v} \qquad (4.1).$$

იმპულსის მიმართულება, როგორც ვექტორის, ემთხვევა სიჩქარის მიმართულებას. მისი ერთეული ***SI*** სისტემაში არის კგ.მ/წმ. ჩავწეროთ ნიუტონის II კანონი $\vec{F} = m\vec{a}$. გავიხსენოთ, რომ აჩქარება სიჩქარის პირველი რიგის წარმოებულია დროით, ანუ $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, ამიტომ $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$. გავითვალისწინოთ, რომ კლასიკურ ფიზიკაში მასა მუდმივი სიდიდეა, ამიტომ m შევიტანოთ წარმოებულის ნიშნის ქვეშ და გვექნება

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} \qquad (4.2),$$

მაშასადამე სხეულზე მოქმედი ძალა იმპულსის წარმოებულია დროით, ანუ ძალა იმპულსის ცვლილების სიჩქარის ტოლია. (4.2) არის ნიუტონის II კანონის მათემატიკური ფორმულირება როგორც ცვლადი ისე მუდმივი მასის შემ-ში, ხოლო $\vec{F} = m\vec{a}$ განტოლება მართებულია მხოლოდ მუდმივი მასის შემ-ში. ე.ი. $\vec{F} = m\vec{a}$ განტოლება (4.2)-ის კერძო სახეა იმ შემ-ში, როცა მასა მუდმივია. (4.2)-დან $\quad d\vec{P} = \vec{F}dt \qquad (4.3),$

სადაც $d\vec{P}$ არის სხეულის იმპულსის ცვლილება. ძალის ნამრავლს ქმედების დროზე $\vec{F}dt$-ს ეწოდება ძალის ელემენტარული იმპულსი. ე.ი. სხეულის იმპულსის ცვლილება მცირე dt დროში ტოლია იმავე მცირე დროში მასზე მოქმედი ძალის ელემენტარული იმპულსისა. შესაბამისად დროის სასრულო $(0, t)$ შუალედში სხეულის იმპულსის ცვლილება ტოლი იქნება

$$\Delta\vec{P} = \int_0^t \vec{F}dt \qquad (4.4).$$

(4.4) ტოლობიდან გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

ა) თუ სხეულზე ძალა არ მოქმედებს ($\vec{F} = 0$), მაშინ $\Delta\vec{P} = 0$, ანუ $\vec{P} = m\vec{v} = const$. ამ დროს სხეულის იმპულსი არ იცვლება და სხეული მოძრაობს თანაბრად და წრფივად, რადგან $m = const$ და $\vec{v} = const$ (ნიუტონის I კანონი). მაშასადამე იზოლირებული სხეულის იმპულსი მუდმივი სიდიდეა. ვინაიდან მასა მუდმივია, ამიტომ $\vec{P} = m\vec{v} = const$-ის თანახმად $\vec{v} = const$, რაც არის ინერციის კანონი.

ბ) თუ $\vec{F} = const$, მაშინ $\Delta\vec{P} = \vec{F}t$, ანუ $\quad m\vec{v} - m\vec{v}_0 = \vec{F}t \qquad (4.5).$

ე.ი. ძალა რიცხობრივად დროის ერთეულში იმპულსის ცვლილების ტოლია.

განვიხილოთ სხეულთა სისტემა. სისტემის შემადგენელი სხეულების ურთიერთქმედების ძალებს შინაგანი ძალები ვუწოდოთ, ხოლო ძალებს, რომლითაც გარეშე სხეულები

მოქმედებენ სისტემის შემადგენელ სხეულებზე – გარე ძალები. სიმარტივისთვის დავუშვათ გვაქვს ორი სხეულისგან (რომელთა მასებია m_1 და m_2) შემდგარი სისტემა. მათი სიჩქარეები იყოს $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$. (4.2)-ის ანალოგიურად ჩავწეროთ მათთვის ნიუტონის II კანონი:

$$\frac{d\vec{P}_1}{dt} = \frac{d(m_1\vec{v}_1)}{dt} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_1$$
$$\frac{d\vec{P}_2}{dt} = \frac{d(m_2\vec{v}_2)}{dt} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_2 ,$$

სადაც $\vec{F}_{12}$ და $\vec{F}_{21}$ შინაგანი ძალებია, ხოლო $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ პირველ და მეორე სხეულზე მოქმედი გარე ძალები. ეს განტოლებები შევკრიბოთ და გავითვალისწინოთ, რომ ნიუტონის III კანონის თანახმად $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. მაშინ

$$\frac{d(\vec{P}_1 + \vec{P}_2)}{dt} = \frac{d(m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2)}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F} \qquad (4.6).$$

აქ $\vec{F}$ არის სისტემაზე მოქმედი გარე ძალების გეომეტრიული ჯამი.

დავუშვათ სისტემა იზოლირებულია (ანუ ისეთი მექანიკური სისტემა, რომლის შემადგენელი სხეულები მხოლოდ ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ), ანუ გარეშე სხეულებთან არ ურთიერთქმედებენ და გარე ძალების ტოლქმედი $\vec{F} = 0$. მაშინ

$$\frac{d(\vec{P}_1 + \vec{P}_2)}{dt} = 0, \quad \text{ანუ} \qquad \vec{P}_1 + \vec{P}_2 = const \qquad (4.7).$$

მაშასადამე ჩაკეტილი სისტემის სრული იმპულსი (ვექტორული ჯამი) მუდმივი სიდიდეა. ეს არის იმპულსის მუდმივობის კანონი ჩაკეტილი სისტემისთვის. ასეთ სისტემებში შეიძლება მოხდეს იმპულსის გადაცემა ერთი სხეულიდან მეორეზე ან პირიქით, მაგრამ მათი ვექტორული ჯამი რჩება მუდმივი.

ზოგად შემ-ში თუ ჩაკეტილი სისტემა შეიცავს n რაოდენობის სხეულს (მატერიალურ წერტილს), იმპულსის მუდმივობის კანონი ასე ჩაიწერება:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{v}_i = \sum_{i=1}^{n} \vec{P}_i = const \qquad (4.8).$$

ეს კანონი მექანიკის ერთ-ერთი ძირითადი კანონია.

§2. ძალები მექანიკაში: დრეკადობის ძალა, ჰუკის კანონი, მექანიკური ძაბვა, იუნგის მოდული.

გარე ძალის მოქმედების შედეგად, სხეულის ფორმის ან მოცულობის შეცვლას, დეფორმაცია ეწოდება. ამ დროს ადგილი აქვს ნაწილაკების ურთიერთგანლაგებისა და მათ შორის მანძილის შეცვლას, რაც იწვევს დრეკადობის ძალის წარმოქმნას, რომელიც მის დეფორმაციას ეწინააღმდეგება. როდესაც დრეკადობის ძალა გაუტოლდება დეფორმაციის გამომწვევ ძალას, დეფორმაცია შეწყდება. გარე ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ, დრეკადობის ძალები ცდილობენ სხეულის პირვანდელი ფორმის და მოცულობის აღდგენას.

თუ ძალის მოქმედების შემდეგ სხეული მთლიანად აღიდგენს ფორმასა და ზომებს (იბრუნებს საწყის მდგომარეობას), მაშინ დეფორმაცია დრეკადია. თუ ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ რჩება ნარჩენი დეფორმაცია, მაშინ დეფორმაციას ეწოდება პლასტიკური.

შესაბამისად ანსხვავებენ დრეკად და პლასტიკურ სხეულებს. ეს დაყოფა არის პირობითი, რადგან ერთი და იგივე სხეული მცირე დეფორმაციის დრეკადია, ხოლო დიდი დეფორმაციებისას – პლასტიკური. პირობების შეცვლით დრეკადი სხეული შეიძლება გადავიდეს პლასტიკურში. ასევე თუ დრეკად სხეულზე მოდებული ძალა აღემატება გარკვეულ სიდიდეს, რომელსაც დრეკადობის ზღვარი ეწოდება, დეფორმაცია ხდება პლასტიკური.

თუ სხეული ეწინააღმდეგება ფორმის შეცვლას ე.ი. ფორმის შეცვლისას მასში აღიძვრება დრეკადობის ძალები, მაშინ მას ახასიათებს ფორმის დრეკადობა. ასევე თუ სხეული ეწინააღმდეგება მოცულობის შეცვლას, მაშინ ეს სხეული ხასიათდება მოცულობის დრეკადობით. მყარ სხეულებში გვაქვს, როგორც ფორმის, ასევე მოცულობის დრეკადობა, ხოლო აირებში და სითხეებში მხოლოდ მოცულობის.

არჩევენ დეფორმაციის შემდეგ სახეებს: სიგრძივი გაჭიმვა (ან კუმშვა), ყოველმხრივი გაჭიმვა (ან კუმშვა), ძვრა (გადაწევა), გრეხა, ღუნვა.

დრეკადობის ძალა მოდებულია დეფორმაციის გამომწვევ სხეულზე. ეს ძალა იზრდება დეფორმაციისას მის პროპორციულად და დრეკადობის ფარგლებში (მცირე დეფორმაციისას) მოქმედებს ჰუკის ცდისეული კანონი:

დრეკადი დეფორმაციისას სხეულში აღძრული დრეკადობის ძალა x დეფორმაციის სიდიდისა:

$$F_x = -kx \qquad (4.9),$$

სადაც F_x – დრეკადობის ძალის პროექციაა x ღერძზე. ნიშანი ”–” მიუთითებს იმას, რომ დრეკადობის ძალა მიმართულია დეფორმაციის (ნაწილაკები წანაცვლების) საწინააღმდეგოდ. k – კოეფიციენტი სიხისტეა, რომელიც რიცხობრივად იმ ძალის ტოლია, რომელიც აღიძვრება სხეულში ერთეულოვანი დეფორმაციისას. ის დამოკიდებულია სხეულის ზომებზე და ნივთიერების გვარობაზე. მისი ერთეული SI სისტემაში არის ნ/მ.

განვიხილოთ გაჭიმვის (კუმშვის) დეფორმაცია. ვთქვათ გვაქვს ღერო, რომლის საწყისი სიგრძე იყოს l_0. თუ ასეთ ღეროს ფუძეზე მოვდებთ ნორმალურ (განივკვეთის მართობული) $\vec{F}_n$ ძალას. ის გამოიწვევს ღეროს გაჭიმვას და მისი სიგრძე გახდება l. მაშინ ღეროს აბსოლუტური წაგრძელება ტოლი იქნება $\Delta l = l - l_0$. გაჭიმვისას ღეროში აღიძვრება $\vec{F}$ დრეკადობის ძალა, რომელიც სიდიდით $\vec{F}_n$ ძალის ტოლია და მიმართულია მის საწინააღმდეგოდ. დრეკადობის ძალის შეფარდებას განივკვეთის ფართობთან მექანიკური ძაბვა ეწოდება:

$$\sigma = \frac{F}{S} \qquad (4.10).$$

მისი ერთეულია ნ/მ^2, რაც არის პასკალი (პა).

თუ $F \perp S$, მაშინ მექანიკური ძაბვა ნორმალურია, ხოლო თუ $F \parallel S$ -მხები.

დეფორმაციის ზომათ ასევე მიღებულია ფარდობითი დეფორმაცია, რომელიც ტოლია სხეულის ზომის ცვლილების ფარდობისა საწყის ზომასთან. გაჭიმვის დეფორმაციის შემ-ში ფარდობითი დეფორმაცია ტოლია: $\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l_0}$ (4.11).

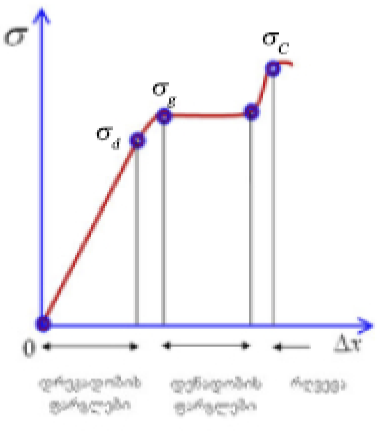
ჰუკმა დაადგინა, რომ დეფორმაციის შედეგად სხეულში აღძრული მექანიკური ძაბვა პროპორციულია მისი დარდობითი დეფგორმაციისა (ჰუკის კანონის სხვა ფორმულირება):

$$\sigma = E\varepsilon \quad (4.12),$$

სადაც E – ს გაჭიმვის (შეკუმშვის) შემ-ში დრეკადობის ანუ იუნგის მოდულს უწოდებენ. ვთქვათ $\varepsilon = 1$, მაშინ $\sigma = E$. ანუ იუნგის მოდული რიცხობრივად იმ ძაბვის ტოლია, რომელიც აღიძვრება სხეულში ერთეულოვანი ფარდობითი დეფორმაციის დროს. მაგრამ $\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l_0} = 1$ ნიშ-ნავს, რომ $\Delta l = l_0$. ანუ ამ დროს ხდება სიგრძის გაორმაგება. ე.ი. **იუნგის მოდული რიცხობ-რივად იმ ძაბვის ტოლია, რომელიც დეფორმირების გამო გამოიწვევდა სხეულის სიგრძის გაორმაგებას, თუ ასეთი დეფორმირება არ გამოდის დრეკადი დეფორმაციის ფარგლებიდან.** იუნგის მოდული დამოკიდებულია მხოლოდ ნივთიერების გვარობაზე. (4.12) ფორმულა ასე ჩავწეროთ: $\dfrac{F}{S} = E\dfrac{\Delta l}{l_0} \rightarrow F = \dfrac{SE}{l_0}\Delta l$. თუ მივიღებთ, რომ სიხისტის კოეფიციენტი $k = \dfrac{SE}{l_0}$ და Δl – ს შევცვლით Δx – ით, მივიღებთ ჰუკის კანონის საწყის ფორმულირებას: $F = k\Delta x$.

SI სისტემაში იუნგის მოდულის ერთეულია პასკალი: 1 პასკალი=ნ/მ^2.

დეფორმირების სიდიდესა და მის მიერ გამოწვეულ მექანიკურ ძაბვას შორის დამოკი-დებულება გრაფიკულად ასე გამოისახება (ნახ.).



ნახაზიდან ჩანს, რომ ჰუკის კანონი სამართლიანია ძაბვათა არეში $0 \leq \sigma = \sigma_d$. ე.ი. ამ არეში ზონრის ფარდობითი წაგრძელება პირდაპირპროპოციულია ზონარზე მოდებული ძაბვისა – ეს არის დრეკადების არე. σ_d ძაბვა არის ის მაქსიმალური ძაბვა, რომლის დროსაც ჰუკის კანონის ფორმულა სამართლიანია. თუ მექანიკური ძაბვა აღემატება σ_d ძაბვას, ამ ძაბვის მოხსნის შემდეგ სხეულში რჩება ნარჩენი დეფორმაცია. ძაბვათა არეში $\sigma_d < \sigma < \sigma_g$ ჰუკის კანონი აღარ არის სამართლიანი. ამ დროს წირი იხრება აბსცისთა ღერძისკენ, ფარდობითი დეფორმაცია იზრდება ძაბვაზე უფრო სწრაფად. შემდგომ სხეული კარგავს დრეკად თვისებებს, ანუ გარე ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ დეფორმაცია არ ისპობა. ამ არეში ზონრის ფარდობითი წაგრძელება მნიშვნელოვნად იზრდება ზონარზე მოდებული ძაბვის გარეშე. ამ დროს ხდება კრისტალური სტრუქტურის გადაწყობა, ნაწილაკების გადადენა ერთი არიდან სხვა არეში უკან დაბრუნების გარეშე. ეს არის არადრეკადი დეფორმაციის არე (პლასტიკური დენადობის). σ_d ძაბვა დრეკადობის ზღვარია.

პლასტიკური დენადობის საზღვრის ბოლოს სიხისტე კვლავ მატულობს და როდესაც მექანიკური ძაბვა გადაამეტებს $\sigma \geq \sigma_C$-ს, ზონარი გაწყდება. მექანიკური ძაბვა σ_C არის ის მინიმალური ძაბვა, რომელიც საჭიროა ზონრის გასაწყვეტად. მას რღვევის ძაბვა (სიმტკიცის ზღვარი) ეწოდება, ხოლო სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს რამდენჯერ ნაკლებია სხეულში აღძრული მექანიკური ძაბვა რღვევის ძაბვასთან შედარებით, სიმტკიცის მარაგი ეწოდება.

ისეთ სხეულებს, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი დრეკადობის ზღვართან ახლოსაა, მყიფე სხეულები ეწოდება. სხეულებს, რომლებსაც დიდი დენადობის არე აქვთ, პლასტიკური სხეულები ეწოდება.