Հ.Ս. ԿԱՐԱՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱ

Ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար

10-րդ դասարան

ԵՐԵՎԱՆ
«ԱՍՏՂԻԿ ԳՐԱՏՈՒՆ»
ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
2011

ՀԱՍՏԱՏՎԱԾ Է ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՂՄԻՑ

ՀՏԴ 373.167.1:53(075.3)
ԳՄԴ 22.3ց72
Կ 292

Կարայան Հ.Ս.
Կ 292 Ֆիզիկա 10: Դասագիրք ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար / Հ. Կարայան.–Եր.: «Աստղիկ գրատուն» հրատ., 2011.–176 էջ:

ՀՏԴ 373.167.1:53(075.3)
ԳՄԴ 22.3ց72

ISBN 978-99941-76-82-3

Հեղինակի խոսք

Որքա՜ն բազմազան ու գեղեցիկ, հարուստ ու հետաքրքիր է մեզ շրջապատող աշխարհը, որքա՜ն գրավիչ ու հուզական են մշտապես «անհաս» ծիածանը, լուսնի շողերը, աստղերի առկայծումներն ու «ընկնող» աստղերը՝ կարծես ցուցանելով Տիեզերքի անսպառությունը, որի անհուններն ի զորու ենք թափանցելու առայժմ լոկ մտքով ու հոգով՝ ֆիզիկայի միջոցով: Ֆիզիկան բնությունը, նրա կառուցվածքն ու զարգացումը, նրանում ընթացող երևույթներն ու նրանց պատճառա-հետևանքային կապերը, օրենքները և օրինաչափությունները որակապես ու քանակապես ուսումնասիրող ամենաընդհանուր գիտությունն է: Ֆիզիկան բնության մասին մարդու իմացաբանության հիմքն է, զարգացնում է երևակայությունը և իրականի զգացումը, հաղորդում է հիմնարար գիտելիքների լայն տեսականի՝ բավարարելով նրա բնազդային ու գիտակցական հետաքրքրասիրությունները: Դեռևս 20-րդ դարում իրեն բնորոշ եղանակներով ու միջոցներով ֆիզիկան խորը ներթափանցել է մարդկային քաղաքակրթության, մշակույթի և գիտության բոլոր ոլորտները: Ֆիզիկան նաև կիրառական գիտություն է: Բնությունն ամեն ինչ արարել է իր օրենքներով: Այն ամենն, ինչն արարվել ու ստեղծվել է մարդկության կողմից, ինչ կա, ինչը տեսնում ու օգտագործում ենք առօրյայում, հատկապես տեխնիկական միջոցները, իրականացվել է գլխավորապես ֆիզիկայի հիման վրա, կամ առնվազն նրա ուղղակի թե անուղղակի մասնակցությամբ: Սակայն թվարկածներով չի սահմանափակվում ֆիզիկայի նշանակությունը. ֆիզիկան նոր մտածելակերպ է և ստեղծագործելու եղանակ: *Հուսանք, այն դպրոցականին օգուտ կտա:*

Հայաստանում ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար հայերեն լեզվով դասագիրք դեռևս չի գրվել ու չի փորձարկվել, բայց արդեն ձևավորվել է թյուր կարծիք, թե հումանիտար դպրոցի ֆիզիկայի դասընթացը պետք է լինի հանրամատչելի և մակերեսային գիտելիքների ու փաստերի հանրույթի նկարագրում, մասամբ կցկտուր, չհամակարգված և առանց տրամաբանական կապակցվածության ու ներքին կուռ կառուցվածքի: Հեղինակը, սակայն, նման մոտեցումների հետևորդ չէ, այլ հակված է այն տեսակետին, թե ֆիզիկան դպրոցում, անկախ դպրոցի թեքումից, աշակերտ-մարդուն պիտի զոնե նվազագույնս տա այն, ինչը ***միայն ֆիզիկան կարող է տալ:*** Ուստի խնդիր է դրվել 34 դասաժամերի համար **տրված** ծրագիրը ներկայացնել՝ պահպանելով դասընթացի ներքին տրամաբանական հաջորդականությունն ու կմախքը ի հաշիվ մաթեմատիկական արտածումների և ապացույցների խորության ու խստության նվազեցման կամ էլ նրանց շրջանցման: Եթե աշակերտը, թեկուզ դժվար, յուրացնի ֆիզիկայի հիմնական մաթեմատիկական ապարատը և գործելակերպի եղանակն ու տրամաբանությունը, ապա, ըստ իր ունակության ու ցանկության, նա շատ հեշտությամբ կյուրացնի ֆիզիկայի հիմունքները, կստանա մնայուն գիտելիքներ, կյուրացնի ֆիզիկայի մեթոդներն ու դատողությունները, կիմտանա ու կկարողանա դրանք կիրառել մասնագիտական ոլորտում: Եվ չնայած տրված ծրագրի համար դասաժամերի սակավությանն, այնուհանդերձ ջանացել ենք դասագիրք կազմել աշակերտների լայն դասի համար: Պատմությունից հայտնի են հազարավոր հռչակավոր անձինք, ովքեր գործել են ոչ հենքային կրթության ոլորտում: Փորձել ենք նման հնարավորություն պահպանել յուրաքանչյուր աշակերտի համար: Դրանից դասագիրքը մի փոքր խրթինացել է և ծանրաբեռնվել, հագեցվել **ավելորդ թվացող** մի շարք գաղափարներով, հասկացություններով ու մեկնաբանություններով: Առաջին հերթին դա վերաբերում է վեկտորի և նրա հետ արվող գործողությունների սահմանումների շարադրմանը դասընթացի հենց սկզբում: Դասագրքում նյութը մատուցված է մակերեսային, նորմալ և խորացված մակարդակներով, ինչպես նաև «Լրացուցիչ նյութերով»: Վերջիններն առանձնացված են շեղ տառատեսակով, սկսվում և վերջանում են ուղղանկյուն նշանով, կամ էլ տարբերանշված են աստղանիշով:

Հումանիտար հոսքի աշակերտի համար ևս բնավ դժվար չէ ընկալել ու հասկանալ վեկտորի և նոր ֆիզիկական մեծությունների գաղափարները, կամ էլ յուրացնել փորձի իմաստն ու տրամաբանական գործընթացը: *Հիշենք, որ* ***մինչ ավագ դպրոցը, բոլոր աշակերտները միևնույն ծրագրով են սովորել,*** ուստի այս դասընթացի համար աշակերտից պահանջվում է լոկ ցանկություն և ուսման կորով, իսկ անհարկի թվացող բարդացումն արվում է երկու նպատակով: Նախ, դա շատ կնպաստի հետագա ողջ շարադրանքն իրականացնելու հստակ, փոքրածավալ և ոչ շատ մակերեսորեն՝ պահպանելով միաժամանակ պարտադրված ծրագիրը: Երկրորդ, շարադրման այդ եղանակը նպաստավոր է լավ ըմբռնելու համար արվող ամեն մի քայլը, դասընթացը և ընդհանրապես ֆիզիկայի տրամաբանական կառուցվածքն ու մտածողությունը, քանի որ ***միայն հասկանալու դեպքում աշակերտը կսիրի և հաճույքով կսովորի ֆիզիկա:***

Դասագիրքը դյուրըմբռնելի է ցածր դասարանների ֆիզիկայի դասընթացի, հանրահաշվի և երկրաչափության տարրերի իմացություն ու նվազագույն գիտելիքներ ունեցող աշակերտների համար: Դասագրքում բերված են խնդիրների լուծման օրինակներ, ինքնաստուգման հարցեր՝ աշակերտի ուշադրությունը բևեռելու համար հիմնական հարցերին, ստուգողական հարցեր՝ նպատակաուղղված ուսուցչի վերահսկմանը ուսումնառության գործընթացին, ինչպես նաև խնդրագրքի դեր կատարող բավարար քանակի ոչ բարդ խնդիրներ:

ԲԱԺԻՆ 1

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՀԱՍԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

§1. Մատերիայի հասկացությունը և ֆիզիկան

Դեռևս ցածր դասարաններում ծանոթացել ենք բնության մի քանի երևույթների հետ, նաև որոշ գիտելիքներ ենք ձեռք բերել դրանց մասին:Մատերիան բնության մեջ առկա ողջ նյութական աշխարհն է (տարրական մասնիկից մինչև մետագալակտիկաները և ավելի մեծ կազմավորումներ), էլեկտրամագնիսական և այլ ճառագայթային դաշտերն, այսինքն, այն ամենն, ինչ կա օբյեկտիվորեն՝ մեզանից անկախ, որը կարող ենք ինչ-որ ձևով կամ միջոցով զգալ: Ֆիզիկան ուսումնասիրում է մատերիան ու նրա փոփոխությունները, բնության օրենքներն ու օրինաչափությունները, նրա մատերիական կառուցվածքն ու նրանում ընթացող երևույթները: Սկզբնական փուլում, երբ դեռևս ձևավորված չէր ֆիզիկա գիտությունը, մարդը, կամա-ակամա բազմիցս առնչվելով բազմապիսի առարկաների ու երևույթների հետ, իր զգայարաններով (աչքով, ականջով, նյարդային վերջույթներով և այլն) կատարել է ***որակական դիտումներ*** և ստացել է որոշ գիտելիքներ: Փորձել է նաև պարզել, թե դիտարկումների արդյունքներից ո՞րն է բնության **ընդհանուր** և **օբյեկտիվ** հատկությունը, և որը՝ ոչ: Կամ ո՞րն է տվյալ երևույթի բնութագրիչ հատկությունը և որը՝ ոչ: Ընդ որում որակական դիտումները կատարվել են կանխազգացման ու բնազդի վրա հիմնված ***անհստակ*** հասկացություններով**,** որպիսիք են հեռու-մոտիկ, տաք-սառը, շատ-քիչ, արագ-դանդաղ, վերև-ներքև և այլն, ուստի դրանք նվազ տեղեկություն են պարունակում: Այդ պատճառով ստացված տեղեկությունները հազվադեպ են բավարարել որևէ հարցադրման սպառիչ պատասխանը ստանալու համար: Ավելի հաճախ էլ չեն բավարարել, ուստի պետք է եղել ստանալ լրացուցիչ, նաև քանակական տեղեկություններ: Իսկ քանակական տեղեկություն ստանալու միջոցը նոր դիտումներն ու **փորձերն են** և **չափումների** կատարումը: Այսպես, օրինակ, դժվար չէ տեսնել, նկատել, որ ձեռքով նետված քարը միշտ ընկնում է երկրի մակերևույթին՝ գետնին: Ձեռքի փոխարեն այլ միջոցով նետվածը նույն կերպ է ընկնում: Ավելին, կարող ենք դիտել, որ եթե չկա պահոց, հենարան կամ այլ խոչընդոտ, ապա նաև կենդանիներն ու թռչուններն են ընկնում գետնին: Այսինքն, Երկիր մոլորակի վրա ընկնելու երևույթը բնորոշ է առկա ողջ նյութական աշխարհին, ունի օբյեկտիվ բնույթ և հանդիսանում է ինչ-որ կարգ, **օրենք** Երկրի վրա: Սակայն որակական դիտարկումներից ստացված տեղեկությունները շատ սակավ են պատասխանելու համար մի շարք հարցերի:

*1. Դիտված օրենքը համայն Տիեզերքի համար **համընդհանու՞ր է (ունիվերսա՞լ է)** և ամենուրե՞ք է գործում, թե մասնակի՞ է և գործում է Երկրի կամ երկրանման մարմինների վրա միայն:*

2. Դիտված օրենքը հիմնարա՞ր բնույթի է, թե՞ հանդիսանում է հիմնարար և ունիվերսալ այլ օրենքների դրսևորումներից մեկը:

*3. Որակական ու քանակական **օրինաչափություններ** կա՞ն մարմինների ընկնելու երևույթում և ինչպի՞սի որակական ու քանակական օրինաչափություններ է պարունակում իրական դիտարկվող օրենքը:*

4.Ի՞նչ պայմանների դեպքում են գործում (այսինքն, ճշմարիտ-ցի՞ են) առաջադրված օրենքն ու օրինաչափությունները որպես իրականության ու ճշմարտության մոտարկում, այլ կերպ, ո՞րն է դրանց կիրառության տիրույթը:

Նույնիսկ պարզ թվացող ընկնելու երևույթն արդեն իսկ այսքան հարցադրումներ է անում, որոնց պատասխանելն այնքան էլ դյուրին չէ և պահանջում է մի շարք նոր մոտեցումների, գաղափարների, եղանակների ու սարքավորումների մշակում և ստացում: Անգամ արդի զարգացած գիտությունը դեռևս սպառիչ պատասխան չի տալիս 2-րդ և 4-րդ հարցերին: Այժմ փորձենք 3-րդ հարցի քննարկմամբ ներ-

կայացնել ֆիզիկայի մի քանի հիմնական հասկացություններ և պատկերացում տալ ֆիզիկայի կառուցման չևերի մասին:

Նախ, կան մի շարք հասկացություններ, որոնք հստակ չեն սահման- ված կամ գործածվում են մի քանի իմաստներով: Նման դեպքերում հարկ է հստակություն մտցնել տվյալ շարադրանքի համար: Այդպիսիք են, օրինակ, օրենք և օրինաչափություն հասկացությունները:

Օրենքը ապացուցելի (ապացուցված կամ ապացուցվող) պնդում է բնության մեջ գոյության և ընդհանուր հատկության մասին, որն արտահայ- տում է գիտական զանազան հասկացությունների միջև ընդհանուր կապերն ու առնչությունները: Եթե օրենքը ստացվել է ոչ թե տեսությունից, այլ փորձ- նական փաստերից, ապա կոչվում է **էմպիրիկ օրենք**: Այլ օրենքից հետևող օրենքը կոչվում է **հետևանք-օրենք:**

Օրինաչափությունն իրական աշխարհի երևույթների անհրաժեշտ, էա- կան, մշտական կամ մշտապես կրկնվող փոխադարձ կապերն են, որոնք բնորոշում են երևույթի կայացումը, զարգացումը և դրանց ձևն ու փուլերը:

Վարկածը չստուգված գիտական պնդում է, առաջարկ կամ ենթա- դրություն:

Տեսության կանխադրույթը, հիմնադրույթը (աքսիոմա, պոստուլատ) անմիջականորեն՝ փորձնականորեն կամ տեսականորեն անապացուցելի պնդումներ են, որոնց ճիշտ կամ սխալ լինելը պայմանավորված է տե- սության հաջողություններով և փորձերի հետ համընկնելով:

Դիտումը կառավարելի պայմաններում իրականացվող փորձարարա- կան (էքսպերիմենտալ) եղանակ է, որի նպատակն է երևույթի գրանցումը և ընկալումը:

Փորձը *չափումներով և դիտումներով* տեղեկություն (ինֆորմացիա) ստանալու միջոց և գործընթաց է:

Գիտափորձը նախապես պլանավորված այնպիսի փորձ է, որի արդ- յունքով ստուգվում է, հաստատվում կամ հերքվում այս կամ այն կանխա- տեսումը, ենթադրությունը կամ պնդումը:

Օրինակ: Դիտարկենք մեզ արդեն ծանոթ արքիմեդյան ուժը: Այն գտնվել է Երկրի վրա փորձնական եղանակով և պնդում է, որ հեղուկն ու գազը իրենց մեջ ընկղմված մարմինների դուրս են մղում (ազդում են դուրս մղող) որոշ $F_Ա$ ուժով: Իսկ օրինաչափությունն էլ այն է, որ դուրս մղող $F_Ա$ ուժն ուղղված է ուղղաձիգ դեպի վեր, իսկ ուժի մեծությունը համեմատական է հեղուկի ρ խտությանը և ընկղմված մասի V ծավալին. $F_Ա = \rho V g$:

Երբ ձևավորվեց Նյուտոնի տեսությունն, Արքիմեդի օրենքն էմպիրիկ օրենքի կարգավիճակից վերափոխվեց բնության ***հիմնարար օրենքներից*** *բխող հետևանք-օրենքի կարգավիճակի, որը գործում է ոչ միայն Երկրի վրա: Այսպիսով, օրինաչափության մեջ ներկայացված են դուրս մղող հեղուկն իր ρ խտության միջոցով, դուրս մղվող մարմինն իր ընկղմված մասի V ծավալով և դուրս մղող պատճառը՝ ձգողությունը իր* ***g*** *բնութագրիչով:*

Ինքնաստուգման հարցեր.

Հասկացե՞լ եք, արդյոք.

1. Ի՞նչ է մատերիան:
2. Մատերիայի ի՞նչ տեսակներ ու գոյաձևեր գիտեք:
3. Ի՞նչ է ուսումնասիրում ֆիզիկան:
4. Ի՞նչ է դիտումը, փորձը, գիտափորձը:
5. Ի՞նչ է օրենքը, օրինաչափությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Թվարկե՛ք մատերիայի որոշ տեսակներ ու գոյաձևեր:
2. Ինչո՞վ են տարբերվում դիտում, փորձ և գիտափորձ հասկացությունները:
3. Փորձե՛ք ներկայացնել օրենք և օրինաչափություն հասկացությունները:

*4. Ինքնուրույն վերլուծե՛ք Հուկի օրենքն ու նրա օրինաչափությունները:

*5. 7-րդ և 8-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացում սովորած օրենքներից բերե՛ք օրինակներ՝ հիմնարար օրենքի, էմպիրիկ օրենքի, հետևանք-օրենքի:

§ 2. Տարածության և ժամանակի հասկացությունները

Ինչ-որ երևույթի օրինաչափությունները գտնելու համար պետք է ունենալ անհրաժեշտ որոշ տեղեկություններ, որոնք կարելի է ստանալ փորձով՝ քանակական չափումների միջոցով: Բայց պետք է իմանալ, թե ի՞նչը չափել և սկզբունքորեն ինչպե՞ս չափել, ի՞նչ միջոցներով չափումն իրականացնել: Քննարկենք նետված մարմնի օրինակը: Որակական դիտումները ցույց են տալիս, որ ընկնելը բոլոր նետված մարմինների համար պարտադիր հատկություն է, բայց տարբեր նետումներ իրարից տարբերվում են ձևով ու չափով՝ շուտ-ուշ, հեռու-մոտիկ, աջ-ձախ, ուղիղ-կոր ընկնելով և այլն: Տրամաբանորեն դա նշանակում է, որ եթե տարբերություններ կան, ապա կան նաև տվյալ նետվածը բնորոշող տարբերիչներ, որոնց քանակական չափերը ներկայացնելու են տվյալ նետումը՝ տարբերելով այն մյուսներից: Պետք է այդ նպատակի համար բնորոշիչների բավարար քանակի հանրույթ չափենք: Իսկ նետման դեպքում որո՞նք ընտրենք որպես բնութագրիչներ: Եթե առայժմ քննարկենք միայն երևույթի ձևն առանց դրանք առաջացնող պատճառների, ապա կարող ենք առաջնորդվել կանխազգացումով ու բնազդով՝ հենվելով մեր տեսած-զգացածի վրա: Այստեղ առանձնանում են երեք հիմնական գոյություններ, որոնք կազմում են դասական ֆիզիկայի հայեցակարգային հիմքը: Դա նախ առկա նյութական աշխարհն է, որը նետման երևույթում դեռևս բացահայտ և էական դերակատարում չունի: Նյութական աշխարհը տեղաբաշխված-դիրքավորված է **մատերիայից անկախ** գոյություն ունեցող տարածության մեջ՝ բնութագրվելով դիրքերով, ուղղություններով ու հեռավորություններով: Դա հարմար է *ընկնելու* և **բնության մյուս բոլոր** երևույթների ու նրանց փոփոխությունների ներկայացման համար: Այդ տարածության հատկությունները կարելի է ներկայացնել *ինչ-որ ընտրված կետից՝ սկզբնակետից* ունեցած հեռավորություններով: Հեռավորությունը չափենք հետևյալ կերպ: Վերցնենք իր **ձևն ու չափերը չփոփոխող** որևէ ձող, որը համարենք երկարության չափի միավոր (և կնքենք ինչ-որ անունով, ասենք՝ մահակ, սակայն ցանկալի է հետևել միջազգային համակարգին (**ՄՀ**), կամ, որ նույնն է **SI** (système international) և մահակին *մետր* կոչել): Եթե **A** կետից ուղիղ գծով երկարության չափանմուշը՝ *էտալոնը* մինչև **B** կետը տեղավորվում է **n** անգամ, ապա այդ կետերի միջև հեռավորությունը կանվանենք **n** միավոր (ասենք, **n** մետր): Եթե չափանմուշը փոքրացնենք 10 անգամ (ասենք, դեցիմետր), ապա այդ նույն հեռավորությունը կլինի 10**n** դեցիմետր, որը նույն **n** մետրն է: Դա նշանակում է, որ տարածության կետերի միջև հեռավորության թվային արժեքը կախված է երկարության չափանմուշի ընտրությունից և հարաբերական է **նաև** այդ առումով, իսկ ինքը՝ հեռավորությունը, կախված չէ այդ ընտրությունից: Այլ կերպ, միավորի ընտրությունը միարժեք չէ, կատարվում է ըստ նպատակահարմարության և ոչ օբյեկտիվ է՝ **սուբյեկտիվ** է: Բայց ունի նաև օբյեկտիվ մաս, քանի որ որքան փոքր լինի չափանմուշը (այսուհետ՝ միավորը), այնքան մեծ կլինի մեր չափման ճշտությունը, ուստիև մեր ստացած **ինֆորմացիան**: Իրոք, եթե մեր միավորը սմ-ն է, ապա չափման ճշտությունը կլինի 0,5 սմ: Օրինակ, դիցուք մեքենայի երկարությունը 526 սմ է: Եթե միավորը մետրն է, ապա պիտի այն կլորացնենք և համարենք 5 մետր, քանի որ 26 սմ փոքր է մետրի կեսից, 549 սմ ևս պիտի համարենք 5 մետր, քանի որ 49 սմ փոքր է կես մետրից, 451սմ ևս պիտի համարենք 5 մետր, քանի որ 51 սմ մեծ է կես մետրից: Այսպիսով, մեքենայի երկարությունը կհամարենք 5 մ նրա 451-ից մինչև 549 բոլոր երկարությունների դեպքում, այսինքն, սխալանքը 100 անգամ մեծ կլինի, քան եթե սմ-ով չափեինք: Նշենք մի հանգամանք ևս. այս եղանակով հեռավորության չափման արդյունքը ներկայացվում է տվյալ ուղղությամբ արված չափումով՝ արտահայտված այդ ուղղության միավորով: Ընդհանուր դեպքում կարելի է ցանկացած հեռավորություն և ցանկացած ուղղություն որոշել եռաչափ տարածության երեք (հարթության՝ երկչափ տարածության դեպքում, երկու) փոխուղղահայաց ուղղությամբ չափումների միջոցով: Դա *մեր սահմանած* տարածության **երկրաչափական** հատկությունն է:

Նման կերպ դիտելով նյութական աշխարհի փոփոխությունները, դրանց ուշ-շուտ, արագ-դանդաղ կատարվելը, տևողությունը, ետ ու առաջ ընկնելը և նախորդել-հաջորդելը՝ հանգում ենք **նյութական աշխարհից ու տարածությունից անկախ *ժամանակի*** գաղափարին: Որոշենք ժամանակի չափման ձևն ու միջոցը: Հեռավորության նմանակն այստեղ երկու պահերի միջև ժամանակահատվածն է (ժամանակամիջոցը), որը որպես տևողություն հաստատուն է և կրկնելի (ինչպես իր ձևը և չափը պահպանող մետրը տարածության դեպքում): Այդ դեպքում կարող ենք որպես ժամանակի չափանմուշ վերցնել հենց այդ տևողությունը: Դա կարող է լինել ջրով լի տակառի նեղ ու չփոփոխվող անցքից ջրի դատարկման տևողությունը, կամ էլ ավազով լի նեղ անցքով սրվակից ավազի դատարկման տևողությունը (ավազե ժամացույց): Բնությունը ևս նման տևողությունների շատ օրինակներ է տվել: Երկիրն Արեգակի շուրջը լրիվ պտույտ է կատարում հաստատուն ժամանակամիջոցում, որն անվանում են տարի՝ որպես ժամանակի մի այլ միավոր: Եթե ընկուզենու տնկին բերք է տալիս 7 պտույտ հետո, կասենք 7 տարի հետո: Երկիրը հաստատուն ժամանակամիջոցում է կատարում ամբողջական պտույտ իր պտտման առանցքի շուրջը, որն անվանում են օր: Դիտում ենք, որ լիալուսինը կրկնվում է, երբ 28 անգամ Երկիրը պտտվում է իր առանցքի շուրջը, այսինքն, 28 օրում: Դիտում ենք նաև, որ 365 օրում Երկիրը մի անգամ է պտտվում Արեգակի շուրջը, ուստի 1 տարին հավասար է 365 օրի: Ավելի ճշգրիտ ու հաստատուն տևողություններ կան ռադիոակտիվության կամ լազերային ճառագայթման երևույթներում: Բոլոր դեպքերում չափամիավոր հանդիսացող տևողությունների քանակը հենց կհամարենք ժամանակամիջոց, իսկ այդ քանակը հաշվող սարքը՝ ժամացույց: Առօրյայում կիրառական են պարբերական երևույթի (թելից կամ զսպանակից ամրացված մարմնի՝ ճոճանակի, էլեկտրական սխեմայում լարման, հոսանքի ուժի, լիցքի, կամ որևէ այլ մեծության տատանումներ) հիման վրա աշխատող ժամացույցները: Իսկ ժամանակի տվյալ պահն իմանալու համար պետք է կամայականորեն (հետևաբար և սուբյեկտիվորեն) ընտրենք սկզբնապահ, ասենք, Մեծ ջրհեղեղը, Քրիստոսի ծննդյան օրը կամ որևէ այլ պահ: *Այսօրինակ* սահմանված ժամանակը միշտ մի **ուղղությամբ է ընթանում**, քանի որ մեր հաշված ցիկլերն անցած են անդարձ և չեն կարող ետ բերվել:

Տարածությունն ու ժամանակը մատերիայի գոյության ձևեր են՝ անքակտելի մատերիայից. մատերիան գոյություն ունի տարածության և ժամանակի մեջ, իսկ տարածությունն ու ժամանակը գոյություն չունեն առանց մատերիայի: Ուստի մեր ներմուծած բացարձակ, մատերիայից անկախ տարածությունն ու ժամանակը լոկ մոտավոր նշանակություն ունեն, բայց դասական (նյուտոնյան) ֆիզիկայի հիմնական, հենասյունային գաղափարներից են: Ֆիզիկայի հետագա զարգացումն արմատապես փոխեց այդ պատկերացումները: Հարաբերականության Հատուկ Տեսության ստեղծմամբ Ա. Էյնշտեյնը հանգեց միասնական տարածության ու ժամանակի գաղափարին՝ քառաչափ աշխարհի հայեցակարգին, իսկ Հարաբերականության Ընդհանուր Տեսության հիմքում էլ դրվեց մատերիայի ու քառաչափ տարածություն-ժամանակի միասնականությունը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Կազմեցի՞ք գաղափար տարածության և ժամանակի մասին:
2. Յուրացրեցի՞ք մատերիայի, տարածության ու ժամանակի հիմնագաղափարները:
3. Ինչո՞ւ են տարածությունն ու ժամանակը մատերիայի գոյության ձև:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Հիմնավորե՛ք ֆիզիկայում տարածության և ժամանակի հասկացությունների անհրաժեշտությունը:
2. Ներկայացրե՛ք բացարձակ տարածությունը և ժամանակը:
3. Մտածե՛ք ժամանակամիջոցի և հեռավորության բնական ու արհեստական մեկական չափամիավորներ և դրանք ներկայացրե՛ք միմյանցով:
4. Կարելի՞ է համեմատել հեռավորությունն ու ժամանակամիջոցը, ինչո՞ւ:
5. Ի՞նչ հարաբերության մեջ է մատերիան տարածության ու ժամանակի հետ:

§3. Չափողականություն և չափման միավորների համակարգ

Տարածությունն ու ժամանակը բնության անքակտելի մասն են և հանդիսանում են ֆիզիկայի հիմնարար հասկացություններ, ավելի ճիշտ նախահասկացություններ, ուստիև չեն կարող հստակ սահմանվել: Մատերիան և նրա փոփոխությունը տեղի ունեն տարածության մեջ ու ժամանակի ընթացքում, որոնց ներկայացմանը և պատկերմանն են միտված ներմուծված հասկացությունները: Մենք մի քանի վարկածի (հիպոթեզի) հիման վրա սահմանեցինք ժամանակը և տարածությունը, որոնք մասամբ վերացական-մաթեմատիկական բնույթի են և մատերիայից անկախ բացարձակ հասկացություններ են, բայց և որոշակի միջոց են նաև չափումներ կատարելու և տեղեկություն ստանալու համար: Որպես **հիմնադրույթ** ընդունենք, որ մեր ներմուծած ժամանակը և տարածությունը **իրական ֆիզիկականն են** կամ նրա որոշակի մոտավորությունն են: *Սա նյուտոնյան դասական ֆիզիկայի հիմնադրույթներից մեկն է:* Թե՞ ինչքան արգասաբեր կլինի այդ ու նման հիմնադրույթների վրա հիմնված գիտությունը, ցույց կտա միայն փորձը, այն է, տեղեկության (ինֆորմացիայի) հետագա ստացումն ու ավելացումը հատկապես քանակական չափումների միջոցով: Այդ կապակցությամբ անհրաժեշտ է չափման հետ առնչվող երկու հարց մանրամասնել: Առաջինը **չափողականությունն** է, որը չափվող տվյալ մեծության օբյեկտիվ հատկությունն է, բնորոշ է այդպիսի բոլոր մեծություններին՝ հանդիսանալով նրանց ընդհանուր բնութագիրը: Նյութական աշխարհում բոլոր մարմինները իրենց մեջ պարունակում են նյութի որոշակի քանակություն, որին անվանում են մարմնի զանգված: Ծագում է զանգվածը չափելու հարց: Տարածության և ժամանակի դեպքում ևս նման հարց կար, որը շրջանցեցինք չափանմուշի (էտալոնի) սկզբի ու վերջի հաջորդաբար բազմակի համատեղմամբ՝ առաջնորդվելով լոկ բնազդով: Օրինակ, երկու մարմինների հեռավորությունը բնազդով լռելյայն ընդունել էինք լիովին անկախ մարմինների ներքին հատկություններից՝ զանգվածներից, կառուցվածքից, նյութի տեսակից և այլն: Զանգվածի դեպքում մենք այդօրինակ անկախության ոչ մի հիմք չունենք, ավելին, հակառակի հիմքը ունենք: Այսպես, տեսնում ենք և դիտում, որ միևնույն ձևի ու չափի և նույն հեղուկում ու միևնույն մնացած պայմաններում երկու տարբեր նյութից բաղկացած երկու մարմիններ տարբեր չափով են հեղուկից դուրս մղվում. ոսկե խորանարդն ամբողջովին ընկղմվում է և սուզվում, չոր փայտե խորանարդը մասամբ է ընկղմվում և լողում է: Այս դեպքում ինչպե՞ս համեմատենք երկու մարմինների ներքին հատկություններից մեկը՝ նյութի քանակը նրանց մեջ, այսինքն, զանգվածները: Եթե ունենայինք զանգվածները համեմատող միջոց, սարք (ասենք, իմանայինք և ունենայինք լծակավոր կշեռք), ապա տարածության նմանությամբ հարցը կլուծվեր դյուրորեն: Իսկ եթե նման միջոց չգիտենք, ապա ինչպե՞ս վարվել: *Նման դեպքերում ֆիզիկայում վարվում են հետևյալ* *կերպ: Նախ՝ եղած փորձնական փաստերի հիման վրա ընտրում են հնարավորինս պարզագույն դեպք, նրա համար վճռում են հարցը, հարկ եղած դեպքում առաջադրվում է վարկած կամ հիմնադրույթ, հետո մշակում են ընդհանրացման եղանակ և ազատվում են մասնավորեցնող պայմաններից:* Որպես կարևոր, դիտարկենք բացառապես միևնույն նյութից բաղկացած համասեռ մարմիններ: Այդ դեպքում կարող ենք համարել, որ եթե մնացած մյուս պարամետրերով ևս երկու մարմիններ համընկնում են, ապա համընկնում են նաև իրենց զանգվածներով: Ե՛վ բնազդով, և՛ տրամաբանությամբ ոչ մի հիմք ու պատճառ չունենք դրանք միմյանցից տարբերելու: Ուստի կարող ենք որևէ մի փոքրիկ մաս ընտրել որպես չափանմուշ, դրա զանգվածը համարել միավոր և որոշել, թե մյուս մարմիններում այդ միավորից քա՞նի հատ կա: Այդ թիվն էլ կհամարենք մարմնի զանգված: Արարողության հիմքում կանխակալ ընդունեցինք, որ **միևնույն նյութից** կազմված մարմնի զանգվածը հավասար է այդ մարմնի բաղկացուցիչ առանձին մասերի զանգվածների գումարին: Ենթադրենք ունենք երկու տեսակի նյութ, ասենք ոսկի և արծաթ: Մենք կարող ենք ոսկու և արծաթի զանգվածների համար միավորներ համարել միևնույն ձևի ու ծավալի ոսկե և արծաթե կտորների զանգվածը, $m_{\text{ո}}$ և $m_{\text{ա}}$: Եթե արծաթե ինչ-որ մարմնի զանգված $n \cdot m_{\text{ա}}$ է, ապա այն ոսկե էտալոնով չափելու դեպքում կունենանք $\tilde{n} = n \cdot \frac{m_{\text{ա}}}{m_n}$ անգամ տարբեր թիվ, որը միևնույնն է արծաթե բոլոր մարմինների համար և հանդիսանում է նրանց զանգվածը՝ արտահայտված ոսկե չափանմուշով: Այս դատողություններում ոսկու և արծաթի փոխարեն ցանկացած այլ նյութեր կարող էին լինել, ուստի սա զանգված մեծության ընդհանուր հատկությունն է, որի հիման վրա կարող ենք ընդունել հետևյալ հիմնադրույթը՝ **ցանկացած մարմնի զանգված հավասար է իր առանձին մասերի զանգվածների գումարին:** Սա կոչվում է **զանգվածների ադիտիվության սկզբունք**, որն ունի վարկածային բնույթ, ուստի և հաստատման կարիք: Զանգվածների գումարման այս սկզբունքը դասական ֆիզիկայում կարևոր դերակատարում ունի:

Այսպիսով, **զանգվածը բոլոր մարմինների նյութի քանակ պարունակելու հատկությունն է, չփոփոխելով իր բնույթն ու հատկությունը, կարող է փոփոխվել մեծությամբ՝ գումարվել-հանվել և համեմատվել (մեծ, փոքր, հավասար) միայն այլ զանգվածների հետ, բազմապատկվել-բաժանվել մասերի՝ մնալով զանգված:** Այդ զանգվածաբնույթ հատկությունները ընդգծելու և մյուս այլ հատկություններից տարբերելու համար մեծություն-ներին վերագրում ենք ոչ քանակական մի հատկանիշ ևս՝ չափայնություն (կամ չափողականություն): Նման կերպ, հեռավորությունն ու ժամանակա-միջոցն ունեն իրենց՝ երկարության ու ժամանակի չափողականությունը: Չափայնություն վերագրվում է ցանկացած A մեծության, որը նշանակենք [A] նշանով, իսկ զանգվածը, երկարությունն ու ժամանակը, որպես ֆիզիկա-յի հիմնարար հասկացություններ, ունեն հատուկ նշանակումներ՝ M, L ու T:

Մեծությունները բազմապատկելիս, բաժանելիս, աստիճան բարձրաց-նելիս և արմատ հանելիս նրանց չափայնությունները ենթարկվում են նույն գործողություններին: Եթե ունենք հավասարում, ապա նրա բոլոր անդամնե-րը պարտադիր ունեն նույն չափայնությունը: Եթե ինչ-որ ֆիզիկական մե-ծություն կախված չէ որևէ զանգվածից, ապա նրա չափայնության մեջ M-ը զրո աստիճան ունի: Իսկ եթե երկարությունից կամ ժամանակից կախում չկա, ապա L-ը կամ T-ն զրո աստիճան ունեն:

Չափայնության գաղափարը շատ ընդհանուր, կարևոր և արդյունա-վետ միջոց է ֆիզիկական երևույթները հասկանալու, կանխատեսելու և մեկնաբանելու հարցերում, ինչպես նաև շատ լայն մտածելակերպային մի-ջոց է, որը թույլատրում է հաճախ որակապես վերարտադրել օրենքներ ու օրինաչափություններ: Այդ գաղափարից օգտվելու ենք ողջ դասընթացում:

Սակայն, չափման միավորների համակարգը սուբյեկտիվ է, կախված է մեր ընտրությունից: Միավորներ պետք է ընտրենք նախ հիմնական մեծու-թյունների համար, պայմանով, որ հետագայում այն կլրացնենք ըստ անհ-րաժեշտության: Ընդունված է միավորների Միջազգային համակարգը (**ՄՀ**), որտեղ զանգվածի միավորը կգ-ն է, երկարությանը՝ մետրը, ժամանա-կինը՝ վայրկյանը: Մինչև 1960 թ. որպես չափանմուշ ընդունված էր համա-րել 1մ պլատինաիրիդիումային համաձուլվածքի ձողի վրա արված որոշա-կի երկու նշագծերի միջև հեռավորությունը, այդ համաձուլվածքի 3,9 մմ տրամագծով և 3,9 մմ բարձրությամբ գլանի զանգվածը համարել 1կգ, իսկ 1վ համարեցին Արեգակի շուրջ Երկրի տարեկան պտույտի տևողության 1/31556925,97 մասը: Ներկայումս գոյություն ունեն շատ ավելի ճշգրիտ չափանմուշներ, որոնց մասին գիտելիքներ կարելի է ստանալ մասնագի-տական գրականությունից:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք չափման և չափման միավորի նշանակությունը ֆիզիկայի համար:
2. Յուրացրե՞լ եք չափում կատարելու և չափման միավորի ընտրության սկզբունքները:
3. Հասկացե՞լ եք չափողականության իմաստը և նրա նշանակությունը ֆիզիկայում:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Կարո՞ղ է, արդյոք, միավորը լինել՝ **ա**. բացարձակ, **բ.** օբյեկտիվ:
2. Սահմանե՛ք **ՄՀ**-ում զանգվածի, երկարության և ժամանակի միավորները:
3. Գտնե՛լ ուժի չափայնությունը Արքիմեդի օրենքից, եթե հայտնի է որ $[g] = LT^{-2}$:
4. **Խմբային համձնարարություն**: Համեմատե՛ք միմյանց հետ ճնշման ու էներգիայի ծավալային խտության՝ միավոր ծավալի էներգիայի չափողականությունները:

ԲԱԺԻՆ 2

ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Գլուխ 2.

ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱ

§4. Մեխանիկական շարժում

Մատերիայի հիմնական հատկությունը նրա փոփոխությունն է տարածության մեջ ժամանակի ընթացքում, որն անվանում են ***շարժում*** ընդհանրապես: Եթե փոփոխությունը վերաբերում է մարմնի դիրքին, ապա այդ շարժումն անվանում են **մեխանիկական շարժում**: *Մարմնի դիրքի փոփոխությունը տարածության մեջ ժամանակի ընթացքում կոչվում է մեխանիկական շարժում:*

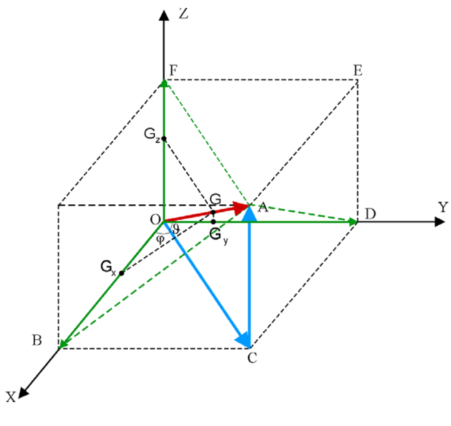
Իսկ ինչպե՞ս ենք մենք իմանում մարմնի դիրքի փոփոխության մասին: Մենք դա պարզապես տեսնում ենք: Մենք տեսնում ենք, որ գետինը, ծառերը, շրջակա միջավայրի որոշ առարկաներ միմյանց նկատմամբ միշտ նույն դիրքն ունեն, որոնց բնազդով համարում ենք *անփոփոխ, անշարժ*, և դրանց նկատմամբ դիտում ենք շարժվող մարմինների դիրքի փոփոխությունը:

Նման կերպ համեմատել ենք ժամանակի պահերն ինչ-որ *անփոփոխ համարվող* պահերի հետ, ասենք, արևի դիրքի հետ՝ արևածագ, կեսօր, մայրամուտ, գիշեր և այլն:

Այդպես մենք լավագույն դեպքում ինչ-որ որակական արդյունքներ կստանանք, ասենք, ինչ-որ բանի կամ երևույթի գոյության փաստ, օրինակ, խնձորն ընկավ, քամի առաջացավ և այլն: Ուստի հարց կառաջանա՝ այնուհանդերձ, ինչպե՞ս ավելի հստակ, արժեքավոր ու ճշգրիտ տեղեկություններ ստանանք շարժումների մասին, ինչպե՞ս դրանք, և դրանցով էլ շարժումը, լիակատար նկարագրենք: Առայժմ մեր տրամադրության տակ ունենք միայն երկու միջոց՝ ժամացույց և քանոն:

Ժամացույցով կարող ենք չափել (ուստի և իմանալ) ցանկացած երկու t_1 և t_2 պահերի միջև եղած $\Delta t_{12} \equiv t_2 - t_1$ ժամանակամիջոցը, իսկ t պահը կնույնացնենք ժամանակի ընտրված որևէ $t_0 = 0$ սկզբից անցած $t \equiv t - 0 = t - t_0$ ժամանակամիջոցի հետ:

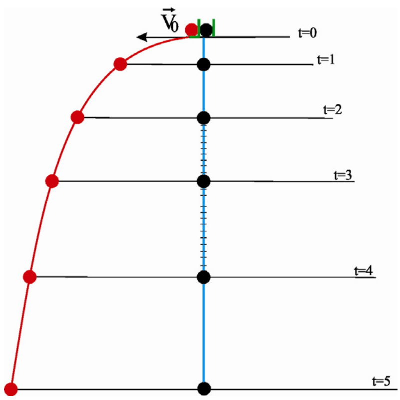
Քանոնով կարող ենք չափել երկու կետերի միջև հեռավորությունը: Սակայն կետի դիրքը տարածության մեջ չենք կարող ժամանակի պահի նման հեշտ ներկայացնել: Իրոք, եթե ընտրենք որևէ O սկզբնակետ և չափենք տվյալ A կետի r հեռավորությունը նրանից, ապա դա բավարար տեղեկություն չէ A կետը միարժեք տարբերելու ուրիշ այլ կետերից: Չէ՞ որ O կենտրոնով r շառավղով գնդոլորտի բոլոր կետերը O-ից հեռացված են նույն r չափով: Որպեսզի A կետը տարբերենք գնդոլորտի մյուս կետերից, անհրաժեշտ է ունենալ ևս որոշ լրացուցիչ տեղեկություն: Եթե գոնե հայտնի լինի, թե այդ r հեռավորությունը ո՞ր ուղղությամբ է, ապա դա կբավարարի A կետն առանձնացնելու գնդոլորտի մյուս կետերից: Այդ OA ուղղությունը մաթեմատիկորեն կարելի է, օրինակ, ներկայացնել ընտրված երեք ուղղությունների (առանցքների) հետ նրա կազմած անկյուններով (նկ. 1): Ժամանակի դեպքում նման կարիք չի զգացվում. բնության օրենք է, ժամանակն ընթանում է միայն մի ուղ-



Նկար 1

դությամբ՝ առաջ: Եթե ժամանակը երկու ուղղությամբ ընթանար կամ ինչ-որ համաչափություն ունենար, ապա նրա պահը նկարագրելու համար ևս հարկ կլիներ լրացուցիչ տեղեկություն տալ:

Նկ. 1-ում բերված անկյուններն էլ իրենց հերթին կարելի է անմիջականորեն չափել, եթե մշակենք չափման սկզբունք, ընտրենք միավոր (ասենք, ռադիանը) և ստեղծենք չափող սարք (ասենք, անկյունաչափ): Դա, անշուշտ, շատ հարմար է կիրառական առումով, սակայն գիտական համակարգման տեսանկյունից այնքան էլ ընդունելի չէ: Ինչո՞ւ: Որովհետև այդ անկյունները համդիսանում են մեզ ծանոթ մեծությունների օժանդակ, ածանցյալ մեծություններ: Իրոք, այդ անկյունները կարելի է մաթեմատիկորեն փոխմիարժեք կերպով (այսինքն, ***համարժեքորեն****) ներկայացնել բազմաթիվ եղանակներով, այդ թվում նաև առանցքների վրա OA հեռավորության երեք ստվերների՝ պրոյեկցիաների միջոցով: Այս պրոյեկցիաները հեռավորություն են, որոնց չափելը գիտենք: Ուստի անկյունները չափելը սկզբունքային առումով նոր ոչինչ չի տա: Բայց, որպեսզի մաթեմատիկորեն համարժեք այդ երկու եղանակները ֆիզիկայում կիրառվեն, դրանք պետք է* ***համարժեք լինեն նաև ֆիզիկորեն:*** *Վերջինս ոչ մի տրամաբանական կամ փորձնական հիմք չունի, ուստի այն լոկ վարկած է, որը ստուգման կարիք ունի գիտափորձով: Փորձենք այս պարզագույն ու անէական թվացող հանգամանքն ավելի մանրամասնել: Նկ. 1-ում պատկերված է երկրաչափական տարածությունը: O-ն սկզբնակետն է, OX, OY և OZ առանցքներն են, OB, OD և OF OA հատվածի ստվերներն են այդ առանցքների վրա: A կետի դիրքը ներկայացնենք OA հեռավորությամբ և* $\overrightarrow{OA}$ *ուղղությամբ (և անվանենք* $\overrightarrow{OA}$ *ուղղորդված հատված), կամ էլ, OB, OD և OF ստվերներով, կամ էլ OC և CA ստվերներով և այլն: Եթե G կետը OA հատվածով O-ից տեղափոխենք A, ապա նրա* G_x, G_y *և* G_z *ստվերները կտեղափոխվեն B, D և F կետերը, կամ որ երկրաչափորեն նույնն է, եթե G-ն տեղափոխվի O-ից B, B-ից D և D-ից A, համարժեք է O-ից A կետ տեղափոխվելուն: Այստեղ ժամանակի գործոնը հաշվի չի առնվում: Իսկ ֆիզիկորեն այդ համարժեքությունը նշանակում է, որ միևնույնն է, G* *կետը O-ից A կտեղափոխվի, թե՞ G_x, G_y և G_z կետերն առանցքներով* ***միաժամանակ*** *կտեղափոխվեն B, D և F կետերը: Միայն փորձով կարող ենք որոշել, թե ֆիզիկորեն դրանք համարժե՞ք են, թե՝ ոչ:*

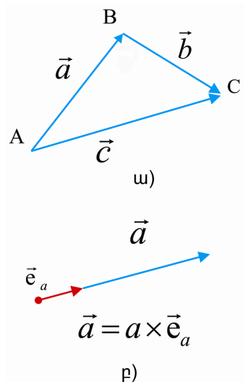


Նկար 2

Գիտափորձի նպատակն է լինելու ստուգել, իրար հետ կապվա՞ծ են, թե ոչ, միևնույն մարմնի տարբեր ուղղությամբ շարժումները: Վերցնենք երկու գնդիկներ (նկ. 2) և կատարենք **ստրոբոսկոպիկ** չափում. ամեն τ ժամանակահատված հետո չափենք գնդիկների դիրքը: Փորձը ցույց է տալիս, որ երկու գնդիկներն էլ ուղղաձիգ ուղղությամբ միևնույն օրինաչափությամբ են շարժվում, չնայած աջ գնդիկը լոկ ուղղաձիգ է շարժվում, իսկ ձախակողմյանը միաժամանակ նաև հորիզոնական ուղղությամբ է շարժվում: Եզրակացնում ենք, որ ձախ գնդիկը միաժամանակ կատարում է երկու ուղղություններով շարժումներ **միմյանցից անկախ**: Շատ այլ փորձերով համոզվում ենք, որ ճշմարիտ է այդ վարկածի պնդումն, ուստի այն արդեն որպես շարժումն ուսումնասիրելու սկզբունք՝ ***շարժման անկախության*** **սկզբունքը,** ըստ որի **ամեն շարժում կարելի է համարժեքորեն համարել տարբեր ուղղություններով միաժամանակ կատարվող շարժումների արդյունք՝ հանրագումար:** Նկ. 2-ի պարաբոլը գնդիկի ուղղաձիգ ու հորիզոնական շարժումների գումար-շարժումն է ժամանակի ցանկացած պահի:

Քանի որ կետի դիրքը ներկայացնում ենք երեք մեծությունների հանրույթով (երկարություն և երկու անկյուններ կամ երեք պրոյեկցիաներ և այլն), դրանց համար պետք է սահմանել մաթեմատիկական գործողություններ:

Այդ նպատակով դատենք հետևյալ կերպ: Եթե մարմինը A կետից տեղափոխվել է B կետ τ_1 ժամանակում, այնտեղից էլ τ_2 ժամանակում՝ C կետ, ապա դա պետք է լինի նույնական $\tau_3 = \tau_1 + \tau_2$ ժամանակում A-ից C տեղափոխվելու հետ: Սակայն այդ դեպքում կխախտվի հեռավորություններիրի գումարման սովորական կանոնը, քանի որ AB + BC > AC ըստ եռանկյան հատկության (նկ. 3ա-ում հատվածի ծայրի սլաքը ուղղված է սկզբի կետից դեպի վերջին կետ): Հետևաբար, ուղղորդված օբյեկտների համար պետք է գումարման նոր սահմանում տանք: Այդ պայմանը կբավարարվի, եթե, ինչպես պատկերված է նկ. 3ա-ում, **AB և BC ուղղորդված հատվածների գումար համարենք հենց AC ուղղորդված հատվածը: Այդպիսի ուղղորդված հատվածները անվանենք վեկտորներ, գումարումն էլ՝ վեկտորական (նաև երկրաչափական կամ էլ՝ գումարում եռանկյան կանոնով):**



Նկար 3

Եթե $\overrightarrow{AC}$ վեկտորը բազմապատկենք **n** սովորական թվով, ապա կստանանք մի նոր $\overrightarrow{AC_1}$ վեկտոր, որը կունենա $\overrightarrow{AC}$-ի ուղղությունը, իսկ երկարությունը **n** անգամ կմեծանա, եթե **n > 1**, և n անգամ կփոքրանա, եթե **n < 1,** իսկ **n = 1** դեպքում էլ կմնա նույնը (այս դեպքում կասենք, որ $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AC_1}$): Վեկտորները կնշանակենք լատինական փոքրատառերով՝ գլխին սլաքով, իսկ առանց սլաքի նույն տառով կնշանակենք այդ նույն վեկտորի մեծությունը (երկարությունը):

$\vec{a}$ ուղղությամբ վեկտորը կոչվում է միավոր վեկտոր (որը նշանակենք $\vec{e}_a$-ով), եթե նրա մեծությունը հավասար է 1-ի: Յանկացած $\vec{a}$ վեկտոր կարելի է ներկայացնել իր a երկարության ու իր ուղղությամբ $\vec{e}_a$ միավոր վեկտորի արտադրյալով (նկ. 3բ)՝

$$\vec{a} = a \cdot \vec{e}_a \ : \qquad (1)$$

Այսպիսով, **վեկտորներն այն օբյեկտներն են, որոնք բնութագրվում են մեծությամբ, ուղղությամբ և ենթարկվում են գումարման եռանկյան կանոնին:** Հաջորդ պարագրաֆում կբերենք վեկտորների համարժեք այլ սահմանումներ, քանի որ վեկտորները շատ լայն կիրառություն ունեն ֆիզիկայում: Կարևոր է որ նյութական կետի տարածական դիրքը կարելի է ներկայացնել $\vec{r}(t)$ շառավիղ-վեկտորով, որը կոորդինատական համակարգի սկզբնակետը միացնում է t պահին նյութական կետի դիրքի հետ: Շառավիղ-վեկտորը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է՝ կախված մարմնի դիրքի փոփոխությանից՝ շարժումից, իսկ $\vec{r}(t)$ ֆունկցիան կոչվում է **շարժման օրենք** և ներկայացնում է շարժման տարածաժամանակային հատկությունները:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք մատերիայի շարժումներից ո՞րն է մեխանիկականը:
2. Հասկացա՞ք շարժման անկախության սկզբունքի անհրաժեշտությունը:
3. Ընկալեցի՞ք, թե շարժման ո՞ր հատկությունն է խթանում վեկտորական մեծությունների ներմուծումը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1*. Վերծանե՛ք կապը շարժման անկախության սկզբունքի և վեկտորական մեծությունների ներմուծման միջև:

2. Ինչո՞ւ ենք վեկտորների համար գումարման նոր կանոն սահմանում:

3. Սահմանե՛ք վեկտորի մեծությունը (երկարությունը), ուղղությունը, միավոր վեկտորը, ստվերը (պրոյեկցիան):

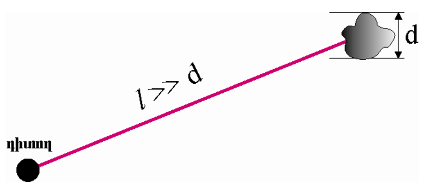
4*. Փորձեք կապ գտնել վեկտորը թվով բազմապատկելու և երկրաչափությունից ձեր իմացած պատկերների նմանության միջև:

5*. Ինչպե՞ս համեմատել վեկտորները: Ե՞րբ են վեկտորները կոչվում հավասար: Կարե՞լի է, և ե՞րբ, պնդել, թե $\vec{a} > \vec{b}$:

§5. Մեխանիկական շարժման նկարագրությունը

Նախորդ բաժնում սահմանեցինք մեխանիկական շարժումը որպես ժամանակի ընթացքում մարմնի դիրքի փոփոխություն տարածության մեջ: Դրանից անկախ էլ ներմուծեցինք կետի դիրքն ու դիրքի փոփոխությունը տարածության մեջ ներկայացնելու համար շատ հարմար մեծության՝ վեկտորի գաղափարը: Մյուս կողմից տեսնում ենք, որ իրական մարմինը ոչ թե կետ, այլ շատ կետերի հանրույթ է, որոնք միաժամանակ տարբեր դիրքեր են զբաղեցնում: Ուստի մարմնի որևէ կետի դիրքը ներկայացնելով չենք կարող միարժեքորեն որոշել մյուս բոլոր կետերի դիրքերը: Ենթադրենք մարմնի որևէ կետ գտնվում է սկզբնակետում: Կարո՞ղ ենք որոշել, դա ի՞նչ ձևի մարմին է, որտե՞ղ են գտնվում նրա մյուս կետերը: Բնավ ոչ: Այստեղ պետք է մշակել նոր մոտեցում:

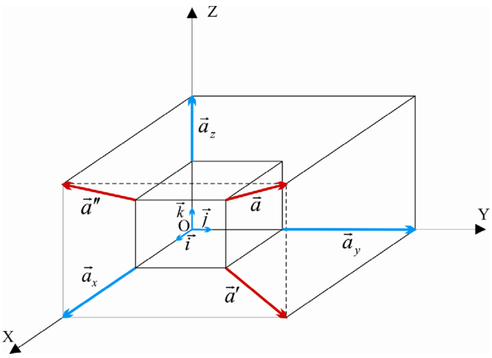
Դատենք այսպես: Մարմինները նկարագրվում են (և իրարից տարբերվում են) նյութական և երկրաչափական բնութագրերով: Նյութականը կներկայացնենք նյութի տեսակով ու քանակով (ասենք, պղինձ, 9 կգ), իսկ երկրաչափականը՝ իր չափերով (երկարություն, մակերես, ծավալ) և իր բազմապիսի ձևերով: Հենց այս բազմապիսի ձևերն են մակածում դժվարություններ: Փակուղուց դուրս գալու համար մտացածին մի «աղյուսիկ-մարմնի»՝ **նյութական կետի** համար մշակենք մեխանիկական երևույթների ուսումնասիրման եղանակ, որը կընդհանրացնենք կամայական մարմնի համար՝ այն դիտելով նյութական կետերի հանրույթ: Այսօրինակ դատողությունը ֆիզիկայում (և ոչ միայն) շատ է կիրառվում, միայն փոխվում է «աղյուսիկը», որից պահանջվում է որոշակիորեն լինել համընդհանուր:



Նկար 1

Ֆիզիկայում անվերջ փոքր մարմնի գոյությունն իրատեսական չէ, ուստի մենք մոտավոր, *տվյալ պայմանների համար* միայն կսահմանենք նյութական կետը: Մարմնի մի մասի շարժումը մյուս մասի նկատմամբ փոխում է նրա երկրաչափական ձևը և չափերը: *Անվանենք **նյութական կետ** այն մարմինը, որի շարժումը դիտարկելիս նրա ձևի փոփոխությունը տվյալ դի-*

պողի համար արհամարհելի է, այսինքն, այդ մարմնի ամենամեծ d չափը (առավել ևս նրա փոփոխությունը) արհամարհելի փոքր է դիտողից ունեցած l հեռավորության նկատմամբ $d \ll l$ (նկ. 1): Հենց որ այդ պայմանը խախտվի, մարմինը նյութական կետ չի համարվի: Այսպիսով, ըստ սահմանման, նյութական կետի գաղափարը հարաբերական է, քանի որ կախված է նաև դիտողից ունեցած հեռավորությունից: Դա պարզաբանենք գեղասահորդի օրինակով: Ծատ հեռվից, ասենք ուղղաթիռի օդաչուի համար, նա մի փայլուն շարժվող կետ է, նույնիսկ նրա սեռը հնարավոր չէ պարզել, առավել ևս նրա ձևի փոփոխությունը դիտել: Ուստի օդաչուի համար գեղասահորդը նյութական կետ է: Իսկ մրցավարը գնահատում է հատկապես ձևի փոփոխությունը. քա՞նի պտույտ արեց, ինչպիսի՞ն էր ոտքերի բացվածքը, շարժումները երաժշտությանը համահո՞ւնչ են և այլն: Ուստի մրցավարի համար գեղասահորդը բնավ նյութական կետ չէ: Երբեմն սխալմամբ նյութական կետ են համարում այն մարմինը, որի չափերն արհամարհելի են նրա անցած ճանապարհի երկարության համեմատ: Գեղասահորդը սահադաշտում անշարժ լինի, թե հազարավոր պտույտ անի և անցնի տասնյակ կիլոմետր ճանապարհ, միևնույնն է, նա դատավորի համար բնավ նյութական կետ չէ, իսկ օդաչուի համար միշտ նյութական կետ է:



Նկար 2

Կարևոր է նշել, որ մեր սահմանած նյութական կետը որոշ ճշտությամբ նաև կարելի է նույնացնել տարածության կետի հետ, որի կոորդինատներն էլ հենց կվերագրենք նյութական կետին: Դա նաև հիմնավորում է վեկտորների օգտագործումը:

Սակայն §4նկ.3-ում մեր բերած վեկտորների սահմանումը հարմար չէ **սևեռված** *դիրքով քանոններով (այն է, կոորդինատական առանցքների միավորներով) չափելու համար: Ուստի մեր տված նախկին սահմանումը վերաձևակերպենք համարժեք, բայց ավելի հարմար սահմանման: Ինչպես բխում է նկ. 2-ից, ցանկացած $\vec{a}$ վեկտոր կարելի է դիտել որպես իր բաղադրյալ $\vec{a}_x = a_x \cdot \vec{\imath}$, $\vec{a}_y = a_y \cdot \vec{\jmath}$, $\vec{a}_z = a_z \cdot \vec{k}$, վեկտորների գումար, որտեղ a_x, a_y և a_z թվերը կոչվում են $\vec{a}$ վեկտորի ուղղահայաց ստվերներ (պրոյեկցիաներ), որոնց մեծությունները կարող են չափվել OX, OY և OZ քանոններով (այն է՝ $\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$ միավոր վեկտորներով), իսկ նշանները կհամարենք դրական, եթե $\vec{a}$ վեկտորի սկզբնակետի ստվերից դեպի ծայրակետի ստվերի ուղղությունը համընկնում է առանցքի դրական ուղղության հետ, հակառակ դեպքում կհամարենք բացասական: Սա նշանակում է, որ եթե (a_x, a_y, a_z) թվախումբը կարգավորենք այնպես, որ առաջին թիվը ցույց տա վեկտորի ստվերը OX-ի վրա, երկրորդը՝ OY-ի և երրորդը՝ OZ-ի վրա, ապա ամեն վեկտոր կներկայացվի մի թվախմբով և ամեն թվախումբ կներկայացնի մի վեկտոր: Եթե համապատասխան ձևով սահմանենք թվախմբերի հետ կատարվող հանրահաշվական գործողություններ, ապա ըստ այդ սահմանման կարելի է տալ վեկտորների նոր սահմանում.* ***պրոյեկցիաների կարգավորված հանրույթները՝ կարգավորված թվախմբերը կոչվում են վեկտորներ, եթե նրանց գումարումը և թվով բազմապատկումը կատարվում է ըստ բաղադրիչների, այսինքն, եթե*** $\boldsymbol{\vec{a} \equiv (a_x, a_y, a_z), \vec{b} \equiv (b_x, b_y, z), \quad \vec{c} \equiv (c_x, c_y, c_z), \quad \vec{d} \equiv (d_x, d_y, d_z)}$, *ապա համարժեք առնչություններ են.*

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c} \leftrightarrow \begin{cases} a_x + b_x = c_x \\ a_y + b_y = c_y \\ a_z + b_z = c_z \end{cases} \qquad (1)$$

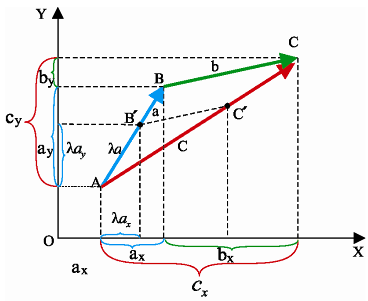
$$\mu . \vec{a} = \vec{d} \leftrightarrow \begin{cases} \mu \cdot a_x = d_x \\ \mu \cdot a_y = d_y \\ \mu \cdot a_z = d_z \end{cases} \qquad (2)$$

Ցույց է տրվում (տե՛ս խնդրի լուծման օրինակը), որ վեկտորի այս սահմանումը համարժեք է նախորդ բաժնում բերված սահմանմանը, սակայն հարմար է նրանով, որ միևնույն երեք փոխուղղահայաց տեղադրված քանոններով կարող ենք չափել բոլոր վեկտորների բաղադրիչները, ուստի և դրանց մեծությունները ու ուղղությունները:

Խնդրի լուծման օրինակներ:

Խնդիր 1: Ապացուցել, որ §4-ում բերված վեկտորների գումարման եռանկյան կանոնը և **(2) կանոնը** համարժեք են:

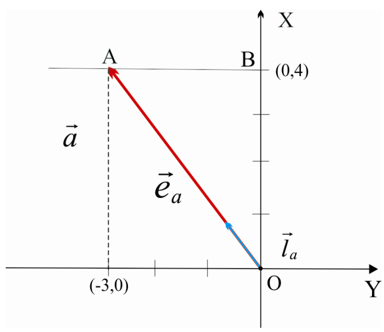
Լուծում: Համարժեք լինելը նշանակում է վեկտորների գումարման եռանկյան կանոնից կբխի (2) պայմանը, իսկ (2) պայմանից էլ կբխի վեկտորների գումարման եռանկյան կանոնը: Ապացուցման համար երկու կանոնն էլ ներկայացնենք գրաֆիկորեն (x , y) հարթության վրա (պարզության համար դիտենք երկչափ դեպքը): Ապացույցը ակնհայտ է նկ. 3-ից:



Նկար 3

Խնդիր 2: Գտնել $\vec{a}$ = (-3, 4, 0) վեկտորի ուղղությամբ միավոր վեկտորը:

Լուծում: Քանի որ $a_z = 0$, ապա կառուցենք $\vec{a}$ = (-3, 4, 0) վեկտորը (x , y) հարթության վրա, ինչպես նկ.4-ում: Վեկտորի երկու սահմանումների համարժեքության հիման վրա AOB եռանկյունից ըստ Պյութագորասի թեորեմի կհաշվենք վեկտորի a երկարությունը՝ $a = \sqrt{(-3)^2 + 4^2} = 5$: Քանի որ $\vec{a}$ = (-3, 4, 0) վեկտորի ուղղությամբ միավոր $\vec{e_a}$ վեկտորի երկարությունը պետք է լինի 1, ապա, ըստ (2)-ի, պետք է $\vec{a}$ = (-3, 4, 0) վեկտորը բաժանենք 5-ի վրա:



Նկար 4

Կստանանք $\vec{e_a} = (-\frac{3}{5}, \frac{4}{5}, 0)$:

Ինքնաստուգման հարցեր.

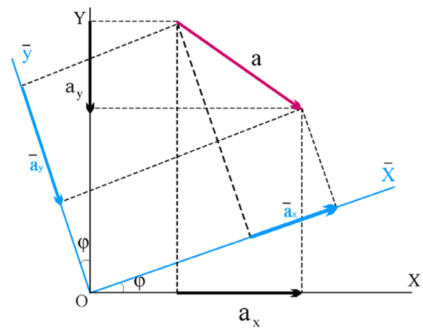
1. Ըմբռնե՞լ եք, թե ինչո՞ւ ենք ներմուծում նյութական կետի գաղափարը:
2. Հասկացե՞լ եք, թե ինչո՞ւ է նյութական կետի գաղափարը հարաբերական:
3*. Հասկացե՞լ եք, ինչ է կարգավորված թվախումբը:
4*. Յուրացրե՞լ եք վեկտորների սահմանումը բաղադրիչներով (հանրահաշվական սահմանումը) և նրա նշանակությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Բացատրե՛ք նյութական կետի գաղափարի հարաբերական բնույթը:
2. Ինչպիսի՞սի վեկտոր կստացվի երեք միավոր վեկտորների գումարումից:
3. **Խմբային առաջադրանք:** Հիմնավորեք, թե ինչո՞ւ է փղի վրա չգտնվող դիտորդի համար փղի մեջքին շարժվող միջատը նյութական կետ:
4*. Տրված են $\vec{a} = (3, 1, 3)$ և $\vec{b} = (2, 3, 4)$ վեկտորները: Կազմե՛ք $(\vec{a} \pm \vec{b})$ վեկտորները և բազմապատկեք 5-ով: Արդյունքը համեմատե՛ք (15, 5, 15) ± (10, 15, 20) վեկտորների հետ:
5*. Գումարե՛ք $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ միավոր վեկտորներն ըստ վեկտորների երկու սահմանումների:

§6. Մեխանիկական շարժման նկարագրությունը (շարունակություն)

Վեկտորների հանրահաշվական սահմանումը թերորոշ է թողնում սուբյեկտիվ մի հարց. տվյալ վեկտորի բաղադրիչների արժեքները կախված են կոորդինատական առանցքների (ուստիև քանոնների) ուղղությունների ընտրությունից: Թվում է, դա օգտակար չէ, սակայն դա հենց վեկտորների ևս մի հիանալի հատկությունն է. վեկտորների բաղադրիչների կախվածությունը կոորդինատական առանցքների ընտրությունից վեկտորներին դարձնում է ֆիզիկայի համար խիստ մեծարժեք մեծություններ: Դա ակնառու բխում է նրանից, որ կոորդինատական համակարգի ձևափոխման դեպքում կետի կոորդինատները և վեկտորի բաղադրիչները փոխվում են միևնույն օրենքով:



Նկար 1

Իրոք, նկ. 1-ից ակնհայտ է.

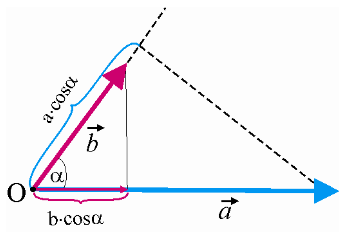
$$\begin{cases} \tilde{x} = x\cos\varphi - y\sin\varphi \\ \tilde{y} = x\sin\varphi + y\cos\varphi \end{cases} \qquad (1)$$

$$\begin{cases} \tilde{a}_x = a_x \cos\varphi - a_y \sin\varphi \\ \tilde{a}_y = a_x \sin\varphi + a_y \cos\varphi \end{cases} \qquad (2)$$

Կարելի է ցույց տալ, որ (2) ձևափոխությունները միաժամանակ բովանդակում են նաև վեկտորների գումարման օրենքը: Ուստի վեկտորները կարելի է սահմանել նաև հետևյալ կերպ. ***Վեկտորներ են կոչվում այն բազմաբաղադրիչ մեծությունները, որոնց բաղադրիչները կոորդինատական համակարգի տեղաշարժի և պտտման դեպքում ձևափոխվում են այնպես, ինչպես իրենք՝ կոորդինատները:*** Այս սահմանումից բխում է, որ **վեկտորական հավասարումն իր տեսքը պահպանում է կոորդինատական համակարգի ձևափոխության դեպքում:** Սա կարևոր է նրանով, որ *վերացնում է կոորդինատական առանցքների ընտրությամբ պայմանավորված*

սուբյեկտիվությունը *ֆիզիկայի օրենքը վեկտորական հավասարումով ներկայացվելու դեպքում:*

Ի լրումն ասենք, որ կան մեծություններ, որոնք կախված չեն կոորդինատական համակարգի ընտրությունից, որոնց անվանում են **սկալյար** մեծություններ: Օրինակ, նյութի քանակը մարմնում սկալյար է, քանի որ կախված չէ նրանից, թե ո՞ր համակարգում ենք այն դիտում, կամ ինչպե՞ս են ուղղված կոորդինատական առանցքները, կամ էլ ինչպե՞ս է ձևափոխվում կոորդինատական համակարգը: Սկալյար են նաև ժամանակամիջոցը, հեռավորությունը, սկալյարներով կազմված մեծություններն ու արտահայտությունները և այլն: Ֆիզիկայում անհրաժեշտ է լինում վեկտորական մեծություններով ուրիշ վեկտորական ու սկալյար մեծություններ կառուցել: Այդ կապակցությամբ սահմանենք վեկտորների հետ ևս երկու գործողություն:



Նկար 2

$\vec{a}$ *և* $\vec{b}$ վեկտորների $(\vec{a},\vec{b})$ **սկալյար արտադրյալ** կանվանենք դրանց երկարությունների և դրանցով կազմված անկյան կոսինուսի արտադրյալը (նկ. 2)

$$(a,b) \equiv a\cdot b\cdot \cos\alpha = a\cdot \text{պր}_a\cdot b = b\,\text{պր}_b\cdot a \qquad (3)$$

Կամ որ նույնն է՝

$$(a,b) = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z\text{:} \qquad (3`)$$

Համեմատելով (3) և (3`) բանաձևերը, տեսնում ենք, որ սկալյար արտադրյալը թույլատրում է գտնել վեկտորների երկարություններն իրենց բաղադրիչներով

$$a = \sqrt{(a\cdot a)} = \sqrt{a^2} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \qquad (4)$$

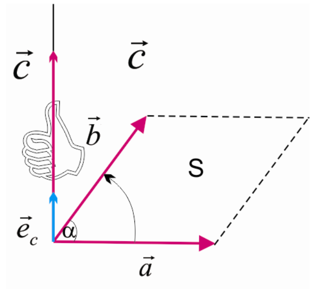
և նաև նրանցով կազմված անկյունը

$$\varphi = arccos\frac{(\boldsymbol{ab})}{ab} = \frac{a_{xb_x}+a_{yb_y}+a_{zb_z}}{\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}\cdot\sqrt{b_x^2+b_y^2+b_z^2}} \qquad (5)$$

$\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորների $\vec{a}\times\vec{b}\equiv[\vec{a},\vec{b}]$ ***վեկտորական արտադրյալ*** *կանվանենք այն $\vec{c}$ վեկտորը (նկ. 3), որի մեծությունը հավասար է այդ վեկտորներով կազմված զուգահեռագծի մակերեսին,*

$$c = a \cdot b \cdot \sin\alpha \qquad (6)$$

և ուղղված է այդ զուգահեռագծի հարթությանը ուղղահայաց այնպես, որ եթե աջ ձեռքի մատները փակվեն $\vec{a}$-ից դեպի $\vec{b}$ ուղղությամբ, ապա բացված բութ մատը ցույց կտա $\vec{c}$ վեկտորի ուղղությունը:

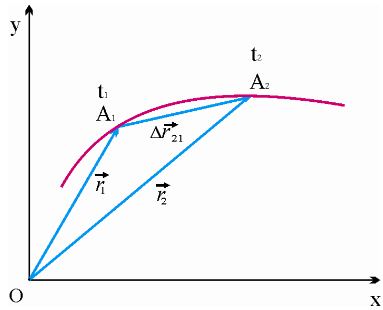


Նկար 3

Սա կոչվում է աջ ձեռքի (բութ մատի) կանոն: Վեկտորական արտադրյալը ևս արտահայտվում է վեկտորների բաղադրիչներով, սակայն սույն դասընթացում այն չենք գործածելու, ուստի չենք նկարագրի:

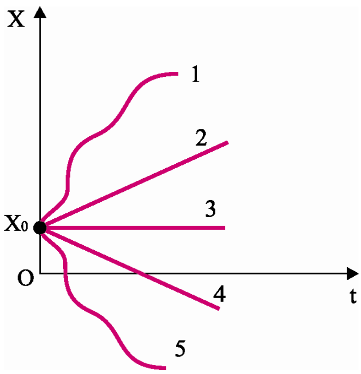
Այսպիսով, եթե տրված է որևէ մարմին, ապա մենք կարող ենք նրան ամրացնել զանազան կոորդինատական համակարգեր, կարևոր չէ որ մեկը, և օգտագործելով հանրահաշվի և վեկտորական հաշվի մաթեմատիկական ապարատը, ներկայացնել **նյութական կետի շարժման օրենքը, այսինքն, շառավիղ-վեկտորի կախումը ժամանակից:** Շարժման օրենքի գտնելը համարվում է մեխանիկայի հիմնական խնդիրը, քանի որ նա նկարագրում է շարժման տարածաժամանակային (ասում են՝ կինեմատիկական) բոլոր հատկությունները: Այստեղ ներկայացնենք շարժման բնութագրական մի քանի հասկացություններ:

Դիցուք ժամանակի ինչ-որ պահի նյութական կետը գտնվում է տարածության որևէ կետում և ժամանակի հաջորդական ամեն պահի տեղափոխվում է մի նոր կետ, որը հանդիսանում է նյութական կետի շառավիղ-վեկտորի ծայրակետն այդ պահին: *Նյութական կետի շառավիղ-վեկտորի ծայրակետերի երկրաչափական տեղը կոչվում է նրա* ***շարժման հետագիծ***: Այսինքն, տարածության այն կետերի բազմությունն է, որոնցով ժամանակի ընթացքում անցնում է նյութական կետը: **Հետագիծը** ոչ քանակական **երկրաչափական հասկացություն է**, որը նկարագրում է շարժման ձևն ու տեսքը և կախված է հաշվարկի համակարգի ընտրությունից: Ոչ նյութական կետ համարվող մարմինը չունի հետագիծ, քանի որ նա նյութական կետերի հանրույթ է, որի տարբեր կետեր ունեն ընդհանուր առմամբ տարբեր հետագծեր:



Նկար 4

Նկ. 4-ում պատկերված է նյութական կետի հետագիծը XOY հարթության մեջ: Ենթադրենք նյութական կետը գտնվում է ժամանակի t_1 պահին $\vec{r_1}$ շառավիղ-վեկտորով ներկայացված A_1 կետում, t_2 պահին՝ A_2 կետում: $t_2 - t_1 = \Delta t_{12}$ ժամանակամիջոցում նյութական կետի **անցած ճանապարհը** հետագծի A_1 և A_2 կետերով պարփակված մասի երկարությունն է, իսկ կատարած տեղափոխության վեկտորը (այսուհետ տեղափոխությունը) շառավիղ-վեկտորի փոփոխությունն է՝ $\Delta\vec{r}_{12} = \vec{r_2} - \vec{r_1}$: Ի տարբերություն հետագծի, որը մեծություն չէ, նյութական կետի անցած ճանապարհը *սկալյար* մեծություն է, իսկ տեղափոխությունը *վեկտորական* մեծություն է և երկուսն էլ ունեն երկարության չափողականություն: Հաճախ անցած ճանապարհը տեղափոխության երկարության հետ շփոթում են: Դա կոպիտ սխալ է: Օրինակ, ենթադրենք կետի հետագիծը շրջանագիծ է, որը շոշափում է սկզբնակետը: Շարժումը սկսելու պահից ամեն լրիվ պտույտից հետո շառավիղ-վեկտորն ու նրա երկարությունը դառնում են զրո, իսկ անցած ճանապարհն ամեն պտույտից հետո ավելանում է շրջանագծի երկարության չափով:

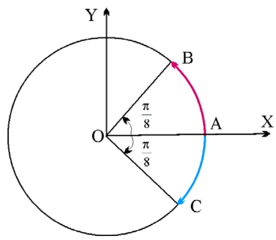


Նկար 5

Շարժման գլխավոր նկարագիրը՝ շարժման օրենքը, բացի բանաձևային ներկայացումից, կարելի է ներկայացնել նաև գրաֆիկորեն, որի համար շատ հարմար է կոորդինատական եղանակով ներկայացումը: Իրոք, $\vec{r}(t)$ վեկտորական կախման փոխարեն ավելի հարմար է երեք սկալյար կախումների՝ x(t), y(t) և z(t), գրաֆիկները կառուցել ու քննարկել, ինչպես ցուցադրված է նկ. 5-ում, որտեղ 1 և 2 կորերը x_0 կետից OX առանցքի ուղղությամբ շարժում է ներկայացնում, 3 կորը՝ x_0 կետում անշարժ վիճակ, իսկ 4 և 5 կորերը՝ շարժում OX-ի հակառակ ուղղությամբ:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: Երկու նյութական կետեր O կենտրոնով շրջանագծի A կետից (նկ. 6) միաժամանակ շարժվում են հակառակ ուղղություններով և հասնում B և C կետերը՝ յուրաքանչյուրը կատարելով $\frac{\pi}{8}$ ռադիան պտույտ: Պահանջվում է գտնել դրանց շառավիղ-վեկտորների և կոորդինատների կապը:



Նկար 6

Լուծում: Չնականորեն կարող ենք (2) ձևափոխությունների հիման վրա գտնել կետերից յուրաքնչյուրի շառավիղ-վեկտորները ու կոորդինատները, որից հետո որոշել դրանց կապը: Դա բավականին աշխատատար և ոչ դյուրին գործընթաց է, ուստի, ինչպես ֆիզիկայում են սովորաբար վարվում, առաջնորդվենք այլ դատողությամբ: Ակնառու է, որ երկու կետերը միմյանց նկատմամբ պտտվել են $\frac{\pi}{4}$ ռադիանով, ուստի ըստ (2)-ի միանգամից կարող ենք գրել. $\tilde{x} = x\frac{\sqrt{2}}{2} - y\frac{\sqrt{2}}{2}$, $\tilde{y} = x\frac{\sqrt{2}}{2} + y\frac{\sqrt{2}}{2}$ և $\vec{\tilde{r}} = \sqrt{2}\,(\vec{r} - \vec{i}y)$:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք, թե ի՞նչ է նշանակում կոորդինատական առանցքների ուղղության ընտրությունը:
2. Գիտե՞ք ինչ է կոորդինատական համակարգի պտույտը:
3. Ըմբռնե՞լ եք վեկտորների ձևափոխական հատկությունների հիման վրա բերված այս նոր սահմանման իմաստն ու նշանակությունը:
4. Ընկալե՞լ եք հետագծի հասկացության իմաստը:

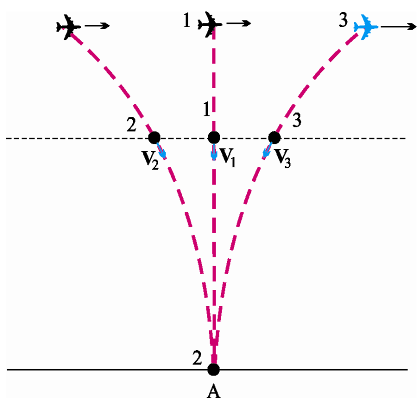
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Սահմանե՛ք շարժումը նկարագրող կարևոր հասկացությունները:
2. Գտնել $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ միավոր վեկտորների զույգ առ զույգ սկալյար արտադրյալները և մեկնաբանել դրանց իմաստը:

3*. $\frac{\pi}{4}$ ռադիան անկյունով ժամ սլաքի ուղղությամբ պտտված համակարգում շառավիղ-վեկտորի կոորդինատներն արտահայտեք չպտտված համակարգի կոորդինատներով:

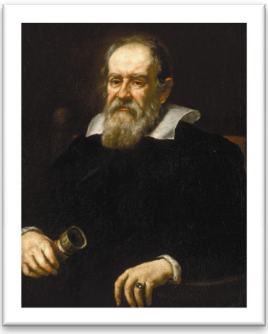
§7. Մեխանիկական շարժման հարաբերականությունը: Մեխանիկական շարժումների դասակարգումը

Մինչ այժմ, ուղղակի, թե անուղղակի, ենթադրել ենք, որ կա դիտորդ, ըստ որի էլ ներկայացրել ենք մեխանիկական շարժումը: Սակայն իրեն՝ դիտորդին չենք ներկայացրել, ոչինչ չենք ասել նրա շարժման վիճակի մասին: Դա բավարար և ընդունելի կլիներ միմիայն այն դեպքում, երբ դիտարկման առարկան (մեխանիկական շարժումը, շարժումը նկարագրող մեծությունները և դրանց չափումները) կախված չեն դիտողի բնութագրիչներից: Սակայն դա տեղի չունի, ինչում դժվար չէ համոզվել բազում փորձերով: Նկ. 1-ում ներկայացված է ինքնաթիռից ընկած փոքր



Նկար 1

ծանր գնդիկի շարժումը ըստ տարբեր դիտորդների: Օդաչուն (թիվ 1 դիտորդը) կպնդի, որ գնդիկն ընկել է ուղղաձիգ ներքև, A կետը: Գետնին կանգնած մարդը (թիվ 2 դիտորդը) կպնդի, որ գնդիկը ընկել է A կետ պարաբոլով: Ինքնաթիռից արագ թռչող 3-րդ ինքնաթիռի օդաչուն (թիվ 3 դիտորդը) կպնդի, որ գնդիկը կընկնի պարաբոլով, բայց հակառակ ուղղությամբ: Իսկ գնդիկին անշարժ կպած մանրէի կարծիքով գնդիկը և ինքը անշարժ են, սակայն ինքնաթիռը ուղղաձիգ ուղղությամբ հեռանում է գնդիկից, իսկ A կետը պարաբոլով մոտենում է: Նրանց չափումները ցույց կտան, որ նույնն են մի-



Գալիլեյ Գալիլեո (1564 - 1642)

Իտալացի նշանավոր ֆիզիկոս և աստղագետ: Նա առաջինն է կիրառել բնության հետազոտման փորձնական մեթոդը: Հայտնաբերել է մարմնի անկման և իներցիայի օրենքները: Ստեղծել է դիտախողովակ, դրանով կատարել աստղագիտական դիտումներ: Նա առաջինն է մեխանիկայում ձևակերպել հարաբերականության սկզբունքը:

այն ժամանակի ամեն պահին գնդիկի բարձրությունը գետնից և արագացումն, իսկ մնացած մյուս բոլոր պարամետրերը տարբեր են: Ուստի մեխանիկական շարժում դիտարկելիս նախ պետք է նշել, թե ո՞ր մարմնի (դիտորդի) նկատմամբ է շարժումը ներկայացվում, քանի որ շարժման նկարագիրը կախված է հենց դրանից, այսինքն, ***մեխանիկական շարժումն ունի հարաբերական բնույթ,*** շարժումը դիտվում, իմաստավորվում է ինչ-որ մի այլ մարմնի հարաբերությամբ, նկատմամբ: Այն մարմինը, որի նկատմամբ դիտարկվում է շարժումը, կոչվում է **հաշվանքի մարմին**: Հաշվանքի մարմինը, որը կահավորված է տարածական և ժամանակային մեծություններ չափելու միջոցներով (քանոններով ու ժամացույցով), կոչվում է **հաշվարկի համակարգ**: Ըստ էության հաշվարկի համակարգը որևէ մարմին է, որին ամրացված են կոորդինատական համակարգ ու ժամացույց: Ինչքան ասես այդպիսի համակարգեր կան, բայց չկա առանձնացվող, ***բացարչակ համակարգ:*** Ուստիև հարցեր են ծագում. ո՞ր հաշվարկի համակարգն ընտրենք, ի՞նչ հայտանիշով և այդ ընտրած համակարգում ինչպե՞ս նկարագրենք շարժումը:

Ֆիզիկայում հաճախ դիտարկում են պարզեցված, մտացածին և իդեալական մոդել, որը լրացնում են, զարգացնում՝ մոտեցնելով իրականին: Այստեղ ներմուծենք մի գաղափար, որը բոլոր համակարգերից առանձնացնում, բացարձակացնում է մեկին, որպեսզի բոլոր այլ մարմինների շարժումները և բոլոր մյուս համակարգերը նրանով ներկայացնենք: **Ենթադրենք** գոյություն ունի այնպիսի մարմին, որը զերծ է մյուս բոլոր հնարավոր մարմինների ազդեցությունից ու նրանց հետ փոխազդելուց, այսինքն, անվերջ հեռացված, մեկուսացված է բոլորից: Այդպիսի մարմինն անվանենք **ազատ շարժվող** կամ **չեզոք (իներտ) մարմին**, իսկ նրան ամրացված հաշվարկի համակարգը կոչենք **իներցիալ համակարգ**: Եթե իներցիալ համակարգում կա որևէ մարմին, որի վրա այլ ազդեցություններ չկան, ապա այդ մարմինը ևս կլինի չեզոք և իր ազատ շարժման վիճակը կպահպանի, չի փոխի: Ուստի նրան ամրացված համակարգը ևս կկոչվի իներցիալ: Այդ մարմինն իր շարժման վիճակը նույնությամբ կպահպանի նաև այն դեպքում, երբ նրա վրա լինեն ազդեցություններ, բայց համակշռված:

Առայժմ չգիտենք, կա՞ն, թե ոչ այդպիսի մարմիններ, ուստի որպես վարկած, ենթադրենք, որ կան: Գ. Գալիլեյը բազմաթիվ դիտումներից եզրակացրեց, որ բոլոր իներցիալ համակարգերը համարժեք են, ունեն հավասար իրավունքներ: Այդ վարկածը ստուգելու համար կատարենք Գալիլեյի մտացածին փորձը: Ենթադրենք հանդարտ լճակում ունենք մի մեծ ծանր նավ, որում կա փակ պատուհաններով փորձասրահ, այսինքն, չկա կապ արտաքին աշխարհի հետ: Կատարենք փորձեր. գնդիկ նետենք, զսպանակ ու ճոճանակ տատանենք, կամ ցանկացած այլ **մեխանիկական** փորձ անենք և փորձենք պատասխանել հետևյալ հարցին՝ հնարավո՞ր է փորձով պարզել, մեր նավը անշա՞րժ է, թե հավասարաչափ շարժվում է ուղիղ գծով: Նավապետը մատյանում գրանցում է (մեզնից անկախ), թե նավը ե՞րբ և ինչպե՞ս շարժվեց, իսկ մենք կգրանցենք, թե որ փորձը ե՞րբ և ի՞նչ արդյունք տվեց: Հետո կհամեմատենք մեր և նավապետի տվյալները: Կտեսնենք, երբ նավն ըստ նավապետի կանգնած է եղել կամ ուղիղ գծով շարժվել է հաստատուն արագությամբ, մեր և նավապետի տվյալները քանակապես և որակապես չեն տարբերվում: Օրինակ, ճոճանակը երկու դեպքերում էլ նույնկերպ է տատանվել: Բայց հենց որ նավը թեքվում է կամ էլ ընթացքն է արագացնում–դանդաղեցնում, անմիջապես փորձերը դա ցույց են տալիս. ճոճանակը թեքված և դանդաղ է տատանվում, որից կարող ենք որոշել նավի շարժման վիճակի փոփոխության ձևն ու չափը: Դա նշանակում է, որ շարժումը բնութագրող և ներկայացնող օրենքները միևնույնն են կանգնած, թե ուղիղ գծով հավասարաչափ շարժվող նավերին ամրացված հաշվարկի համակարգերում: Գալիլեյը հասկացավ, որ՝

ա. K իներցիալ համակարգի նկատմամբ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժվող $\mathbf{K_1}$ համակարգը մեխանիկայի առումով ոչնչով տարբերելի չէ

K-ից, ուստի նույն իրավունքով նա էլ է իներցիալ, **բ.** այդպիսի հատկություն ունեն միայն իներցիալ համակարգերը, որոնց բոլորին կարելի է նույնացնել և համարել մի բացարձակ գերադասելի և առանձնահատուկ համակարգ: Այս եզրահանգումը Գալիլեյը ձևակերպեց որպես **հարաբերականության սկզբունք.** ***Մեխանիկայի օրենքները փեսքով և չևով միևնույնն են բոլոր իներցիալ համակարգերում և օբյեկտիվ են:*** Հետաքրքիր է, որ հետագայում Ա. Էյնշտեյնը, ըստ էության, Գալիլեյի ձևակերպման մեջ միայն մեխանիկա բառը փոխարինեց, ֆիզիկա բառով և դրա հիման վրա ստեղծեց Հարաբերականության Հատուկ Տեսությունը:

Շարժման տարածաժամանակային հատկությունները արտահայտում են շարժման օրենքը, որը գտնելն էլ հանդիսանում է մեխանիկայի հիմնական խնդիրը: Շարժման օրենքը ներկայացվում է շառավիղ-վեկտորի, կամ որ նույնն է, նրա բաղադրիչների ժամանակից ունեցած կախումով: Սակայն ինքը՝ շառավիղ-վեկտորը, հարաբերական մեծություն է, կախված է իներցիալ համակարգի ընտրությունից, ուստի չի բավարարում հարաբերականության սկզբունքի պահանջին: Հետևաբար, պետք է փնտրել այնպիսի մի այլ մեծություն, որը կախված չլինի իներցիալ համակարգերի ընտրությունից և նկարագրի շարժման տարածաժամանակային՝ կինեմատիկական հատկությունները:

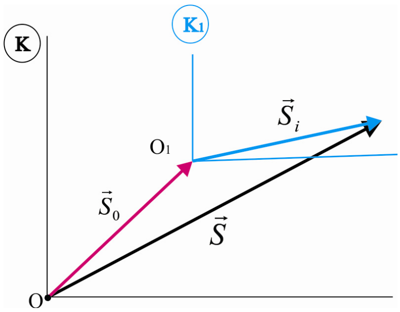
Լրացուցիչ նյութ: *Ֆիզիկայում հաճախ քննարկում են պարզագույն շարժումներ և հետո միայն դրանք ընդհանրացնում: Այդ նպատակով շարժումները դասակարգենք:*

Եթե շարժման հետագիծն ուղիղ գիծ է, շարժումն անվանում են ***ուղղագիծ:*** *Եթե նաև ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում նյութական կետը կատարում է մեծությամբ հավասար տեղափոխություններ, այդպիսի շարժումը կոչվում է* ***ուղղագիծ հավասարաչափ****, հակառակ դեպքում ուղղագիծ շարժումը կոչվում է* ***ուղղագիծ անհավասարաչափ****: Եթե ուղղագիծ շարժման ընթացքում նյութական կետը կատարում է հակառակ ուղղությամբ տեղափոխություններ, ապա շարժումը կոչվում է (միաչափ)* ***պապանողական շարժում****:*

Եթե հետագիծը ուղիղ չէ, շարժումը կոչվում է ***կորագիծ,*** *որի պարզագույն տեսակը շրջանագծային շարժումն է, երբ հետագիծը* *շրջանագիծ է: Ընդ որում, եթե հավասար ժամանակամիջոցներում նյութական կետի շառավիղ-վեկտորը գծում է հավասար անկյուններ, շարժումը կոչվում է **հավասարաչափ պտտական,** իսկ եթե նաև շառավիղ-վեկտորի մեծությունն է հաստատուն, շարժումը կոչվում է **հավասարաչափ շրջանագծային:***

Շարժումը կոչվում է հարթ, եթե նյութական կետը ողջ այդ շարժման ընթացքում գտնվում է նույն հարթության վրա: Հարթ շարժումը կարող\է նկարագրվել երկչափ շառավիղ-վեկտորով, այսինքն, նրա երկու փոխուղղահայաց պրոյեկցիաներով:

*Եթե մարմնի շարժման ընթացքում մարմնին պատկանող որևէ կետ (կամ ուղիղ գիծ) մնում է անշարժ տվյալ համակարգում, ապա այդպիսի շարժումը կանվանենք **պտտական շարժում** կետի (կամ առանցքի) շուրջ:*



Նկար 2

*Եթե մարմնին պատկանող յուրաքանչյուր գիծ շարժման ողջ ընթացքում մնում է ինքն իրեն զուգահեռ, ապա շարժումն անվանում են **համընթաց շարժում**:*

Դիտարկենք տեղափոխությունը K և K_1 երկու իներցիալ համակարգերում (նկ. 2): $\tau \equiv \Delta t_{12} = t_2 - t_1$ *ժամանակամիջոցում կատարված տեղափոխությունը նշանակենք* $\Delta\vec{r}(\tau) = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1) \equiv \vec{s}(\tau)$*: Ենթադրենք* τ *ժամանակում նյութական կետը կատարել է* $\overrightarrow{s_1}(\tau)$ *տեղափոխություն* K_1*-ի և* $\vec{s}(\tau)$ *տեղափոխություն՝ K-ի նկատմամբ, իսկ այդ ընթացքում* K_1 *համակարգը K-ի նկատմամբ կատարել է* $\vec{s}_0(\tau)$ *տեղափոխություն: Նկ. 2-ում վեկտորների գումարման կանոնից ունենք.* $\vec{s}(\tau)=\vec{s}_0(\tau) + \vec{s}_1(\tau)$*, որտեղ* $\vec{s}_0(\tau)$ *վեկտորը կոչվում է* K_1*-ի հարաբերական տեղափոխություն K-ի նկատմամբ:* **Ենթադրենք** $\vec{s}_0(t) = \vec{u} \cdot t$*, որտեղ* $\vec{u}$ *հաստատուն վեկտոր է, որի իմաստը կպարզենք հաջորդ պարագրաֆում: Այդ դեպքում ցույց է տրվում, որ* K_1 *և K համակարգերի կոորդինատները, հետևաբար և շարժման օրենքները միմյանց հետ կապված են հետևյալ առնչություններով.*

$\vec{r_1} = \vec{r} + \vec{u} \cdot t;\ \ t_1 = t;$ *կամ* $x_1 = x + u_x t;\ \ y_1 = y + u_y t;$

$z_1 = z + u_z t;\ \ t_1 = t;$ (1)

որոնք կոչվում են Գալիլեյի ձևափոխություններ:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: Նյութական կետի շարժման օրենքն է՝

$\vec{r}(t) = r(\vec{\imath}\cos\varphi(t) + \vec{\jmath}\sin\varphi\,(t))$: Գտնել հետագծի տեսքը:

Լուծում: Քանի որ (XOY) հարթության վրա հետագիծն իրենից ներկայացնում է $y = f(x)$ հավասարումով նկարագրվող կորը, ուրեմն պետք է կոորդինատների ժամանակից կախումը ցույց տվող հավասարումներից արտաքսենք ժամանակը՝ մեր դեպքում $\varphi(t)$ անկյունը: Գրենք շառավիղ-վեկտորի բաղադրիչները՝ $x = r\cos\varphi$, $y = r\sin\varphi$, որոնք քառակուսի բարձրացնենք և գումարենք, φ անկյունը կարտաքսվի և կստացվի շրջանագծի հավասարում, $x^2 + y^2 = r^2$, որը հենց հետագծի հավասարումն է:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնեցի՞ք շարժման հարաբերական բնույթի իմաստը:
2. Յուրացրի՞ք հարաբերական արագության գաղափարը:
3. Գիտե՞ք արագությունների գումարման կանոնն ու նրա իմաստը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

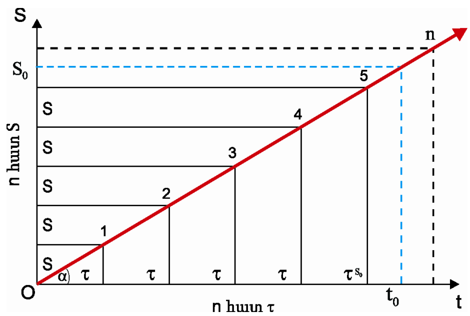
1. Ձևակերպե՛ք Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքը:
2. Ներկայացրե՛ք շարժման կինեմատիկական դասակարգումը:

3*. Փորձե՛ք ինքնուրույն ստանալ Գալիլեյի ձևափոխությունները:

§8. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում

Դիտարկենք մեխանիկական պարզագույն՝ **ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումը,** երբ *նյութական կետը ցանկացած հավասար* τ *ժամանակա-միջոցներում կատարում է հավասար* $\Delta\vec{r}(\tau)= \vec{r}(t+\tau)-\vec{r}(t)\equiv\vec{s}(\tau)$ *տեղափոխություններ,* այսինքն, նույն ուղղությամբ և հավասար s երկարությամբ տեղափոխություններ:

Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումն ունի այն առանձնահատկությունը, որ **ժամանակից կախված չէ** տեղափոխության հարաբերությունը ժամանակամիջոցին. քանի անգամ մեծ վերցնենք ժամանակամիջոցը, ճիշտ այնքան անգամ կմեծանա կատարված տեղափոխության վեկտորը և



Նկար 1

նրանց հարաբերությունը կլինի հաստատուն վեկտոր: Իրոք, քանի որ ըստ սահմանման տեղափոխության ուղղությունը հաստատուն է, ուստի փոխվում է միայն նրա s մեծությունը: Քննարկենք շարժումը $n\tau=\tau+\tau+\cdots+\tau$ ժամանակամիջոցում: Քանի որ ամեն τ ժամանակում կատարվում է նույն s մեծությամբ տեղափոխություն, ապա s+s+…+s= ns կլինի $n\tau$ ժամանակում կատարված տեղափոխությունը (նկ. 1), ուստի

$$\operatorname{tg}\alpha\equiv\frac{s}{\tau}=\frac{2s}{2\tau}=\frac{ns}{n\tau}=\text{հաստատուն} \qquad (1)$$

և հանդիսանում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման բնութագիրը: Քանի որ τ -ն կամայական է, ապա դա տեղի ունի ժամանակի ամեն մի պահի և նյութական կետի բոլոր դիրքերում, որոնց երկրաչափական տեղը, ըստ նմանության թեորեմի, ուղիղ գիծ է (նկ.1-ում OA ուղիղը):

Հիմք ընդունելով (1) առնչությունը, կարող ենք ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում նյութական կետի **արագությանը** սահմանել որպես Δt ժամանակում կատարած տեղափոխության ու այդ ժամանակի հարաբերություն.

$$\frac{\overrightarrow{\Delta r}}{\Delta t} \equiv \frac{\vec{s}}{\Delta t} = \vec{v}, \qquad (2)$$

որի իմաստը միավոր ժամանակում կատարված տեղափոխությունն է: (2)-ից բխում է.

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(t_0) + \vec{v} \cdot (t - t_0): \qquad (3)$$

Եթե ընտրենք $t_0 = 0$ և նշանակենք $\vec{r}(t_0) = \vec{r}(0) \equiv \vec{r}_0$, ապա կունենանք.

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v} \cdot t \qquad (4)$$

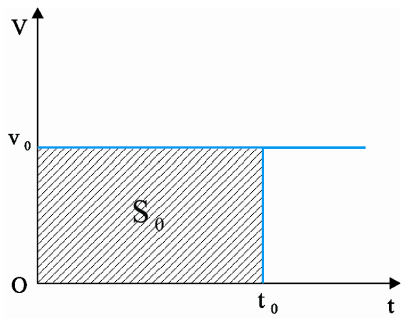
Արագության չափողականությունը $L/_T$ է, իսկ միավորը SI համակարգում $մ/_{վրկ}$ է (երբ կետը 1 վայրկյանում կատարում է 1 մետր երկարությամբ տեղափոխություն):

Հիմա կարող ենք իմաստ վերագրել նախորդ պարագրաֆում ձևականորեն ներմուծված $\vec{u}$ վեկտորին. նա K_1 համակարգի սկզբնակետի արագությունն է K-ի նկատմամբ (ասում են K_1-ի **հարաբերական արագությունը** K-ի նկատմամբ) , իսկ §7-ի (1) բանաձևից կարող ենք գրել.

$$\frac{\vec{s}}{\Delta t} = \frac{\vec{u}\Delta t}{\Delta t} + \frac{\overrightarrow{s_1}}{\Delta t}, \qquad \vec{v} = \vec{u} + \overrightarrow{v_1}, \qquad (5)$$

որը կոչվում է **արագությունների գումարման կանոն** և պնդում է, որ K համակարգում նյութական կետի արագությունը հավասար է նրա արագությանը K_1 համակարգում, գումարած K_1 -ի արագությունը K-ի նկատմամբ: $\vec{u}$-ն կախված է մեր ընտրած համակարգից, ուստի արագությունը հարաբերական է և կախված է $\vec{u}$-ից:

Այսպիսով, եթե հայտնի է շարժման օրենքը, ապա կարող ենք (4)-ից որոշել $\overrightarrow{r_0}$ և $\vec{v}$ վեկտորները, և հակառակը, եթե տրված են $\overrightarrow{r_0}$ և $\vec{v}$ վեկտորները, ապա (4)-ը որոշում է շարժման օրենքը՝ $\vec{r}(t)$ կախումը:

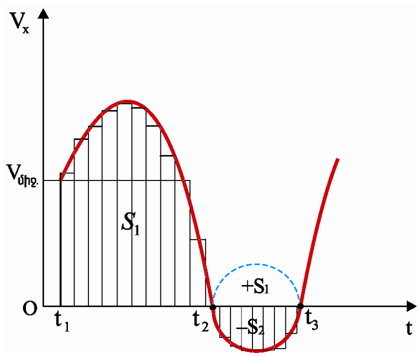


Նկար 2

Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում տեղափոխության մեծությունը և կետի անցած ճանապարհը թվապես համընկնում են և հավասար են s-ի: Նկ. 2-ում պատկերված է արագության մոդուլի կախումը ժամանակից:

Գրաֆիկը զուգահեռ է ժամանակի առանցքին, քանի որ արագությունը հաստատուն է: Ըստ (2)-ի, ստվերագծված մակերեսի մեծությունը հավասար է տեղափոխության մոդուլին, ուստիև անցած ճանապարհին, որը նկ. 1-ում պատկերված է OS առանցքի համապատասխան կետով:

Չնայած արագությունը վեկտորական մեծություն է և որոշում է շարժման օրենքը տված սկզբնական $\vec{r_0}$ դիրքի դեպքում, այնուհանդերձ արագությունը ևս հարաբերական մեծություն է՝ կախված իներցիալ համակարգի ընտրությունից: Բացի այդ, մեր սահմանումը վերաբերում է լոկ պարզագույն մի շարժման և ընդհանուր չէ: Հետևաբար պետք է ազատվել մասնավորեցնող պայմաններից, որոնք են՝ ուղղագիծ լինելն ու հավասարաչափությունը և շարունակել ավելի հարմար մեծությունների որոնումը շարժումը օբյեկտիվորեն ներկայացնելու համար:



Նկար 3

Ուղղագծությունից հեշտ է ազատվել, եթե արագության վեկտորը ներկայացնենք իր բաղադրիչներով. $\vec{v}=\vec{i}\cdot v_x+\vec{j}\cdot v_y+\vec{k}v_z$ և հաշվի առնենք, որ տվյալ ուղղությամբ, ասենք, OX ուղղությամբ, ցանկացած շարժում ուղղագիծ է: Այդ, այսպես ասած, պարզությունը տեղի ունեցավ վեկտորական հաշվի շնորհիվ: Հավասարաչափության պայմանից անհամեմատ ավելի դժվար է ազատվել, քանի որ դեռևս չունենք հարմար մաթեմատիկական ապարատ: OX ուղղությամբ անհավասարաչափ շարժման մի օրինակ գրաֆիկորեն ներկայացված է նկ. 3-ում: Եթե ժամանակամիջոցը տրոհենք շատ փոքր Δt մասերի, ապա որոշ ճշտությամբ կարող ենք ամեն մի ժամանակահատվածում գրաֆիկը համարել հորիզոնական ուղիղ գիծ, այսինքն, շարժումը համարել հավասարաչափ: Ուստի նկ. 2-ի նմանությամբ ամեն շերտի մակերես տվյալ Δt ժամանակահատվածում կլինի տեղափոխության վեկտորի պրոյեկցիան, եթե ժամանակի առանցքից վերև գտնվող մասը համարենք դրական, իսկ ներքև գտնվող մասը՝ բացասական: Որքան փոքր վերցնենք Δt-ն, այնքան այդ մոտարկումը ճիշտ կլինի և կստացվի, որ գրաֆիկով սահմանափակված մակերեսը տեղափոխության պրոյեկցիան է OX ուղղության վրա: (t_2-t_1)

ժամանակում տեղափոխության մոդուլն ու անցած ճանապարհը թվապես հավասար են S_1, $(t_3 - t_2)$ հատվածում ճանապարհը S_2 է, տեղափոխության պրոյեկցիան՝ $(-S_2)$, իսկ $(t_3 - t_1)$ ժամանակում տեղափոխության պրոյեկցիան $(S_1 - S_2)$ է, ճանապարհը՝ $(S_1 + S_2)$: Անհավասարաչափ շարժումը փոխարինենք այնպիսի (մտացածին) հավասարաչափ շարժումով, որի դեպքում $\Delta t_{12}=(t_2 - t_1)$ ժամանակամիջոցում կետը կկատարեր ճիշտ նույն $\vec{S}_{12}$ տեղափոխությունը, որը կատարել է իրականում անհավասարաչափ շարժման ընթացքում: Դա կբավարարվի, եթե որպես անհավասարաչափ շարժման **միջին արագություն** համարենք այդ մտացածին հավասարաչափ շարժման արագությունը.

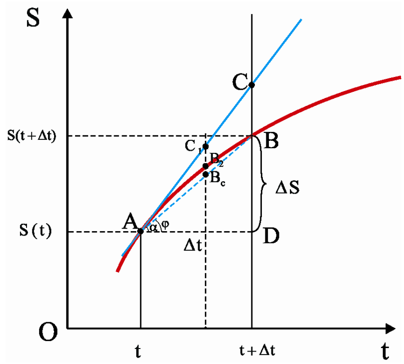
$$\vec{v}_{\text{միջ}}= \vec{v}(\Delta t_{12}) = \frac{\vec{S}_{12}}{\Delta t_{12}} \quad (6)$$

Լրացուցիչ նյութ: *Հաճախ օգտագործում են միջին ճանապարհային արագությունը՝* $v_{ճ} = \frac{s_{ճ}}{t_{ճ}}$ *, որը, սակայն, ընդհանուր դեպքում չի համընկնում միջին արագության հետ: Երկու դեռաակի միջինն էլ կախված են ժամանակահատվածի չափից* Δt_{12} *և դեռից: Օրինակ, մեքենան ժամը 5-ից 7-ը կատարել է 210 կմ տեղափոխություն, իսկ 7-ից 8-ը 120 կմ ետ է եկել: 5-ից 7-ը երկու միջին արագությունների մեծությունները հավասար են 105 կմ/ժամ, 7-ից 8-ը դրանք հավասար են 120 կմ/ժամ, իսկ 5-ից 8-ը ճանապարհային միջինը հավասար է* $v_{ճ} = \frac{210+120}{2+1} = 110$ *կմ/ժամ, բայց միջին արագությունը հավասար է* $v_{\text{միջ}} = \frac{210-120}{2+1} = 30$ *կմ/ժամ:*

Չնայած միջին արագությունները իրական, իսկական արագություններ չեն, շատ օգտակար են, այդ թվում իսկական արագություն սահմանելու առումով: Իրոք, նկ. 4-ում ներկայացված է OX ուղղությամբ անհավասարաչափ շարժման $S_x(t)$ *օրենքը գրաֆիկորեն: Ենթադրենք t պահին նյութական կետը գտնվել է A կետում, իսկ* $(t + \Delta t)$ *պահին՝ B կետում, և* Δt *ընթացքում կատարել է* $\Delta S_x(t, \Delta t) = S_x(t + \Delta t) - S_x(t)$ *տեղափոխություն (նկ. 4-ում BD հատվածը): Եթե* AB_2B *աղեղը համապատասխանում է անհավասարաչափ, իսկ* AB_1B *լարը հավասարաչափ շարժման, և եթե մոտավոր աղեղը փոխարինենք լարով,* *ապա, օգտվելով (2) բանաձևից, կստանանք մոտավոր արագություն անհավասարաչափ շարժման համար.*

$$v_x(t) = \frac{\Delta S_x(t,\Delta t)}{\Delta t} = tg\,\varphi\,, \qquad (7)$$

որի ճշտությունը, երբ $\Delta t \to 0$, ինչպես խիստ ապացուցվում է մաթեմատիկորեն, անվերջ մեծանում է, իսկ AB լարը ձգտում է A կետում կորին տարված AC շոշափողին և $\varphi \to \alpha$, իսկ (6) արտահայտության աջ մասը դառնում է չկախված Δt-ից, ուստի ստացված արագությունն իրական է, ճշգրիտ ու իսկական և կոչվում է ***ակնթարթային արագություն****, կամ արագություն տվյալ պահին, կամ արագություն տվյալ կետում: Առանց հիմնավորման փաստենք, որ նույն արդյունքին կհանգենք նաև միջին արագության սահմանումից, երբ $\Delta t \to 0$, ինչպես նաև այն, որ արագությունն ուղղված է նաև հետագծի շոշափողով, ընդ որում արագության մեծությունը դարձյալ հավասար է շոշափողի կոորդինատական առանցքի հետ կազմած անկյան տանգենսին: Իհարկե սրանք պատահական զուգադիպություններ չեն:*



Նկար 4

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք տեղափոխության ներմուծման անհրաժեշտությունը:
2. Յուրացրե՞լ եք ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումը և նրա արագությունը:
3. Հասկացե՞լ եք տեղափոխությունների գումարման կանոնի ոչ սովորական (հանրահաշվական) բնույթի դրդառիթը:
4*. Յուրացրե՞լ եք միջին արագությունների իմաստը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Վերհիշե՛ք արագության չափայնությունն ու միավորները SI համակարգում, վերցրե՛ք հաճախ գործածվող արտահամակարգային ծեք հայտնի միավորներ և դրանք արտահայտեք SI միավորներով:

2. Գրաֆիկորեն ներկայացրե՛ք շարժման օրենքներն ուղղագիծ հավասարաչափ տարբեր շարժումների համար՝ **ա.** (x,t) հարթության վրա և ցույց տվեք այնտեղ արագությունները, **բ.** (v,t) հարթության վրա և ցույց տվեք այնտեղ տեղափոխությունների մեծությունները:

§9. Ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում

Դիտարկենք **ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող** շարժում, երբ նյութական կետի արագության վեկտորը ցանկացած հավասար τ ժամանակամիջոցներում փոփոխվում է հավասար՝ $\Delta\vec{v}(\tau)=\vec{v}(t+\tau)-\vec{v}(t)=$ *հաստատուն* չափով: Հիշենք, երբ ասում ենք ինչ-որ վեկտոր հաստատուն է, ապա անփոփոխ են նրա ուղղությունն ու մոդուլը (երկարությունը): Բառացիորեն վարվենք նախորդ պարագրաֆի նման և կրկնենք նույն դատողություններն ու արարողությունները, միայն $\vec{r}(t)$ վեկտորի փոխարեն վերցնենք $\vec{v}(t)$ վեկտորը: Այդ դեպքում $\vec{v}(t)$ արագության փոխարեն կլինի մի նոր վեկտորական $\vec{a}$ մեծություն, որին անվանենք **արագացում**: Իրոք, եթե նախորդ դեպքում հաստատուն էր $\vec{r}(t)$ վեկտորի փոփոխությունը, ապա հիմա, ըստ սահմանման, հաստատուն է $\vec{v}(t)$ վեկտորի փոփոխությունը, ուստի Δt ժամանակահատվածից կախված չէ արագության $\Delta\vec{v}$ փոփոխության հարաբերությունը Δt-ին.

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\text{հաստատուն}\equiv\vec{a}: \qquad (1)$$

Այստեղ հարկ է ընդգծել արագացման մի շատ կարևոր հատկություն. **նյութական կետի արագացումը կախված չէ հաշվարկման իներցիալ համակարգի ընտրությունից: Այս դեպքում հաճախ ասում են, այն ինվարիանտ է (ձևապահպան է) Գալիլեյի ձևափոխությունների նկատմամբ:**

Դա բխում է արագությունների գումարման թեորեմից և (1) սահմանումից: Իհարկե, այստեղ նույնպես կարող էինք արագացումը սահմանել պրոյեկցիաներով.

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}, \quad a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t}, \quad a_z = \frac{\Delta v_z}{\Delta t}, \qquad (2)$$

որն ավելի հարմար է այն առումով, որ հեշտ է ընդհանրացվում ցանկացած շարժման համար:

Այժմ ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման դեպքում կինեմատիկական բնութագրերն արտահայտենք արագացման միջոցով: Այստեղ ևս բաց թողնենք վեկտորների պրոյեկցիաների ներքնանշանները (ինդեքսները), քանի որ շարժումն ուղղագիծ է, նաև ընդունենք $t_0 = 0$ և $v(t_0)=v_0$: Արագացման (1) սահմանումից բխում է, որ

$$v=v_0 + at, \qquad (3)$$

ընդ որում պայմանավորվենք, որ a արագացումը համարում ենք դրական, եթե նրա ուղղությունը համընկնում է սկզբնական v_0արագության ուղղության հետ, հակառակ դեպքում կհամարենք բացասական: Միջին արագության սահմանումից ունենք.

$$v_{միջ} = \frac{v_0+v}{2} = \frac{v_0+v_0+at}{2} = v_0 + \frac{at}{2}, \qquad (4)$$

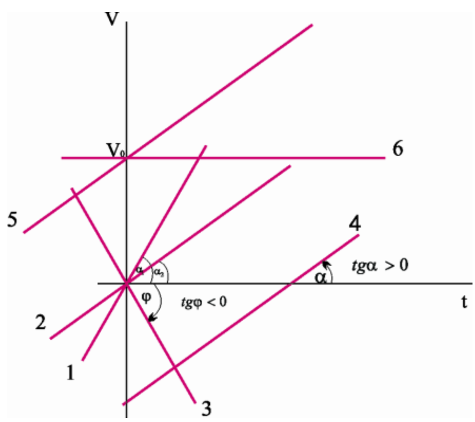
քանի որ $s = v_{միջ}t$, ապա (3)-ից կստանանք.

$$s = v_0t + \frac{at^2}{2}, \qquad x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}, \qquad (5)$$

որտեղ x_0 –ն ցույց է տալիս նյութական կետի սկզբնական դիրքը:

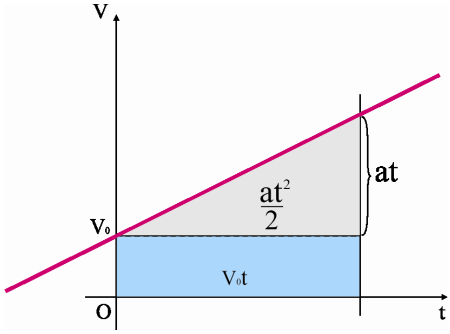
Ինչպես երևում է (5) բանաձևից, սկզբնական տված վիճակի՝ x_0-ի և v_0-ի, համար *a* արագացումը միարժեքորեն որոշում է շարժման օրենքն, ուստիև կինեմատիկան ամբողջովին:

Արագացման երկրաչափական իմաստը ցուցադրելու նպատակով օգտվենք (v, t) *հարթության վրա շարժման գրաֆիկական ներկայացումից (նկ. 1): 1, 2 և 3 կորերը նկարագրում են առանց սկզբնական արագության հավասարաչափ արագացող շարժում, ընդ որում արագացման պրոյեկցիաները կլինեն՝*



Նկար 1

$a_3 < 0$, *իսկ* $a_1 > a_2 > 0$, *քանի որ* $\varphi_1 > \varphi_2$*: Թիվ 6 կորը զուգահեռ է ժամանակի առանցքին, ուստի առանց արագացման շարժում է, իսկ 4, 2 և 5 զուգահեռ կորերը հաստատուն դրական արագացմամբ շարժում են նկարագրում, որոնք սկարբերվում են* v_0*-ով:* (v, t) *հարթության վրա գրաֆիկը*



Նկար 2

հարմար է նաև նրանով, որ ներկայացվում են նաև մյուս կինեմատիկական մեծությունները ևս (նկ. 1-ը չծանրաբեռնելու միտումով ոչ բոլորն ենք այնտեղ ներկայացրել): Նկ. 2-ի գրաֆիկը չափազանց ակնառու ապացուցում է (6) *բանաձևով տրված շարժման օրենքը :*

Լրացուցիչ նյութ: Ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման վերլուծություն: Խնդիրների լուծման սկզբունքն ու մեթոդիկան:

Խնդիրը ինչ-որ բան գտնելու, հաշվելու, կառուցելու կամ ապացուցելու պահանջ է՝ տրված որոշակի պայմանների դեպքում: Խնդիր լուծել նշանակում է տրված տվյալների և պայմանների դեպքում իրականացնել խնդրի պահանջը՝ գտնել, որոշել, հաշվել, ստանալ, կառուցել կամ ապացուցել պահանջվածը:

Նախ ճշտվորվում է խնդրի ֆիզիկական պատկերը, հնարավորինս հստակեցվում է ֆիզիկական մոդելը և հարմար տեսքի են բերվում տրված պայմանները: Այսպես, եթե ասվում է՝ «մարմինը շարժումը սկսեց դադարի վիճակից...», ապա դա նշանակում է , որ սկզբնական արագությունը 0 է, կամ եթե մարմինն ընկնում է ուղղաձիգ և հաստատուն արագությամբ, ապա, նախ, շարժումն ուղղագիծ է, հետո էլ, որ օդի դիմադրությունը հաշվի է առնվում և այն հավասար է Երկրի ձգողության ուժին: Այս փուլը պարզ դեպքերում չի էլ դիտարկվում և համարվում է ակնհայտ, բայց բարդ դեպքերում դժվարը և կարևորը հենց խնդրի ճիշտ ֆիզիկական պատկերի որոշումն է:

Հաջորդ փուլում ի մի են բերում և համակարգվում տրված տվյալները, ֆիզիկական պատկերը բնութագրող պարամետրերը և դրանց միջև եղած կապերը, որոնք, սովորաբար, հայտնի են հավասարումների տեսքով: Այնուհետև ստուգվում է խնդրի կոռեկտությունը, այսինքն, անհայտների և հավասարումների քանակը հավասա՞ր է, թե՞ ավել կամ պակաս պայման կա: Օրինակ (այսուհետ այս պարագրաֆում դիտարկվելու է հավասարաչափ արագացող շարժումը), ենթադրենք տրված է արագացումը, այն կետի կոորդինատը, որտեղից սկսվել է շարժումը, և արագությունը շարժման վերջում: Իսկ մենք ունենք (3) և (5) հավասարումները, որոնք ներկայացված են a, v, v_0, s *և t հինգ հատ պարամետրերով: Տրված են այս հինգ պարամետրերից երկուսը՝ a–ն և* v*-ն, նաև երկու հավասարում, ուստի խնդիրը թերորոշ է (չենք կարող միարժեք այդքանով որոշել մյուս պարամետրերը): Եթե տրված լիներ* v_0, s *և t պարամետրերից մեկը, կամ մի այլ պայման, որից որոշվեր այդ պարամետրերից գոնե մեկը, ապա խնդիրը կդառնար կոռեկտ և կունենար լուծում: Մյուս կողմից, մի չօգտագործվող պայման է խնդրում տրված՝ սկզբնական դիրքը: Սակայն այն պետք կգա շարժման օրենքը գտնելիս միայն:*

Երբեմն կատարվում է բարդ խնդրի տրոհումը պարզ խնդիրների, որոնք միմյանց հետ կապվում են լրացուցիչ պայմաններով, որոնք խնդրում սովորաբար չեն տրվում: Օրինակ, ենթադրենք տափօղակը բաց է թողնվում d երկարության թեք հարթությունից և a արագացմամբ սահում է ցած, որոշ ժամանակ հետո հասնում է հարթ սահադաշտ և սահում է առանց շփման: Պահանջվում է գտնել սահադաշտ մտնելուց 10 վայրկյան հետո նրա անցած ճանապարհը: Խնդիրը տրոհենք երկու խնդրի. թեք հարթությամբ սահելու և սահադաշտով սահելու խնդիրների: Թեք հարթությամբ սահելու դեպքում տրված են s = d, a $v_0 = 0$*, ուստի կարող ենք (3) և (5) հավասարումներից որոշել ցած սահելու* τ *ժամանակը և ձեռք բերած* $v = v(\tau)$ *արագությունը: Սահադաշտի դեպքում խնդրում տրված է միայն* t =10 *վ, որը բավարար չէ անցած ճանապարհը որոշելու համար: Սակայն թեք հարթությամբ սահելու խնդրից արդեն որոշել ենք* v*-ը, հետևաբար որոնելի ճանապարհը կլինի* v *t, քանի որ շփման բացակայության դեպքում շարժումը հավասարաչափ է: Նոր միայն կատարվում են հաշվարկները: Իհարկե, դիտարկվածը պարզ* *օրինակ էր, սակայն այս եղանակը կիրառելի է շատ ավելի բարդ դեպքերի համար:*

Լուծենք մի քանի հետաքրքիր խնդիրներ: Օգտագործելու ենք հետևյալ ընդհանուր նշանակումներն առանց զգուշացնելու. a-ն շարժման ուղղությամբ արագացման պրոյեկցիայի մոդուլն է, g-*ն ազատ անկման արագացման մոդուլն է,* v_0-*ն սկզբնական արագությունն է,* v-*ն ակնթարթային արագությունն է,* s-*ը տեղափոխության մոդուլն է, h-ը՝ բարձրությունը, դիրքը ուղղաձիգ ուղղությամբ, t-ն՝ ժամանակի պահը:*

Եթե ցանկանանք գտնել կապ a, v, v_0, s *և t մեծությունների միջև նրանցից որևէ մեկի բացակայությամբ, ապա (3) և (5) համակարգից կարտաքսենք այն, որը ուզում ենք բացակայի: Գործնականում հետաքրքիր են երկու դեպք: Եթե արտաքսենք a արագացումը, կստանանք մեզ ծանոթ միջին արագության բանաձևը.*

$$s = \frac{v_0+v}{2}t = v_{միջ}t, \qquad (6)$$

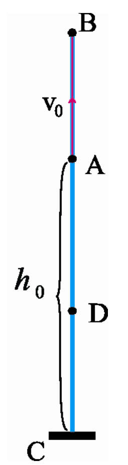
իսկ եթե արտաքսենք t ժամանակը, կստանանք.

$$\pm 2as = v^2 - {v_0}^2, \qquad (7)$$

որը շատ է գործածվում հատկապես ազատ անկման խնդիրներում, որտեղ ունենք.

$$\pm 2gh = v^2 - {v_0}^2, \qquad v = \sqrt{2gh}\ : \qquad (8)$$

Ընդ որում երկրորդը տեղի ունի $v_0 = 0$ *դեպքում դեպի Երկիր շարժվելիս:*



Նկար 3

Խնդիր 1: *Փոքրիկ առաձգական գնդիկը* h_0 *բարձրության վրա գտնվող A կետից* v_0 *սկզբնական արագությամբ նետվել է ուղղաձիգ դեպի վեր և որոշ ժամանակ անց ընկել է C կետ և նույն արագությամբ վերև թռել (քանի որ հարվածն առաձգական է): Շարժումը համարելով ազատ անկում, հաշվել գետնից* $0{,}5h_0$ *բարձրության վրա գտնվող D կետը հասնելու* τ *ժամանակն ու* v_τ *արագությունը (նկ. 3):*

Լուծում: *Տրված են* h_0 *սկզբնական բարձրությունը,* v_0 *սկզբնական արագությունը և ազատ անկման g արագացումը, պահանջվում է որոշել* τ *և* v_τ *մեծություն-*

ների արժեքները: Շարժման ֆիզիկական պայմերը հետևյալն է: Շարժումը կարող ենք դիտել երեք միմյանց շարունակող հաջորդական շարժումներ. A-ից B, B-ից C և C-ից D: Մեր ունեցած տվյալները B-ից C և C-ից D շարժումների մասին անմիջական ոչինչ չեն պարունակում (բացի, իհարկե, g արագացումից): Իսկ A-ից B շարժումը ներկայացված է լիովին: Իրոք, քանի որ շարժումը դանդաղող է (g արագացումը հակառակ է ուղղված շարժմանը), ապա A կետում զնդիկի $v_B = 0$ *, ուստի տրված g և* v_0 *տվյալները բավարար են գտնելու շարժման* t_B *ժամանակն ու* h *հեռավորությունը: (3)-ից ունենք.*

$$v_0 - gt_B = v_B = 0, t_B = \frac{v_0}{g}, \qquad (9)$$

իսկ (8)-ից էլ`

$$h = \frac{{v_0}^2}{2g}: \qquad (10)$$

Հիմա արդեն B-ից C շարժման համար ունենք տվյալների լրիվ խումբ` (h_0+h) *բարձրությունը,* $v_B = 0$ *և g արագացումը, ուստի կարող ենք որոշել* v_C *արագությունը և* t_C *ժամանակը.*

$$v_C = \sqrt{2g(h+h_0)}, \qquad (11)$$

$$t_C = \frac{v_C}{g}: \qquad (12)$$

(10) և (11) առնչությունների շնորհիվ լրիվացան նաև C-ից D շարժման տվյալները` (v_c g, 0,5h),

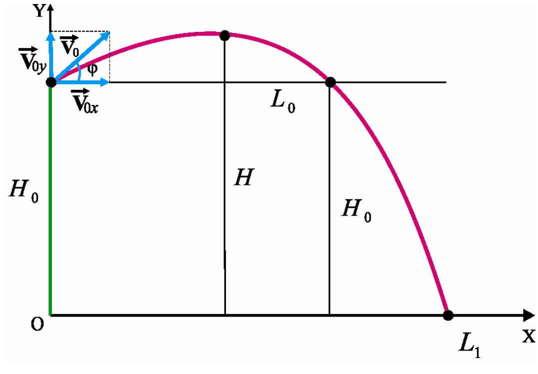
$$v_D = \sqrt{2g(h+h_0) - gh}, \qquad (13)$$

$$t_D = \frac{v_C - v_D}{g}: \qquad (14)$$

Այսպիսով, (9)-(14) առնչություններից կգտնենք խնդրում պահանջվող մեծությունները.

$\tau = t_B + t_C + t_D$ և $v_\tau = v_D$

Խնդիր 2: *Ուղղաձիգ հարթության մեջ* H_0 *բարձրությունից մարմինը նետված է* v_0 *սկզբնական արագությամբ հորիզոնի նկատմամբ φ անկյան տակ, ինչպես նկ. 4-ում:*



Նկար 4

Պահանջվում է հետազոտել շարժումը՝ այն համարելով ազատ անկում:

Լուծում: *Տրված են* (x,y) *հարթության մեջ մասնիկի սկզբնական դիրքը՝* $(0, H_0)$, *արագությունը՝*

$(v_0 \cos\varphi, v_0 \sin\varphi)$, *և արագացումը՝* (0, –g): *Այս 6 տվյալները լիովին բավարար են երկչափ շարժումը նկարագրելու համար, իսկ մենք այն ներկայացրել ենք բաղադրիչներով, որպեսզի x և y ուղղություններով շարժումները դիտենք իրարից անկախ: Գրենք շարժման օրենքները և արագությունների արտահայտությունները.*

$$x(t) = v_{0x} \cdot t = v_0 \cos\varphi \cdot t, \tag{15}$$

$$y(t) = H_0 + v_0 \sin\varphi \cdot t - {gt^2}/{2}, \tag{16}$$

$$v_x(t) = v_0 \cos\varphi, \tag{17}$$

$$v_y(t) = v_0 \sin\varphi - gt: \tag{18}$$

(15) –ից և (16)-ից արտաքսենք t-*ն, կստանանք հետագծի հավասարումը.*

$$y = H_0 + \mathrm{tg}\,\varphi \cdot x - \frac{g}{2{v_0}^2(\cos\varphi)^2} \cdot x^2, \tag{19}$$

որը ճյուղերը ներքև ուղղված պարաբոլ է: Ամենաբարձր կետին մարմինը կհասնի t_m *պահին, երբ* $v_y(t) = 0$ *, ուստի (18)-ից կարող ենք հաշվել* t_m*-ը՝*

$$t_m = {v_0 \sin\varphi}/{g}, \tag{20}$$

իսկ ամենամեծ բարձրությունը կհաշվենք (20)-ը (16)-ում տեղադրելով.

$$H = H_0 + \frac{(v_0 \sin\varphi)^2}{2g} \tag{21}$$

(17)-ը և (18)-ը քառակուսի բարձրացնենք և գումարենք, կզտնենք արագության կախումը ժամանակից: Արագությունն ամենափոքրն է H *բարձրության վրա, երբ 0-ից տարբեր է միայն* v_{xo}*-ն, իսկ ամենամեծն է գետնին ընկնելու պահին: Արագությունը* (L_0, H_0) *կետում* v_o *է, բայց* y *բաղադրիչը նշանը փոխել է: Եթե* $H_0 = 0$, *ապա*

$$L_0 = \frac{{v_0}^2 \cos 2\varphi}{g}: \tag{22}$$

(21)-ից և (22)-ից բխում է, որ մարմինն ամենամեծ բարձրության կհասնի $\varphi = {}^{\pi}/_{2}$ *անկյան տակ նետելիս, ամենահեռուն՝* $\varphi = {}^{\pi}/_{4}$ *անկյան տակ նետելիս, իսկ* φ *և* $\left({}^{\pi}/_{2} - \varphi\right)$ *անկյան տակ նետելիս կանցնի նույն հեռավորությունը, բայց հասնելով տարբեր բարձրությունների:*

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ապացուցե՛ք, թե ի՞նչ է արագության վեկտորի փոփոխությունն ընդհանուր դեպքում և կարո՞ղ եք դա բանաձևել:
2. Ինչո՞ւ է ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման դեպքում արագության փոփոխության հարաբերությունը ժամանակին՝ $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, ժամանակից կախված չէ:
3. Հասկացե՞լ եք, թե ինչու՞ ենք ներմուծում արագացում մեծությունը և ինչպե՞ս այն սահմանել:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

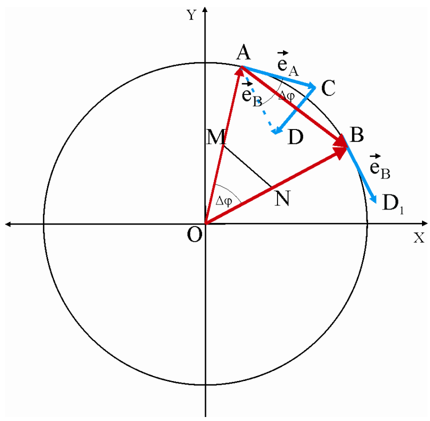
1. Վերհիշե՛ք արագացման չափայնությունն ու միավորները ՄՀ- ում:
2. **Խմբային աշխատանք:** Գրաֆիկորեն ներկայացրե՛ք շարժման օրենքները ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող տարբեր շարժումների համար՝ **ա.** (v,t) հարթության վրա և ցույց տվեք այնտեղ յուրաքանչյուրի համար արագացումը, տվյալ t_1 պահին արագությունը, տեղափոխության պրոյեկցիան և անցած ճանապարհը, **բ.** նույնը կատարեք (a,t) հարթության վրա, **գ.** որևէ ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման օրենք (v, t) հարթությունից տեղափոխեք (a, t) հարթություն, և հակառակը:

§10. Հավասարաչափ շարժում շրջանագծով

Նախորդ պարագրաֆում դիտարկեցինք արագացումով շարժում, երբ նյութական կետի շարժման հետագիծը մնում էր ուղիղ գիծ և փոխվում էր միայն արագության մեծությունը: Հիմա դիտարկենք այնպիսի շարժում, երբ փոփոխվում է նաև արագության ուղղությունը:

Լրացուցիչ նյութ: *Ընդհանրապես կորագիծ շարժումը կարելի է ուսումնասիրել նաև ջևականորեն՝ դիպարկելով արագության վեկ-պորի փոփոխությունը.*

$$\Delta\vec{v} = \Delta v \cdot \vec{e}_v + v \cdot \Delta\vec{e}_v, \qquad (1)$$



Նկար 1

որտեղ աջ կողմի առաջին անդամը պայմանավորում է արագության վեկտորի փոփոխությունն արագության մեծության փոփոխության պատճառով, իսկ երկրորդը՝ արագության վեկտորի փոփոխությունն ի շնորհիվ բացառապես արագության ուղղության փոփոխման: $\Delta v \cdot \vec{e}_v$ անդամն ուսումնասիրեցինք ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման օրինակի վրա. արագացումն ունի շոշափողի՝ $\vec{e}_v$–ի ուղղությունն, իսկ մեծությունը $\frac{\Delta v}{\Delta t}$–ն է և կոչվում է շոշափող (տանգենցիալ) արագացում: Ողղագիծ շարժման դեպքում $\Delta\vec{e}_v = 0$, ուստի $\frac{\Delta v}{\Delta t}$-ն նախորդ պարագրաֆում ներմուծված արագացումն է: Դիտարկենք Δv=0 դեպքը, երբ փոփոխվում է միայն արագության ուղղությունն, այսինքն, $\vec{e}_v$-ի ուղղությունը: Պարզ դեպքում հետագիծը շրջանագիծ է, իսկ $\vec{e}_v$-միավոր վեկտորը հավասարաչափ է փոխում իր ուղղությունը (նկ. 1): Այդ դեպքում ցանկացած t պահի $\vec{e}_v(t)$ վեկտորն ուղղահայաց է $\vec{r}(t)$ շառավիղ-վեկտորին քուր շրջանագծի շոշափողի և շոշափման կետով անցնող *շառավղի ուղղահայացության թեորեմի: Դա նշանակում է, որ է* $\vec{r}(t)$ *շառավիղ-վեկտորը ևս հավասարաչափ պտտական շարժում է կատարում, ընդ որում միևնույն* Δt *ընթացքում* $\vec{e}_v(t)$ *և* $\vec{r}(t)$ *վեկտորները պտտվում են նույն* $\Delta\varphi$ *անկյունով: Դրանում համոզվելու համար քննարկենք նկ. 1-ը: Ենթադրենք t պահին կետը գտնվել է A կետում և* Δt *ընթացքում շրջանագծով հասել է B կետը: Քանի որ* $\mathrm{v} = const$ *, ապա*

$$\vec{\mathrm{v}}_\mathrm{A} = \mathrm{v}.\vec{\mathrm{e}}_\mathrm{A}, \vec{\mathrm{v}}_\mathrm{B} = \mathrm{v}.\vec{\mathrm{e}}_\mathrm{B}: \qquad (2)$$

$\overrightarrow{BD}_1 = \vec{\mathrm{v}}_B$ *վեկտորը զուգահեռ տեղափոխենք այնպես, որ B կետը համընկնի A կետի հետ, կստանանք* $\overrightarrow{AD} = \vec{\mathrm{v}}_B$ *վեկտորը:* ΔACD *և* ΔAOB *եռանկյունները հավասարասրուն են և նման, քանի որ գագաթների անկյունները հավասար են որպես փոխուղղահայաց կողմերով անկյուններ: Այդ նմանությունից ունենք.*

$$\frac{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}{r} = \frac{|\vec{v}_B - \vec{v}_A|}{\mathrm{v}} \equiv |\vec{e}_B - \vec{e}_A|, \qquad (3)$$

որտեղ $|\vec{a}| \equiv a$ *նշանակում է* $\vec{a}$ *վեկտորի մեծությունը (երկարությունը): Ավելորդ չէ հիշեցնել.*

$$|\vec{\mathrm{v}}_\mathrm{A}| \equiv \mathrm{v}_\mathrm{A} = \mathrm{v} = \mathrm{v}_\mathrm{B} \equiv |\vec{\mathrm{v}}_\mathrm{B}|, \quad \mathrm{v}_\mathrm{B} - \mathrm{v}_\mathrm{A} = 0,$$

$$|\vec{\mathrm{v}}_\mathrm{B} - \vec{\mathrm{v}}_\mathrm{A}| = \left|\overrightarrow{\mathrm{CD}}\right| \neq 0: \qquad (4)$$

Դժվար չէ համոզվել, որ պտտման դեպքում OA շառավղի (ընդհանրապես O կետից դուրս եկող ճառագայթի) բոլոր կետերի համար ընդհանուր է միայն պտտման $\Delta\varphi$ *անկյունն, իսկ դրանց տեղափոխման չափերը տարբեր են. A կետը տեղափոխվում է AB չափով, M կետը՝ MN չափով, ընդ որում* $MN < AB$*: Ուստի պտտական շարժումը նպատակահարմար է դիտարկել պտտման անկյան միջոցով և նրա վրա կատարել արարողությունների նույն այն շարքը, ինչը կատարեցինք տեղափոխության հետ ուղղագիծ շարժման դեպքում:*

Շարժումը կոչվում է հավասարաչափ պտտական, եթե *շառավիղ*-վեկտորը ցանկացած հավասար $\Delta\mathrm{t}$ ժամանակամիջոցներում կատարում է հավասար $\Delta\varphi$ անկյունով պտույտ: Այդ դեպքում դրանց

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta\mathrm{t}} = \mathrm{const} \equiv \omega \qquad (5)$$

հարաբերությունը կախված չէ Δt ընթացքի չափից ու վերցրած պահից, հանդիսանում է պտտական շարժման բնութագիր և կոչվում է անկյունային արագություն: Քանի որ φ անկյունը կախված չէ նյութական կետի զանգվածից, կոորդինատից ու ժամանակից, ուստի $[\varphi] = M^0L^0T^0 = 1$, իսկ չափման միավորը ռադիանն է. 1 լրիվ անկյունը 2π ռադիան է, որը հավասար է 360^O և այլն: Հետևաբար, $[\omega] = 1/T \equiv T^{-1}$ և չափվում է ռադ/վ միավորով:

Անկյունային արագությունը կապված է նյութական կետի ակնթարթային արագության մեծության՝ գծային արագության հետ ևս, որը հեշտ է գտնել, եթե հետագիծը շրջանագիծ է:

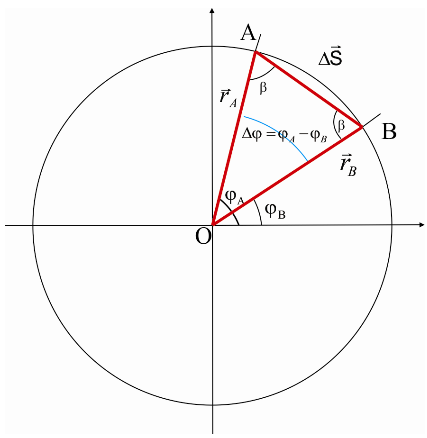
Նկ. 2-ում հավասարասրուն ΔOAB եռանկյունուց ըստ սինուսների թեորեմի ունենք.

$$\sin\Delta\varphi \big/ _{AB} = \sin\beta \big/ _{r}: \qquad (6)$$

Քանի որ AB տեղափոխության Δs մեծությունն է, ΔOAB եռանկյունուց ունենք՝ $\Delta\varphi + \beta + \beta = \pi$, և երբ Δt-ն շատ փոքր է, ապա ըստ (5)-ի շատ փոքր է նաև $\Delta\varphi$ –ն, ուստի $\beta \approx \pi/_2$ և $\sin\beta \approx 1$, և նաև՝ $\sin\Delta\varphi \approx \Delta\varphi$, հետևաբար (6) –ից կստանանք.

$\Delta\varphi = {}^{\Delta s}/_{r}$, *բաժանելով Δt-ի վրա, կստանանք.*

$$\omega = {}^{v}/_{r}\,,\ v = \omega r \qquad (7)$$



Նկար 2

Ինչպես ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում $(\vec{r}_0, \vec{v})$ զույգը որոշում էր շարժման $\vec{r}(t)$ օրենքը, այնպես էլ (φ_0, ω) զույգը ըստ (5)-ի որոշում է պտտման օրենքը՝ $\varphi(t)$=$\varphi_0 + \omega t$, որտեղ φ_0-ն սկզբնական անկյունն է: Այս արդյունքը (7)-ի հետ միասին կարող է որոշել նաև շարժման $\vec{r}(t)$ օրենքը, որը կդիտարկենք որպես խնդիր:

Այժմ նկ.1-ի վրա ΔACD-ից որոշենք արագացման ուղղությունն ու մեծությունը, քանի որ Δt ժամանակում արագացման կրած փոփոխությունը $\overrightarrow{CD} = \Delta\vec{v}$ վեկտորն է: Ինչպես վերը նշեցինք, շատ փոքր Δt ընթացքում $\Delta\varphi$ փոփոխությունը անհշան է և β -ն ուղիղ անկյուն է, ուստի $\Delta\vec{v}$ ուղղահայաց է $\vec{v}_A = \overrightarrow{AC}$ վեկտորին, այսինքն, հակազուգահեռ է (զուգահեռ է և հակառակ ուղղված) $\vec{r}_A$ շառավիղ-վեկտորին: Արագացման մեծության համար կունենանք.

$$a_n = \omega v = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}, \qquad (8)$$

որտեղ a_n -ը կենտրոնաձիգ արագացումն է՝ ուղղված հետագծի ներքին նորմալով դեպի հետագծի պտտման կենտրոն: (8) համարժեք բանաձևերը ստացվել են (7) բավաձևերի օգնությամբ:

Այսպիսով, եթե շարժման ընթացքում արագության մեծությունը չի փոխվում, բայց փոխվում է ուղղությունը, ապա զրոյից տարբեր է միայն արագացման կենտրոնաձիգ բաղադրիչը, այսինքն, կա միայն կենտրոնաձիգ արագացում: Այստեղ կարելի է ուշադրություն հրավիրել մի նմանության վրա: Մենք §9-ում արդեն մի նմանության ծանոթացանք, երբ $x(t)$ կախումից v_X ստանալու գործընթացի նմանությամբ $v_x(t)$ կախումից ստացանք a_x արագացումը: Հիմա էլ նկատենք, որ ճիշտ այդ նմանությունը կա $\varphi(t)$ կախումից ω անկյունային արագությունը ստանալու արարողությունում: Այդպիսի նմանությունները հաճախ են գործածվում գիտության մեջ, հատկապես ֆիզիկայում:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: A մասնիկը π վայրկյանում կատարում է 3 պտույտ v_A=12 մ/վ հաստատուն գծային արագությամբ: Ինչպիսի r_B շառավղով պետք է հավասարաչափ պտտվի B մասնիկը նույն գծային արագությամբ, որպեսզի ունենա նույն կենտրոնաձիգ արագացումը:

Լուծում: Ըստ պայմանի A մասնիկի անկյունային արագությունը համաձայն (5)-ի կլինի $\omega_A = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \frac{3}{\pi} = 6$ ռադ/վ, բայց քանի որ A և B մասնիկներն ունեն հավասար արագացում և գծային արագություն, ապա (8)-ի համաձայն ունենք.

$\omega_A \cdot v_A = a_կ = \frac{{v_A}^2}{r_B}$, որտեղից $r_B = \frac{v_A}{\omega_A} = \frac{12}{6}$մ ≈ 2 մ:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք հավասարաչափ պտտական շարժման և նրա բնութագրական մեծությունների սահմանումները:
2. Պատկերացնու՞մ եք ուղղության փոփոխությամբ առաջացած արագացումը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Տվե՛ք հավասարաչափ պտտական շարժման բոլոր բնութագրական մեծությունների սահմանումները և ներկայացրե՛ք դրանք ու դրանց միմյանց կապող բանաձևերը:
2. Ի՞նչ նմանություններ ու տարբերություններ եք նկատում անկյունային և գծային արագությունների միջև: Պատասխանները հիմնավորե՛ք:

§11*. Ժամանակը և տարածությունը դասական մեխանիկայում: Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքը

Ամփոփենք նյութական կետի շարժման կինեմատիկան՝ տարածաժամանակային ձևը: Տարածությունն ու ժամանակը ֆիզիկայի հիմնական հասկացություններն են, դասական ֆիզիկայում անկախ են մատերիայից և միմյանցից, բացարձակ են այն առումով, որ քանոնների և ժամացույցների ցուցմունքները կախված չեն հաշվարկի համակարգի ընտրությունից՝ նրանք միատեսակ են գործում բոլոր համակարգերում:

Տարածությունն ու ժամանակը, սակայն, տարբեր ձևով են ներկայացնում մեխանիկական շարժման հատկությունները. **Ժամանակը նույնն է բոլոր համակարգերում** և չի փոխվում մի համակարգից մյուսին անցնելիս կամ կոորդինատական համակարգի տեղաշարժի և պտտման դեպքում (այն է, սկալյար մեծություն է): **Շարժման տարածական պատկերը հարաբերական է,** կախված է համակարգի ընտրությունից ու կոորդինատական համակարգի ձևափոխությունից և, ի տարբերություն ժամանակի, ներկայացվում է վեկտորական մեծություններով:

Որպեսզի ներկայացվի մեխանիկական շարժման տարածաժամանակային պատկերը, որպես միջոց առանձնացվել են իներցիալ համակարգերը, որոնք բոլորը նույնացվել և մի ընտրյալ, առանձնահատուկ համակարգ են համարվել՝ իներցիալ համակարգ, ի շնորհիվ Գ. Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի, ըստ որի մեխանիկայի օրենքներն անփոփոխ են (ինվարիանտ են, ձևապահպան են) Գալիլեյի ձևափոխությունների նկատմամբ (§7-ի (1) բանաձևերը): Արդյունքում ձևակերպվել են այն պահանջները, որոնց պետք է բավարարի կինեմատիկան ներկայացնող մեծությունը, որը պետք է կապի նաև շարժման ձևը շարժում առաջացնող պատճառների հետ, այսինքն, մասնակիցը լինի նաև դինամիկային: Պարզեցինք, որ այդ պայմաններին բավարարում է արագացումը: Իրոք, արագացումը լիակատար կերպով նկարագրում է շարժման կինեմատիկան՝ տարածաժամանակային հատկությունները: Մյուս կողմից արագացումը կախված չէ իներցիալ համակարգի ընտրությունից, ուստի բավարարում է Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքին, բացի այդ, նաև վեկտորական է, ուստի կոորդինատական համակարգի տեղաշարժման ու պտույտի ժամանակ ձևափոխվում է այնպես, ինչպես շառավիղ-վեկտորը (կամ որ համարժեք է՝շարժման օրենքը):

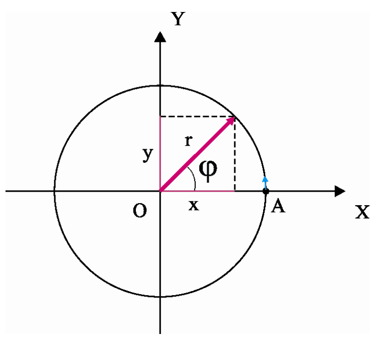
Տարածությունն ու ժամանակն օժտված են տեղաշարժական համաչափությամբ՝ համասեռ են: Դա արտահայտվել է նրանով, որ տարածական ու ժամանակային չափումների համար սկզբնակետերի ընտրությունը կամայական է, այսինքն, բոլոր կետերն այդ առումով համարժեք են, իրավահավասար: Այդ կամայականությունը շրջանցել ենք հեռավորության և ժամանակամիջոցի գաղափարների ներմուծմամբ, սակայն այն որպես հատկություն մնում է և մենք դեռևս նրանից օգտվելու ենք: Տարածությունը, դրանից զատ, նաև իզոտրով է, այսինքն, նրա ոչ մի ուղղություն մյուսից գերադասելի չէ, իսկ ժամանակի ուղղությունը դասական ֆիզիկայում նախընտրված է:

Այնուամենայնիվ ուշադրության արժանի է այն հանգամանքը, որ մենք հանջինս դասական ֆիզիկայում սահմանված բացարձակ տարածության ու ժամանակի, քսա էության ունենք մի եզակի ու նախընտրելի համակարգ, որը հարաբերականության սկզբունքին հակասում է՝ ծնելով դժվարություն դասական ֆիզիկայում:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: Ուսումնասիրել հավասարաչափ պտտական շարժումը կոորդինատական եղանակով:

Լուծում: Շարժման ֆիզիկական պատկերն այստեղ պարզ է. նյութական կետը կատարում է պտտական շարժում հաստատուն ω անկյունային արագությամբ և r շառավղով, ինչպես պատկերված է նկ. 1-ում: Խնդիրը պահանջում է տրված r և ω մեծություններով արտահայտել նյութական կետի շարժման օրենքը, հետագիծը և մյուս կինեմատիկական մեծությունները: Չնվազեցնելով ընդհանրությունը՝ համարենք, որ շարժումը սկսվել է A կետից և պտտվում է ժամացույցի սլաքին հակառակ ուղղությամբ: Այդ դեպքում ըստ §10-ի



Նկար 1

$$\varphi(t) = \omega t, \qquad (1)$$

իսկ շարժումը կարող ենք, ըստ շարժման անկախության սկզբունքի, ներկայացնել որպես OX և OY ուղղություններով ***միաժամանակ*** կատարվող երկու ուղղագիծ շարժումների գումար, այսինքն, նկարից և (1)-ից կարող ենք գրել շարժման օրենքը կոորդինատական տեսքով.

$$x = r\cos\omega t, \qquad y = r\sin\omega t, \qquad (2)$$

կամ որ նույնն է, վեկտորական տեսքով այն կլինի՝ $\vec{r}(t) = \vec{i} \cdot \mathrm{r} \cos \omega \mathrm{t} + \vec{j} \mathrm{r} \sin \omega \mathrm{t}$:
(2) բանաձևերը քառակուսի բարձրացնենք և գումարենք իրար, կստանանք հետագծի հավասարումը.

$$x^2 + y^2 = r^2 = const\ , \qquad (3)$$

որը r շառավղով շրջանագծի հավասարումն է: Քանի որ, $|\varphi(\mathrm{t})| \ll 1$ դեպքում $\sin \varphi(\mathrm{t}) \approx \varphi(\mathrm{t})$, ապա արագության և արագացման սահմանումների հիման վրա, որոշ եռանկյունաչափական ձևափոխություններով (2)-ից կարող ենք ստանալ.

$$\mathrm{v_x} = \omega \cdot \mathrm{y} = \omega \mathrm{r} \sin \omega \mathrm{t}, \qquad \mathrm{v_y} = -\omega \cdot \mathrm{x} = -\omega \mathrm{r} \cos \omega \mathrm{t}, \qquad (4)$$

$$\mathrm{a_x} = -\omega^2 \mathrm{x} = -\omega^2 \mathrm{r} \cos \omega \mathrm{t}, \quad \mathrm{a_y} = -\omega^2 \mathrm{y} = -\omega^2 \mathrm{r} \sin \omega \mathrm{t}: \qquad (5)$$

Քառակուսի բարձրացնելով և գումարելով (4)-ից կաստանանք.

$$\mathrm{v} \equiv \sqrt{\mathrm{v_x}^2 + \mathrm{v_y}^2} = \omega \cdot \mathrm{r}\ , \qquad (6)$$

նման կերպ կստանանք արագացման մոդուլը.

$$\mathrm{a} = \omega^2 \cdot \mathrm{r}: \qquad (7)$$

Ինչպես տեսնում ենք, (6) և (7) բանաձևերը համընկնում են §10-ի համապատասխան բանաձևերի հետ: Արագացման ուղղությունը կարող ենք ստանալ, եթե (5)-ը գրենք վեկտորական տեսքով՝ $\vec{\mathrm{a}} = -\omega^2 \cdot \vec{\mathrm{r}}$:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հեշտու՞մ եք տարածության ու ժամանակի հատկությունները:
2. Հասկացե՞լ եք տարածության ու ժամանակի հատկությունները և դրանց բացարձակությունը:
3. Յուրացրե՞լ եք հարաբերականության սկզբունքի §7-ում և այստեղ բերված ձևակերպումները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1*. Բանավեճ-քննարկում: Փորձե՛ք գտնել հակասություն տարածության ու ժամանակի բացարձակության և Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի միջև:

2. Հիմնավորե՛ք շարժման կինեմատիկական բնութագրիչի՝ արագացման վեկտոր լինելու անհրաժեշտությունը**:**

3. Բացատրե՛ք ժամանակի և տարածության տարբերությունը՝ **ա.** մի կոորդինատական համակարգից մյուսին անցնելիս, **բ**. մի իներցիալ համակարգից մյուսին անցնելիս:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. Հորիզոնական ուղղությամբ հավասարաչափ շարժվող վագոնի առաստաղին ամրացված զսպանակից կախված բեռը կատարում է տատանողական շարժում: Ինչպիսի՞ն է նշված բեռի հետագիծը Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգում:
2. Գետնից 4 մ բարձրությամբ պատուհանից հորիզոնական ուղղությամբ պատին ուղղահայաց նետված քարը գետնին ընկավ շենքի պատից 3 մ հեռու: Որքա՞ն է քարի տեղափոխության մոդուլը:
3. Որքա՞ն է նյութական կետի տեղափոխության մոդուլը R շառավիղ ունեցող շրջանագծով 2,5 պտույտ կատարելիս:
4. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում կատարող հետիոտնը 10 վայրկյանում անցավ 15 մ ճանապարհ: Ի՞նչ ճանապարհ նա կանցնի 2 վայրկյանում՝ շարժվելով նույն արագությամբ:
5. Երկու մարմինների շարժումները նկարագրվում են $x_1=5+4t$ և $x_2=20+4t$ հավասարումներով, որտեղ մեծությունները արտահայտված են ՄՀ-ի համապատասխան միավորներով: Ժամանակի ո՞ր պահին նրանք կհանդիպեն:
6. Երկու մարմիններ $v_1=20$ կմ/ժ և $v_2=60$ կմ/ժ արագություններով շարժվում են իրար ընդառաջ: Որքա՞ն է երկրորդ մարմնի հարաբերական արագությունն առաջինի նկատմամբ և ինչպե՞ս է այն ուղղված:
7. Նյութական կետը շարժման ամբողջ ժամանակի առաջին կեսում շարժվում է v_1 արագությամբ, իսկ երկրորդ կեսում՝ v_2 արագությամբ: Որքա՞ն է նյութական կետի ճանապարհային միջին արագությունն ամբողջ ժամանակում:
8. Մարմնի արագության պրոյեկցիայի՝ ժամանակից կախումն արտահայտվում է $V_X=2-3t$ հավասարմամբ: Գտնել տեղափոխության պրոյեկցիայի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող հավասարումը:

9. X առանցքով շարժվող նյութական կետի շարժումը նկարագրվում է $x=5+4t-2t^2$ հավասարումով, որտեղ մեծությունները արտահայտված են ՄՀ-ի համապատասխան միավորներով: Որքա՞ն է այն կետի կոորդինատը, որտեղ նյութական կետի արագությունը զրո է:

10. 20 սմ շառավղով շրջանագծով շարժվող նյութական կետի պտտման անկյան կախումը ժամանակից արտահայտվում է $\omega=3t$ բանաձևով, որտեղ մեծությունները արտահայտված են ՄՀ-ի համապատասխան միավորներով: Որոշել նրա անկյունային և գծային արագությունները:

11. Որքա՞ն է $v = 5$ մ/վ արագությամբ հավասարաչափ շրջանագծային շարժում կատարող նյութական կետի արագության վեկտորի փոփոխության մոդուլը քառորդ պարբերության ընթացքում:

12. Ինչպե՞ս կփոխվի հավասարաչափ շրջանագծային շարժում կատարող մարմնի կենտրոնաձիգ արագացման մոդուլը, եթե արագության մոդուլը մեծանա 2 անգամ:

13. Ինչպե՞ս կփոխվեն նյութական կետի արագացումը, արագությունը և անկյունային արագությունը, եթե 2 անգամ մեծացնենք երկարության ու ժամանակի միավորները:

Գլուխ 3.

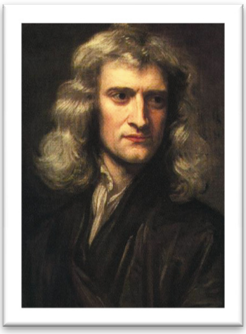
ՆՅՈՒԹԱԿԱՆ ԿԵՏԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱ

§12. Մարմինների փոխազդեցությունը: Նյուտոնի օրենքները: Պատճառականության սկզբունքը մեխանիկայում

Կինեմատիկա բաժնում փորձերի հիման վրա ընդունելով մի քանի սկզբունքներ և ներմուծելով մեխանիկական շարժումը բնութագրող մեծություններ՝ նկարագրեցինք շարժման տարածաժամանակային հիմնական հատկությունները՝ առանց դիտարկելու պատճառահետևանքային կապերը, որն էլ այս բաժնի հիմնական նպատակն է: Մեխանիկայի բաժինը, որն ուսումնասիրում է շարժման պատճառահետևանքային կապերն, անվանում են **դինամիկա**:

Նախ պարզենք, ճշմարի՞տ էր, արդյոք, մեր ենթադրությունն առ այն, որ բնության մեջ կան իներցիալ համակարգեր, առանց որոնց մեր կառուցած կինեմատիկան մասամբ իմաստազրկվում է: Նյուտոնը՝ դասական մեխանիկայի հայրը, այս հարցին տվեց դրական պատասխան, պնդելով, որ բնության մեջ գոյություն ունեն իներցիալ համակարգեր, որը ձևակերպեց որպես դինամիկայի **առաջին հիմնական օրենք**:

Նյուտոնը սկզբում փորձերից եզրակացրեց, որ ոչ մի նյութական մարմին իր շարժման վիճակը չի փոխում, եթե չկան այլ միջամտություններ՝ ազդեցություններ: Իրոք, առօրյայում անգամ մենք տեսնում և զգում ենք դա: Ենթադրենք սահադաշտի և ասֆալտի վրա դրված են մետաղե փոքրիկ տափօղակներ: Դրանք կմնան անշարժ, քանի դեռ մականով կամ այլ ձևով դրանց չենք հարվածել ու այդ դադարի վիճակից հանել: Դրանց միանման հրենք հարթ սառցադաշտի ու ասֆալտի մակեևույթներով, կտեսնենք, որ տափօղակը սառցադաշտում հեռու է սահում, իսկ ասֆալտի վրա՝ շատ կարճ:



Նյուտոն Իսահակ (1643 - 1727)

Անգլիացի մեծագույն ֆիզիկոս և մաթեմատիկոս: Ձևակերպել է մեխանիկական շարժման ընդհանուր օրենքները, հայտնագործել տիեզերական ձգողության օրենքը, ստեղծել դիֆերենցիալ և ինտեգրալ հաշվի հիմունքները: Նա նշանակալի հետազոտություններ է կատարել օպտիկայի բնագավառում: Նրա հետազոտությունները հրապարակվել են «Բնափիլիսոփայության մաթեմատիկական հիմունքները» (1687) վերնագրով վիթխարի աշխատությունում և «Օպտիկա» (1704) գրքում:

Եթե տափօղակի վրա դնենք ջրով լի փոքր ապակե բաժակ, այն կընկնի, հենց-որ խոչընդոտը կտրուկ կասեցնի տափօղակի արագ ընթացքը: Իսկ եթե բաժակը տափօղակից չընկնի, ապա ջուրը իր ընթացքը կշարունակի ու բաժակից դուրս կթափվի: Այդ երևույթի պատճառը, բնականաբար, պայմանավորված է սառցադաշտի ու ասֆալտի տարբերություններով: Ասֆալտի, հատկապես տաք ասֆալտի, շփումը շատ մեծ է, ուստի ազդեցությունը մեծ է և շատ շուտ է փոխում տափօղակի շարժման վիճակը, իսկ սառցադաշտի շատ փոքր շփումը համարյա չի փոխում տափօղակի շարժման վիճակը: Տափօղակը թրջենք, շփումը կմեծանա և սահքը խիստ կնվազի: Այսօրինակ փորձեր կարելի է շատ բերել, որոնց արդյունքում կարելի է անել որոշ կարևոր եզրակացություններ:

1. Բնության մեջ գոյություն ունեն մարմնի շարժման վիճակը փոխելու ունակ արտաքին ազդեցություններ, որոնց անվանեցին **արտաքին ուժեր**:

2. Բոլոր մարմիններն ունեն իրենց շարժման վիճակը պահելու և չեզոք մնալու (ազդեցությունների չտրվելու) ունակություն, որի չափը որակեցին որպես **իներտ զանգված:**

Եթե տափօղակի տակ ասֆալտի կամ սառցաշերտի վրա բացվածք լինի, ապա կտեսնենք, որ տափօղակն ընկնում է այդ բացվածքի մեջ: Դա նշանակում է, որ սառցաշերտն ու ասֆալտը ինչ-որ պատճառով համակշռում են Երկրի ազդեցությունն իրենց ազդեցությամբ: *Ազդեցություններն անվանենք համակշռված, եթե շարժման վրա նրանց համատեղ ազդեցության արդյունքը նույնն է, ինչ նրանց բացակայությամբ:* Դիտարկված օրինակում սառցաշերտն ու ասֆալտը եզակի չեն, նույնը տեղի ունի լարից կախված գնդիկի և նման բոլոր մյուս դեպքերում:

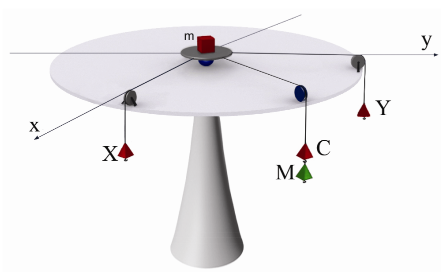
Հարց է ծագում՝ վերը արված եզրակացությունները բոլոր համակարգերո՞ւմ են ճիշտ, թե՞ լոկ որոշ «ընտրյալ» համակարգերի համար դա տեղի ունի: Փորձը ցույց է տալիս, որ, եթե ինչ-որ կերպ սահադաշտը (կամ ասֆալտը) պտտվեր, ապա շարժման վիճակը կփոխվեր նաև առանց այլ ազդեցությունների: Ենթադրենք սահադաշտը և լարից կախված գնդիկը տեղադրված են մեծ սայլի վրա: Երբ սայլը արագացումով շարժվի, «իրեն-իրեն», առանց նոր ազդեցությունների, տափօղակը կշարժվի արագացման հակառակ ուղղությամբ, իսկ լարը կթեքվի: Մյուս կողմից, եթե սայլը շարժվի ուղղագիծ և հավասարաչափ, ապա տափօղակի ու լարի վիճակները կլինեն նույնը, ինչ անշարժ սայլի դեպքում էր:

Այս փորձերի համար Երկիրը համարվեց անշարժ ու մեկուսացված (զերծ այլ օբյեկտների ազդեցություններից), քանի որ վերը ներկայացված փորձերի արդյունքների վրա էական ազդեցություն չունեն ոչ Երկրի շարժումը , ոչ էլ մյուս այլ աննշան ազդեցություններ: Բայց բերված փորձերը բավարար հիմք չեն հանդիսանում համոզիչ եզրահանգման համար: Սակայն բազմաթիվ այլ փորձեր ևս, այդ թվում երկնային մարմինների շարժումների դիտումների արդյունքները, հիմք ծառայեցին Նյուտոնի համար, որպեսզի ձևակերպի դինամիկայի առաջին օրենքը. ***Գոյություն ունեն այնպիսի հաշվարկի համակարգեր, որոնցում արտաքին ազդեցությունների բացակայության կամ համակշռության պայմաններում մարմինները պահպանում են իրենց հարաբերական դադարի կամ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման վիճակը:*** Այդպիսի համակարգերն անվանում են (ինչպես և մենք ենք անվանել) **իներցիալ**: *Նյուտոնի առաջին օրենքը փաստում է իներցիալ համակարգերի գոյությունը* և Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի հետ միասին ուղեցույց են հանդիսանում դինամիկայի կառուցման համար:

Բնության մեջ ամեն երևույթ իր պատճառն ունի, որի համար ինքը հետևանք է, և ամեն երևույթ իր հետևանքն ունի, որի համար ինքը պատճառ է: Դասական ֆիզիկայում ամեն պատճառ **որոշակի** հետևանքի է բերում, իսկ ամեն հետևանք էլ իր **որոշակի** պատճառն ունի: Այստեղից հետևում է, որ մեխանիկական համակարգի, մասնավորապես, նյութական կետի զարգացման վիճակները միմյանց հետ կապված են **որոշակի միարժեք** պատճառահետևանքային կապով, ուստի համակարգի ցանկացած տրված վիճակ լիովին որոշում է իր զարգացման (էվոլյուցիայի) մյուս բոլոր հնարավոր վիճակները: Այս բոլորը ներկայացնում են **պատճառականության սկզբունքի** էությունը դասական մեխանիկայում: Ուստի պատճառահետևանքային կապի գտնելը մեխանիկայում դառնում է հիմնական խնդիրը: Վերը նշեցինք, որ շարժման պատճառ է հանդիսանում ազդեցությունը, որը մակածում է ինչպես մարմնի շարժում այլ մարմինների նկատմամբ, այնպես էլ մարմնի մասերի շարժում միմյանց հանդեպ: Այս վերջին դեպքում մարմինը փոխում է իր երկրաչափական ձևը, որն անվանում են ձևախախտում (**դեֆորմացիա**): *Այն ազդեցությունը, որը մարմնին հաղորդում է արագացում, կամ ենթարկում է նրան դեֆորմացիայի, կամ էլ առաջացնում է այդ երկուսը միասին, կոչվում է **ուժ**:* Այսինքն, ուժը շարժման արտաքին, մարմնից դուրս պատճառ է: Կա նաև արագացում առաջացնելու պատճառ հենց մարմնի մեջ, այսինքն, շարժման ներքին պատճառ: Վերջինս հայտնի է նաև բազում փորձերից, ըստ որոնց ցանկացած **նյութական մարմին օժտված է** ուժի ազդեցությամբ արագացում ստանալու, շարժման իր վիճակը պահպանելու, չեզոք մնալու (այսինքն, արտաքին ուժին համակշռելու) ունակության քանակով, որին անվանում են **իներտ զանգված:** Ուստի պատճառականության սկզբունքի դրսևորումը մարմնի շարժման ձևի ու նրա վրա ազդող ուժի և նրա զանգվածի կապն է, որը պետք է անփոփոխ մնա կոորդինատական համակարգի և Գալիլեյի ձևափոխությունների դեպքում: Կինեմատիկայում հաստատել ենք, որ շարժման ձևը կարող է նկարագրել արագացումը, ուստի խնդիրը հանգում է նյութական կետի արագացման ու նրա վրա ազդող ուժի և նրա զանգվածի միջև կապի փորձնական որոշմանը: Միայն գիտենք, որ իներտ զանգվածը և ուժն արագացման պատճառ են, բայց թե ի՞նչ են դրանք, ի՞նչ պատճառով են ծագում, ինչպե՞ս նրանց չափենք, չգիտենք:

Իներտ զանգվածի համար կրկնենք ճիշտ նույն դատողությունները, որոնք արել ենք ներածությունում նյութական զանգվածի համար՝ որպես նյութի քանակ մարմնի մեջ: Բոլոր պայմանները նույնը պահելով՝ չափենք նյութի տարբեր քանակ պարունակող մարմինների արագացումները, կհամոզվենք, որ իներտ զանգվածը ևս համեմատական է նյութի քանակին մարմնի մեջ, իսկ համեմատականության գործակիցն էլ ունիվերսալ հաստատուն է: Ուստի այդ հաստատունը կարող ենք դնել հավասար 1-ի և իներտ զանգվածը նույնացնել նյութական զանգվածի հետ:

*Ուժը չափելու համար մի քանի ենթադրություններ պիտի անել նրա մասին: Նախ, ուժը մի այլ մարմնի ինչ-որ ազդեցություն է , այն էլ այնպիսին, որ ամեն ինչով նրա հետ նույնական եւ մի մարմին նույն պայմաններում կազդի դարձյալ նույն ուժով: Հետո, այդ նույն երկու մարմինների միաժամանակյա ազդող ուժը երկու անգամ մեծ է նրանցից յուրաքանչյուրի ազդած ուժից: Երկու ուժեր համարենք իրար հավասար, եթե նույնական են նրանց ազդեցության արդյունքները: Ոչ հավասար ուժերի համար չափով մեծ համարենք այն ուժը, որի առաջացրած արագացման մեծությունը մեծ է: Պարզ փորձով կարող ենք համոզվել, որ ուժը, ի տարբերություն զանգվածի, բնութագրվում է նաև տարածության մեջ ուղղությամբ: Մտովի կատարենք հետևյալ փորձը: Ենթադրենք հարթ սեղանի վրա դադարի վիճակում գտնվում է անկշիռ մի սայլակ, որը կարող է իր միակ գնդաձև անիվի վրա շարժվել բոլոր ուղղություններով առանց շփման: Իհարկե, խիստ իդեալականացված է փորձը, մի գնդիկի վրա սայլակը հազիվ թե մնա հորիզոնական դիրքում հավասարակշռված կայուն վիճակում, կշիռ չունենալ կամ առանց շփման շարժվել: Դրված նպատակի համար կարելի էր ավելի իրատեսական փորձ ընտրել, սակայն **ընտրված փորձը շատ հարմար է ցուցադրելու փորձ անելու գործընթացի տրամաբանությունը:***



Նկար 1

Նկ. 1-ում պատկերված սայլակին ամրացնենք x և y ուղղություններով ճախարակների վրայով անցնող չձգվող միանման թելերով երկու նժարներ, որոնք դատարկ լինելու դեպքում հավասարակշռում են շփման ուժերին և սայլակը չեն շարժում:

Նախ ստուգենք վերևում արված ենթադրությունները: Սայլակի վրա տեղավորենք m զանգվածով մարմին, իսկ X նժարին՝ M զանգ-

վածով մարմին: Չափումը ցույց է տալիս, որ արագացումն ունի միայն a_x *բաղադրիչ: Եթե X նժարին M զանգվածի փոխարեն երկու այդպիսի մարմին դնենք (կամ մի հատ՝ 2M զանգվածով), ապա արագացման մեծությունը կլիներ* $2a_x$*: Եթե նույն փորձերը կատարեինք Y նժարի հետ, նույն արդյունքը կստանայինք, միայն* a_x*-ի փոխարեն կլիներ* a_y*: Եզրակացություններ. նախ, եթե M զանգվածն առաջացնում է ինչ-որ ուժ, ասենք f, ապա 2M-ը կառաջացնի 2f, 3M-ը՝ 3f,.. kM-ը՝ kf. հետո էլ՝ ուժը նաև ուղղությամբ է բնութագրվում: Սակայն դա բավարար չէ, որպեսզի ուժը համարենք նաև վեկտորական մեծություն. դրա համար պետք է դեռ համոզվել, որ ուժը ենթարկվում է նաև գումարման եռանկյան կանոնին: Կատարենք գիտափորձ. սայլի վրա միաժամանակ ազդենք երկու ուժով՝ X նժարին դնելով 4M, Y նժարին՝ 3M: Եթե ուժը վեկտոր է, ապա արագացման մեծությունը պիտի լինի* $\sqrt{(4a_x)^2+\left(3a_y\right)^2} =$ $= 5a_x = 5a_y$, *այսինքն, ունենա 5f ուժի ազդեցություն: Բացի այդ, արագացումը պետք է ուղղված լինի պյութագորյան ուղղանկյուն եռանկյան ներքնաձգով (նկ. 1-ում m-ից դեպի C նժարի ուղղությամբ): Հակառակ դեպքում ուժը վեկտորական մեծություն չի լինի (չնայած ունի նաև ուղղություն): Նաև պետք է ստուգել, թե C նժարին դրած 5M զանգվածն առաջացնում է նույն 5f =5*a_x *արագացում: Գիտափորձը դա հաստատում է, ուստի ուժն իրոք վեկտորական մեծություն է: Այս փորձերը նաև լրացուցիչ տեղեկություններ են տալիս, որոնք հիմք են ծառայել ֆիզիկայի շատ կարևոր սկզբունքի առաջադրման համար՝* ***ուժերի վերադրման սկզբունքի****. մարմնի վրա ազդող մի քանի ուժերի համատեղ ազդեցությունը համարժեք է (այսինքն, նույն արդյունքին է բերում) նրանց առանձին ազդեցությունների վեկտորական գումարին: Մենք այս սկզբունքը համարենք բազմաթիվ փորձնական արդյունքների ընդհանրացում և ընդունենք: Մյուսը, որ բխում էր վերը բերված փորձերից, այն է, որ չիմանալով ի՞նչ է f ուժը կամ ինչպե՞ս f-ը չափենք, այնուհանդերձ մենք կարող ենք ունենալ ուժի 2f, 3f, 0,5f 0,1f,.... kf արժեքները լոկ փոփոխելով նժարների վրա M-ը: Սա մեզ թույլ կտա որոշ դեպքերում փորձով գտնել մեծությունների համեմատական կախումները f-ից՝ չիմանալով հենց f-ը:*

Ֆիզիկայի գեղեցկությունն ու առանձնահատկությունն արտահայտվում են նախ և առաջ այսօրինակ մեթոդների մշակման և կիրառության մեջ, ինչպես նաև դատողությունների տրամաբանական ընթացքով:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք Նյուտոնի առաջին օրենքն ու նրա դերը տեսություն կառուցելու հարցում:
2. Ըմբռնո՞ւմ եք պատճառականության սկզբունքն ու նրա նշանակությունը:
3. Հասկացե՞լ եք ուժերի վերադրման սկզբունքը և նրա միջոցով ուժի չափումը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՛ք Նյուտոնի առաջին օրենքը և փորձնականորեն այն հիմնավորե՛ք:
2. Նկարագրե՛ք ուժից ունեցած կախվածությունների փորձարարական ուսումնասիրման որևէ եղանակ: Նկարագրե՛ք նաև փորձի սխեման և գործընթացը:
3. Բացատրե՛ք պատճառականության սկզբունքը և մեկնաբանե՛ք նրա իմաստը:

§13. Մարմինների փոխազդեցությունը: Նյուտոնի օրենքները: Պատճառականության սկզբունքը մեխանիկայում (շարունակություն)

Շարունակենք սայլակի փորձաշարը, որպեսզի կապ հաստատենք արագացման $\vec{a}$ վեկտորի և ուժի $\vec{F}$ վեկտորի ու նյութական կետի m զանգվածի միջև: Սայլակի վրա գտնվող m զանգվածը պահելով՝ փոփոխենք X նժարի վրայի զանգվածները (որ նույնն է, ուժի F_x բաղադրիչի արժեքները)՝ M, 2M,…kM և չափենք արագացումը: Փորձի արդյունքներն են.

$$F_x \to a_x\ ;\quad 2F_x \to 2a_x, \dots kF_x \to ka_x;\quad a_x \sim F_x, \qquad (1)$$

Մյուս ուղղությունների համար փորձը կբերի նման եզրահանգման.

$$\vec{a} \sim \vec{F}\ : \qquad (2)$$

Հաստատուն պահելով ուժը (նժարի վրայի զանգվածը)՝ փոփոխենք սայլակի վրայի m զանգվածը, կունենանք.

$$a_x \sim \frac{1}{m}\ ;\quad a_y \sim \frac{1}{m}\ ;\quad a_z \sim \frac{1}{m}\ : \qquad (3)$$

(2) և (3) առնչությունները միավորելով՝ կստանանք մի համեմատականություն, որում համեմատականության k գործակից մտցնելով՝ կանցնենք հավասարության.

$$\vec{a} = k\frac{\vec{F}}{m}: \qquad (4)$$

Բոլոր փորձերը կրկնենք հատակի նկատմամբ հավասարաչափ շարժվող սեղանին, ոչ մի շեղում (4) հավասարումից չենք դիտի: Սակայն հենց որ սեղանն արագացում ստանա, (4)-ը կխախտվի: Ուրեմն (4) հավասարումը տեղի ունի միմիայն իներցիալ համակարգերում: Ուսումնասիրենք k գործակիցը: Եթե փորձերը կրկնենք տարբեր պայմաններում, Տիեզերքի տարբեր մասերում, տարբեր պահերի, տարբեր նյութերի հետ, կտեսնենք, որ k գործակիցը համընդհանուր (ունիվերսալ) հաստատուն է: Այսպիսով ձևակերպենք Նյուտոնի 2-րդ օրենքը, որը դինամիկայի հիմնական օրենքն է՝ **շարժման հավասարումը**. ***Ցանկացած իներցիալ համակարգում նյութական կետի արագացումը համեմատական է նրա վրա ազդող ուժին, ունի այդ ուժի***

ուղղությունը, հակադարձ համեմատական է նյութական կետի զանգվածին, իսկ համեմատականության գործակիցը ունիվերսալ հաստատուն է:

Ուժի միավոր դեռևս չունենք, ուստի (4)-ից այն կարող ենք ընտրել այնպես, որ k-ն հավասար լինի 1-ի: SI համակարգում ուժի միավորը **Նյուտոնն** է. **1Ն** այն ուժն է, որը 1 կգ զանգվածին իր ուղղությամբ հաղորդում է 1 մ/վ^2 արագացում:

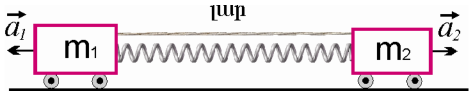
Հարկ է նշել, որ եթե *մեր խնդիրը լիներ լոկ Նյուտոնի օրենքի փորձնական ստուգումը,* մենք ավելի հարմար ու անմիջական փորձի կդիմեինք: Մենք պարզապես օգտվեցինք առիթից ցուցադրելու դատողությունների մի ընթացք, որը ֆիզիկայում շատ է օգտագործվում:

Այժմ մեկնաբանենք Նյուտոնի 2-րդ օրենքը պատճառականության սկզբունքի տեսանկյունից. (4) հավասարման ձախ մասը շարժման տարածական-ժամանակային ձևը նկարագրող մեծությունն է՝ արագացումը, իսկ աջ մասը պարունակում է միայն շարժման պատճառները բնութագրող մեծություններ՝ ուժն ու զանգվածը: Նյուտոնի 2-րդ օրենքը կարելի է ստանալ նաև այլ տրամաբանական պահանջով. *ստանալ շարժման հավասարում այնպես, որ իրար հետ կապվեն նյութական կետի պարամետրերը՝ զանգվածն ու արագացումը, մի կողմից, արտաքին ներգործությունները՝ ուժերը, մյուս կողմից:* Դրա համար կարելի է այլ փորձ մշակել, բայց արդյունքում կստանանք մի հավասարում, որը ձևականորեն կստացվի (4) հավասարումից, եթե նրա երկու կողմն էլ բազմապատկենք m զանգվածով.

$$m\vec{a} = \vec{F}, \tag{5}$$

որը նյութական կետի շարժման հավասարումն է իներցիալ համակարգերում և նկարագրում է նյութական կետի ողջ դինամիկան՝ տրված նախնական պայմանների դեպքում: Շարժման (5) հավասարումը չի պարունակում իներցիալ համակարգի ընտրությունից կախված մեծություն, ուստի բավարարում է հարաբերականության սկզբունքի պահանջին: Այն նաև կախված չէ կոորդինատական համակարգի սկզբնակետից և առանցքների ուղղություններից, քանի որ այդ դեպքում (5)-ի աջ և ձախ մասերը որպես վեկտորներ ձևափոխվում են նույն օրենքով և հավասարումը ձևափոխված համակարգում դարձյալ նույն տեսքն ունի. $m\vec{a}' = \vec{F}'$: Իհարկե, Նյուտոնի 2-րդ օրենքի երկու ձևակերպումն էլ ամեն առումով, նաև պատճառական սկզբունքի արտահայտման, լիովին համարժեք են և երկու դեպքում էլ $\vec{F}$-ի տակ պետք է, ըստ ուժերի վերադրման (սուպերպոզիցիայի) սկզբունքի, հասկանալ ազդող ուժերի գումարը՝ համազորը:

Նյուտոնի 1-ին և 2-րդ օրենքները լրացման կարիք ունեն այն առումով, որ չպարզված մնացին շարժման արտաքին պատճառի՝ ուժի ծագումը և ընդհանուր հատկությունները: Ուժերի ծագման ու բնույթի հարցերն ուսումնասիրվում են ֆիզիկայի բոլոր ճյուղերում, որոնք մասամբ միայն կներկայացնենք սույն դասագրքի հետագա բաժիններում: Այստեղ նկարագրենք ուժերի մի շատ ընդհանուր հատկություն: Դիմենք փորձի օգնությանը: Նախ, արդեն գիտենք, որ իներցիալ համակարգում արագացում առաջանում է բացառապես ուժի ազդեցությամբ, ընդ որում, պարտադիր առկա է ազդող մարմինը: Բնական հարցեր են ծագում. իսկ արդյունքում ի՞նչ է կատարվում ազդող մարմնի հետ, ինչի՞ հաշվին և ինչպի՞սի ընդհանուր օրենքի է ենթարկվում ազդեցությունը: Որպեսզի այս հարցերին փորձնական պատասխան տանք, հարկ է հիշեցնել, որ դեռևս անմիջական չափել կարող ենք միայն նյութական կետի արագացումն ու զանգվածը, իսկ ուժը կարող ենք որոշել անուղղակի, Նյուտոնի 2-րդ օրենքից հաշվելով, քանի որ դեռևս չունենք ոչ ուժ չափելու գործիք (ուժաչափ), ոչ էլ գիտենք ուժի ազդման մեխանիզմը: Հետևաբար պետք է այնպիսի փորձ նախատեսենք, որ հենվի լոկ արագացման և զանգվածի չափման վրա: Դիտարկենք §12 –ի նկ. 1-ում պատկերված փորձը: Հեշտ է պարզել, որ եթե լարը կտրենք, ապա M զանգվածի ազդեցությունը կվերանա, իսկ զանգվածը և լարը կընկնեն հատակին: Այստեղից կհետևի, որ M-ը ազդում է m-ի վրա լարի միջոցով. M-ը ազդում է լարի վրա, լարը՝ m-ի: Բայց իր հերթին m-ը ազդում է լարի վրա, լարը՝ M-ի, այլապես լարն ու M-ը կընկնեին հատակին: Այսինքն, առկա է փոխադարձ ազդեցություն: Այս եզրակացությունում համոզվենք այլ փորձերով ևս: Դիցուք m_1 և m_2 զանգվածներով սայլակները ամրացված են լարով, իսկ նրանց միջև տեղադրված է սեղմված զսպանակ, ինչպես նկ. 1-ում: Հենց թելը կտրենք, սայլակները կշարժվեն նույն ուղիղ գծով և հակառակ ուղղություններով, արագացումով, այնպես, որ $\frac{a_1}{m_1} = \frac{a_2}{m_2}$: Նմանօրինակ փորձ կարելի է իրականացնել գնդիկների հարվածների միջոցով: Փորձերում փոխազդեցու-



Նկար 1

թյան ձևը, մեխանիզմը և հեռավորությունն էական չէին ընդհանուր հատկության համար, որը Նյուտոնը ձևակերպեց որպես 3-րդ օրենք. ***Բնության մեջ կան միայն փոխազդեցություններ և ամեն ազդեցություն հանդես է գալիս իր հակազդեցությամբ, այսինքն, եթե A մարմինն ազդում է B մարմնի վրա $\vec{F}_{AB}$ ուժով, ապա B-ն էլ ազդում է A-ի վրա $\vec{F}_{AB}$ ուժով, այն էլ հետևյալ օրինաչափությամբ. այդ ուժերը հավասար են ըստ մեծության՝ $F_{AB} = F_{BA}$, հակադիր են ըստ ուղղության, ունեն նույն ազդման գիծը (ուղղված են նույն ուղիղով):*** *Հարկ է նշել, որ այդ ուժերը չեն համակշռում, քանի որ ազդում են պարբեր մարմինների վրա:* Նյուտոնի 3-րդ օրենքը գրենք վեկտորական տեսքով.

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} : \qquad (6)$$

Ընդգծենք, որ Նյուտոնի այս երեք օրենքները միմյանցից չեն բխում, այլ անկախ նշանակության օրենքներ են: Երբեմն թյուրիմացաբար համարում են, որ 1-ին օրենքը բխում է 2-րդից, երբ արագացումը դնում են զրո: Դա բնավ չի նշանակում, թե 1-ին օրենքը բխում է 2-րդից, այլ լոկ հավաստում է այն փաստը, որ 2-րդ օրենքը տեղի ունի միայն իներցիալ համակարգերում և այդ տեղեկությունը 2-րդ օրենքում ներառված է, որը կարող ենք դուրս հանել արագացումը զրո դնելով:

Այսպիսով, Նյուտոնի 1-ին օրենքը հավաստում է միայն իներցիալ համակարգի գոյությունը, Նյուտոնի 2-րդ օրենքը շարժման հավասարումն է *այդ համակարգում* և կապում է շարժման ձևը շարժման պատճառների՝ զանգվածի և ուժերի հետ, իսկ Նյուտոնի 3-րդ օրենքը արտահայտում է այդ ուժերի ընդհանուր հատկությունները:

Լրացուցիչ նյութ: Դինամիկայի որոշ կիրառություններ:

Դինամիկայի խնդիրները, բնականաբար, պետք է լուծվեն շարժման հավասարման հիման վրա: Կան երեք տեսակի խնդիրներ՝ ուղիղ, հակադարձ և խառը խնդիրներ:

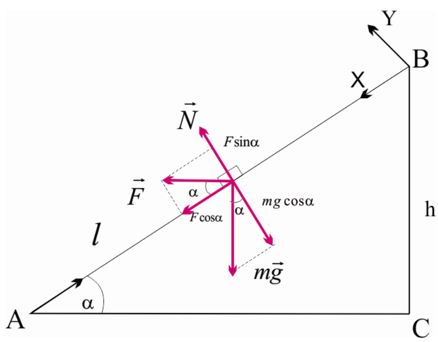
Ուղիղ խնդիրը տրված ուժերով շարժման կինեմատիկան վերականգնելն է, այն է, շարժման օրենքի, արագացման, արագության, հետագծի որոշումը: Այս խնդիրներում նախ պետք է գտնել ազդող բոլոր ուժերն իրենց մեծություններով և ուղղություններով, քանի որ շատ հաճախ նրանք ոչ թե ուղղակիորեն են տրված, այլ ֆիզիկական *ազդեցություններով կամ ազդող մարմիններով: Հետո բոլոր կապերը դեն են նետվում՝ փոխարինվելով իրենց ազդեցություններով ըստ Նյուտոնի 3-րդ օրենքի: Հետո էլ գրում ենք ամեն նյութական կետի համար շարժման հավասարումը վեկտորական տեսքով, որի աջ մասը հանդիսանում է միայն տվյալ մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերի, տրված թե անհայտ, վեկտորական գումարը: Հետո շարժման հավասարումները պրոյեկտում ենք և ստանում հանրահաշվական հավասարումներ: Սովորաբար կոորդինատական առանցքներից մեկն ընտրվում է արագացման ուղղությամբ՝ հայտնի, թե անհայտ: Ուժի ստվերը վերցնում են դրական, եթե այն ուղղված է արագացման ուղղությամբ, և բացասական՝ հակառակ դեպքում: Երբեմն էլ պրոյեկտման առանցքներն ընտրում են ըստ խնդրի երկրաչափական պայմանների առանձնահատկության, նույնիսկ ոչ փոխուղղահայաց: Պետք է ստուգել չափողականություններն ու կոռեկտությունը՝ անհայտների և հավասարումների համապատասխանությունը:*

Հակադարձ խնդրում ճիշտ նույն կարգով տրված արագացմամբ կամ այլ կինեմատիկական մեծություններով որոշում են անհայտ ուժերն ու պարամետրերը:

Խառը խնդրի դեպքում զուգակցվում են մի քանի ուղիղ և հակադարձ խնդիրներ, երբ մեկի լուծման արդյունքը մյուս դրվագի համար հանդիսանում է տրված սկզբնական պայման:

Այս բոլորը ցուցադրենք մի քանի խնդիրների դիտարկմամբ:

Խնդիր 1: *Դիցուք տրված է անշարժ ABC թեք հարթության վրա m զանգվածով չորսու (նկ. 2), որի վրա հորիզոնական ուղղությամբ ազդում է $\vec{F}$ ուժը: Գտնել չորսուի արագացումը և կշիռը շփման բացակայության դեպքում (նշանակումները նկարում):*



Նկար 2

Լուծում: *Տրված են. թեք հարթությունն իր պարամետրերով՝ (l, h) կամ (l, α), քանի որ $h = l\sin\alpha$, և ազդող ուժերը՝ $\vec{F}$ արտաքին ուժը, Երկրի ձգողության $m\vec{g}$ ուժը և հարթության ուղղահայաց հակազդման $\vec{N}$ ուժը:*

$\vec{a}$ արագացումը կգտնենք շարժման հավասարումից.

$$m\vec{a} = \vec{F} + m\vec{g} + \vec{N}, \qquad (7)$$

որը հաշվարկների համար անհարմար վեկտորական հավասարում է, ուստի այն գրենք պրոյեկցիաներով: Դրա համար նախ պետք է ընտրել կոորդինատական առանցքները: Մենք կարող ենք կամայական ընտրություն անել, սակայն շատ հարմար է արագացման, այն է՝ թեք հարթության, և նրան ուղղահայաց ուղղությունն ընտրել, ինչպես նկ. 2-ում ցույց է տրված B կետում (z ուղղությամբ ուժեր չեն ազդում և շարժում չկա, ուստի այդ առանցքը չի բերվում): Վեկտորների պրոյեկցիաները կլինեն. $\vec{a} = (a, 0)$, $\vec{F} = (F\cos\alpha, F\sin\alpha)$, $\vec{N} = (0, N)$, և $m\vec{g} = (mg\sin\alpha, -mg\cos\alpha)$, ուստի (7) հավասարումը պրոյեկտելով՝ կստանանք.

$$ma = F\cos\alpha + mg\sin\alpha + 0, \qquad (8)$$

$$m\cdot 0 = N - mg\cos\alpha: \qquad (9)$$

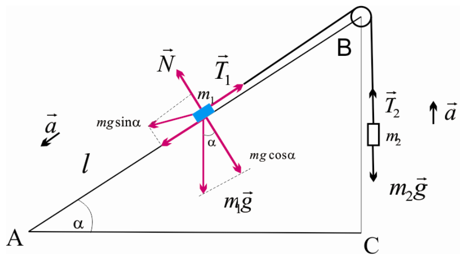
Արագացումը (8)-ից միանգամից կորոշենք.

$$a = \frac{F\cos\alpha}{m} + \sin\alpha: \qquad (10)$$

Եթե (10)-ում F-ի նշանը փոխենք, ապա եթե $F = mg\,tg\,\alpha$, ապա $a = 0$, այսինքն, չորսուի վրա ազդող ուժերը կհամակշռեն: Իսկ եթե $F > mg\,tg\,\alpha$, ապա չորսուն արագացումով դեպի վեր կբարձրանա: Հիմա (3)-ից հաշվենք չորսուի կշռի ուժը (կշիռը): Չորսուի կշիռն այն $\vec{P}$ ուժն է, որով չորսուն ազդում է իր ազատ անկումը խոչընդոտող հենարանի վրա, մեր դեպքում հարթության վրա: Ըստ Նյուտոնի 3-րդ օրենքի, հարթությունն էլ ազդում է չորսուի վրա $\vec{N}$ ուժով, այնպես, որ $\vec{P} = -\vec{N}$, ուստի $P = N = mg\cos\alpha$, որը F-ից կախված չէ բնականաբար:

Խնդիր 2: *Դիցուք տրված է անշարժ ABC թեք հարթության վրա m_1 զանգվածով մարմին, որի գագաթին ամրացված ճախարակի վրայով անցկացված չձգվող անկշիռ թելից կախված է m_2 զանգվածով մարմին (նկ. 3): Շփումը անտեսվում է: Պահանջվում է հաշվել մարմինների արագացումը և թելի լարման $\vec{T}$ ուժը:*

Լուծում: Նախորդ խնդրի նման որոշենք և տեղադրենք ուժերը: $\vec{N}$, $m_1\vec{g}$ և $m_2\vec{g}$ ուժերն արդեն գիտենք, մնում է պարզել թելի ազդեցությունը: Այսօրինակ խնդիրներում վարվում են հետևյալ կերպ: Քանի որ թելը չի ձգվում (դեֆորմացվում), ապա ըստ Նյուտոնի 3-րդ օրենքի, նրա ամեն մի կետում թելի աջ մասն ազդում է ձախ մասի վրա մի ուժով, որին հավասար, բայց հակառակ ուղղված ուժով ձախ մասն է ազդում աջի վրա: Բացի այդ թելի բոլոր կետերն ունեն նույն արագացումը և արագությունը, այլ կերպ թելը կձգվի կամ կսեղմվի: Դա նշանակում է, որ թելը կարող ենք դեն նետել, փոխարենը գրել իր ազդած ուժերը, մեր դեպքում $\overrightarrow{T_1}$ և $\overrightarrow{T_2}$ ուժերը (նկ. 2), ընդ որում $T_1 = T_2 \equiv T$, իսկ նրանով ամրացված մարմինների արագացումները նույնն են և ուղղված են թելի երկայնքով: Դրա արդյունքում կունենանք երկու առանձին մարմիններ, որոնց շարժումները միմյանց հետ կապված են $a_1 = a_2 \equiv a$ և $T_1 = T_2 \equiv T$ պայմաններով: Այդ երկու մարմիններից յուրաքանչյուրի համար գրենք շարժման իր հավասարումը և պրոյեկտենք իր արագացման ուղղության վրա, արդյունքում կստանանք.



Նկար 3

$m_1 a = m_1 g \sin\alpha - T,$

$m_2 a = T - m_2 g\ ,$

որոնցից կորոշենք a և T մեծությունները.

$a = \frac{m_1 \sin\alpha - m_2}{m_1 + m_2} g$, $T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \sin\alpha$, որտեղից բխում է, եթե $m_1 \sin\alpha = m_2$, ապա $a = 0$:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք Նյուտոնի երկրորդ օրենքի իմաստը, անհրաժեշտությունը և դերը մեխանիկայում և ֆիզիկայի տեսություն կառուցելու հարցում:
2. Յուրացրե՞լ եք Նյուտոնի երրորդ օրենքը և ըմբռնե՞լ եք նրա իմաստը:
3. Հասկացե՞լ եք Նյուտոնի երեք օրենքների համրույթի նշանակությունը:

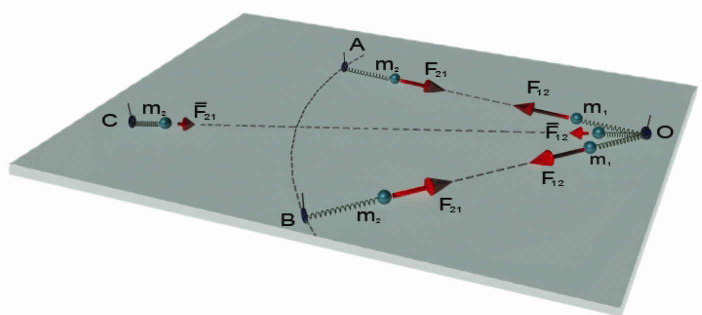
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՛ք Նյուտոնի երկրորդ օրենքը և փորձնականորեն այն հիմնավորե՛ք:
2. Վերլուծե՛ք շարժման օրենքի պատճառահետևանքային հատկությունները:
3. Ներկայացրե՛ք Նյուտոնի երրորդ օրենքը և նրա փորձնական հիմնավորումը:

§14. Տիեզերական ձգողության օրենքը: Գրավիտացիոն դաշտ

Երկրի վրա մարմինների ընկնելը, մի շարք փորձնական արդյունքները, Նյուտոնի 3-րդ օրենքը և, ի վերջո, մոլորակների շարժման Կեպլերի օրենքները ներշնչեցին Նյուտոնին ընդունելու աշխատանքային մի վարկած, ըստ որի **Տիեզերքում բոլոր մարմիններն ունեն ձգելու հատկություն և իրար ձգում են**: Նյուտոնի ձեռքին արդեն կար աշխատանքային մի հզոր գործիք՝ Նյուտոնի 2-րդ օրենքը, որով նա կարող էր ստուգել իր վարկածի ճիշտ լինելը և նաև նրա օգնությամբ գտնել ձգման այդ երևույթի համապատասխան օրենքն ու օրինաչափությունները: Նյուտոնը հաջողությամբ իրականացրեց այդ ծրագիրը:

Փորձով ուսումնասիրենք նյութական կետերի փոխազդեցության երևույթը՝ ուժի առաջացման պատճառները գտնելու նպատակով: Դինամիկայի օրենքները թույլատրում են ուժը չափել և առանց արագացում չափելու, օրինակ, զսպանակավոր ուժաչափով: Դիցուք m_1 մեծ զանգվածով համասեռ գունդը զսպանակով միացված է O կետում ամրացված ուղղաձիգ ձողին (նկ. 1), որի շուրջն ազատ կարող է պտտվել: Նման կերպ m_2 գունդը տեղավորենք A կետում, կտեսնենք, որ երկու գնդերն էլ շարժվում ու մոտենում են իրար և անշարժանում են OA ուղղությամբ գնդերի կենտրոնների հեռավորության որոշակի R արժեքի դեպքում:



Նկար 1

Դա տեղի է ունենում, երբ տվյալ գնդի վրա ազդող զսպանակի առաձգականության ուժը համակշռում է մյուս գնդի ազդեցությանը (ուրիշ այլ մարմին չկա): Եթե m_2 գունդը m_1-ից R հեռավորության վրա առանց զսպանակի կոշտ ամրացնեինք, ապա m_1 գնդի վրա m_2-ի ազդեցությունը նույնը կմնա: Եթե m_2 գունդը տեղադրենք B կետում՝ OB=OA, կտեսնենք, որ m_1 գունդը դասավորվում է OB ուղղությամբ, բայց ձգման ուժերը մնում են նույնը: Իսկ եթե m_2 գունդը OA ուղղությամբ հեռացնենք C կետ, կտեսնենք, որ երկու զսպանակների առաձգականության ուժերն էլ կփոքրանան և կդառնան $\bar{F}_{12}$: Քանի որ գիտենք չափել զանգվածը, ուժն ու հեռավորությունը, ապա դրանց տարբեր արժեքների համար կատարելով չափումներ՝ կհաստատենք, որ գնդերի միմյանց վրա ազդող ուժերը մեծությամբ հավասար են՝ $F_{12} = F_{21}$ և $F_{12} \sim m_1$, $F_{12} \sim m_2$, $F_{12} \sim \frac{1}{R^2}$: Կամ, ինչպես Նյուտոնի 2-րդ օրենքի դեպքում, համեմատականությունից կանցնենք հավասարության **G** գործակցի միջոցով.

$$F = G\frac{mM}{R^2}: \qquad (1)$$

Հանրագումարի բերելով ստացված բոլոր արդյունքները՝ ձևակերպենք Նյուտոնի Տիեզերական ձգողության օրենքը. ***Ցանկացած երկու նյութական կետեր միմյանց ձգում են այնպիսի ուժով, որի մեծությունը համեմատական է այդ կետերի զանգվածներին, հակադարձ համեմատական է նրանց հեռավորությանը, ուղղված է այդ կետերը միացնող ուղիղով, իսկ համեմատականության* G *գործակիցը ունիվերսալ հաստատուն է:***

Այս օրենքը ուղղությամբ հանդերձ ներկայացվում է վեկտորա-պես.

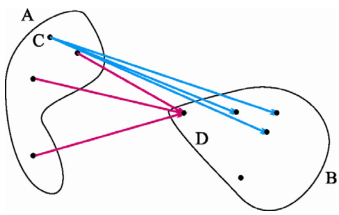
$$\vec{F}_{12} = -G\frac{m_1 m_2}{{R_{12}}^2}\cdot\frac{\vec{R}_{12}}{R_{12}}, \qquad (2)$$

որտեղ m_1-ը $\vec{R}_1$ կետում և m_2-ը $\vec{R}_2$ կետում գտնվող նյութական կետերի զանգվածներն են, $\vec{R}_{12} \equiv \vec{R}_2 - \vec{R}_1$, իսկ $\frac{\vec{R}_{12}}{R_{12}}$ -ը միավոր վեկտոր է $\vec{R}_{12}$ ուղղությամբ: Քանի որ $\vec{R}_{12} = -\vec{R}_{21}$ (m_1-ից m_2-ը և m_2-ից m_1-ը հակադիր են ուղղված) և $R_{12} = R_{21}$, ըստ (2)-ի, այդ ուժերը ենթարկվում են ***Նյուտոնի 3-րդ օրենքին՝*** $\boldsymbol{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}}$**:**

G գործակիցը կոչվում է ձգողության (գրավիտացիոն) հաստատուն, որը, սակայն, չենք կարող համարել հավասար 1-ի, որովհետև (1) բանաձևում բոլոր մեծությունների համար ընտրված են միավորներ և չենք կարող որևէ մեկի ընտրության կամայականության շնորհիվ դնել G =1, ինչպես արեցինք Նյուտոնի 2-րդ օրենքի դեպքում k-ն դնելով 1: G-ն փորձով չափել են ըստ (1)-ի՝ $G = \frac{FR^2}{\mathrm{m_1 m_2}}$ բանաձևով: Չափումից ստացվել է $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,\frac{\text{Ն.մ}^2}{\text{կգ}^2}$, որը ցույց է տալիս, որ ձգողության այս փոխազդեցությունը շատ թույլ է: Օրինակ, ջրի նկատմամբ անշարժ 1.000.000 կգ զանգվածով երկու նավեր 1մ հեռավորությունից միմյանց ձգում են մոտ 67 Ն ուժով, որը շատ ավելի փոքր է կետաձկան պոչի հարվածի ուժից, անգամ այն ուժից, որով Երկիրը ձգում է իր մակերևույթին կանգնած մարդկանց՝ շուրջ 800 Ն: Հենց այդ ուժերի փոքրությունն էր պատճառը, որ վերը նկարագրած փորձը համարեցինք ոչ իրատեսական: Տիեզերական ձգողության ուժերի նշանակությունը էական է հիմնականում շատ մեծ զանգվածների համար, մասնավորապես երկնային մարմինների համար: Ահա թե ինչո՞ւ էին Նյուտոնի համար իրականում հիմք ծառայել Կեպլերի օրենքները, որոնք Նյուտոնը ստացավ շարժման հավասարումից գրավիտացիայի ձգողության դաշտում: (2) բանաձևով ներկայացված ուժը կոչվում է **կենտրոնական**, քանի որ միշտ ուղղված է դեպի այն նյութական կետը, որի վրա ազդում է:

Մենք այստեղ լուռ ենթադրել ենք, որ փոքրին մասնակցող մարմինները նյութական կետեր են, որոնք, ինչպես կհամոզվենքստորև, փոքրը դարձնում են անիրատես, լոկ սկզբունքային, բայց և կարևոր նշանակության: Իրոք, տարածության մեջ երկու կետեր միարժեքորեն միայն մեկ ուղղություն են բնութագրում որով պետք է ուղղված լինի ուժը, որպեսզի երկու նյութական կետեր միայն մի ուժով փոխազդեն իրար հետ: Հենց դրանով է պայմանավորված գրավիտացիայի դաշտի կենտրոնական բնույթը: Նաև նկատենք, որ (1) օրենքում m_1 *և* m_2 *զանգվածները մտնում են առաջին աստիճաններով, ինչը հիմք է տալիս կամայական մարմինների համար կիրառել ուժերի վերադրման սկզբունքը կրկնակի անգամ (նկ. 2).*

Նախ հանրագումարենք A մարմնի բոլոր կետերի ազդեցությունները B մարմնի D կետի վրա: Հետո հանրագումարենք B մարմնի բոլոր կետերի վրա այդ ազդեցությունները (նկարում ցույց է տրված C կետի ազդեցությունները B-ի տարբեր կետերի վրա): Արդյունքում կստանանք A մարմնի ազդած ուժը B-ի վրա: Դա, իհարկե, դյուրին խնդիր չէ, բայց սկզբունքորեն հարցի լուծում է:



Նկար 2

Տիեզերական ձգողության օրենքը ներկայացնում է երկու՝ m և M մարմինների փոխազդեցությունը, որի օրինաչափությունները նյութական կետերի համար տրվում է (1) բանաձևով: Սակայն այդօրինակ ներկայացումը հարմար չէ մարմնի, ասենք M մարմնի, ազդեցությունը մնացած այլ մարմինների (ոչ թե միայն m մարմնի) վրա, այլ կերպ ասած, ցանկանում ենք այնպիսի մի մեծություն ունենալ, որը նկարագրի միայն տվյալ մարմնի ձգողությունը: Այդ նպատակով ուշադրության առնենք դարձյալ այն հանգամանքը, որ (1) օրենքում m-ը առաջին աստիճանով է (գծային է) մտնում, ուստի (1) բանաձևից կունենանք.

$$\vec{F} = m \cdot G\frac{M}{R^2}\frac{\vec{R}}{R} \equiv m \cdot \vec{g}\left(M, \vec{R}\right), \qquad (3)$$

$$G\frac{M}{R^2}\frac{\vec{R}}{R} \equiv \vec{g}\left(M, \vec{R}\right), \qquad (4)$$

որտեղ $\vec{g}\left(M, \vec{R}\right)$ *վեկտորական մեծությունը կոչվում է M զանգվածի ձգողության դաշտի լարվածություն և ցույց է տալիս այն ուժը, որով M* *զանգվածն ազդում է $\vec{R}$ կետում գտնվող միավոր զանգվածի վրա, իսկ կամայական m զանգվածի վրա m անգամ մեծ ուժով կազդի: Ձգողության օրենքը կարելի է վերաձևակերպել նաև այսպես. m զանգվածով նյութական կետը ստեղծում է կենտրոնական-համաչափ դաշտ, որի լարվածությունը համեմատական է իր զանգվածին և հակադարձ համեմատական է իրենից ունեցած հեռավորության քառակուսուն:*

(4)-ից ունենք. $[g] = LT^{-2}$, այսինքն, ունի արագացման չափողականություն:

Եթե (4)-ի մեջ M-ը և R-ը դնենք Երկրագնդի զանգվածն ու շառավիղը, ապա կստանանք Երկրի վրա դաշտի լարվածությունը, որի մեծությունը համարյա հաստատուն է և $g \approx 9{,}8\ մ/վ^2$:

Եվ եթե m զանգվածով նյութական կետը շարժվում է միայն Երկրի ձգողության շնորհիվ, ապա շարժման հավասարումից և (3) բանաձևից կստանանք.

$$m\vec{a} = \vec{F} = m\vec{g}, \qquad \vec{a} = \vec{g}\,, \tag{5}$$

ըստ որի էլ երբեմն Երկրի ձգողության (գրավիտացիոն) դաշտի $\vec{g}$ լարվածությունը անվանում են ազատ անկման արագացում: ***Ազատ անկումը*** կամ ***շարժումը անկշռության պայմաններում*** այն շարժումն է, որը մարմինը կատարում է բացառապես գրավիտացիոն ուժերի ազդեցությամբ, մնացած այլ ուժերը կամ չկան, կամ էլ համակշռված են: Գալիլեյը հենց այս շարժումն է ուսումնասիրել՝ Պիզայի թեք աշտարակից զանազան մարմիններ նետելով: Այդ փորձերով փաստորեն Գալիլեյը հաստատեց տիեզերական ձգողության օրենքի (3) բանաձևում արտահայտված $F{\sim}m$ կապը ևս:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք Տիեզերական ձգողության օրենքի հիմնարար բնույթը:
2. Հասկացե՞լ եք ձգողության դաշտի լարվածության և ազատ անկման արագացման կապը և այդ կապի ֆիզիկական հիմքը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք փորձը և նրանից ստացված արդյունքները: Բացատրե՛ք, թե այդ արդյունքներից ինչպե՞ս ենք հետևացնում Տիեզերական ձգողության օրենքը:
2. Ցույց տվե՛ք «ձգողության դաշտի լարվածություն» մեծության ներմուծման նպատակը և սահմանե՛ք լարվածությունը:
3. Ձևակերպե՛ք տիեզերական ձգողության օրենքը և մեկնաբանե՛ք նրա կապն ազատ անկման հետ:
4. Մեկնաբանե՛ք գրավիտացիոն փոխազդեցության կենտրոնական բնույթը:

§15*. Մեխանիկայի նվաճումները երկրային և երկնային մարմինների շարժման նկարագրության գործում

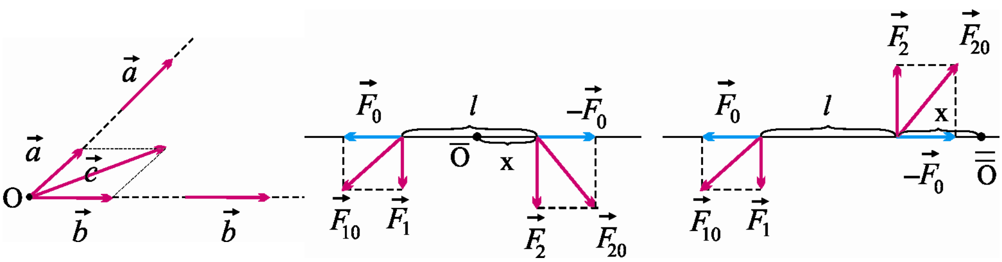
Երկրի վրա մակրոսկոպիական ցանկացած երևույթ նկարագրվում է Նյուտոնի երեք օրենքներով: Երկրի կամ միմյանց նկատմամբ շարժման վիճակում գտնվող երևույթների օրինակներ մասամբ դիտարկվեցին §13-ի «Լրացուցիչ նյութեր» մասում: Իսկ Երկրին անշարժ ամրացված կառույցների քննարկումը մեխանիկայի կարևոր մասն է կազմում: Մեխանիկայի այն բաժինը, որը ուսումնասիրում է առանց արագացման ընթացող երևույթները, կոչվում է **ստատիկա**: Կարող ենք համարել նաև առանց շարժման, քանի որ կա այնպիսի իներցիալ համակարգ, որում $a = 0$ շարժումը հարաբերական դադար է: Ստատիկայի հավասարումներն են.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = 0, \qquad (1)$$

$$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \cdots + \vec{M}_n = 0: \qquad (2)$$

Այստեղ $\vec{F}$-ը տվյալ կետի վրա ազդող բոլոր ուժերի համազորն է, որը նույն արդյունքն է տալիս, ինչ բոլոր ուժերը միասին, իսկ $\vec{M}$- ը բոլոր ուժերի գումար մոմենտն է:

(1) պայմանն արգելում է շարժումը, (2)-ը՝ պտույտը ցանկացած կետի նկատմամբ: Երկու հավասարումներն էլ վեկտորական են, սակայն տարբեր բնույթի են: Ուժի մոմենտը, մեզ ծանոթ կինեմատիկական բոլոր վեկտորների նման **ազատ** է, այսինքն, եթե ինքն իրեն զուգահեռ տեղափոխենք, ապա կստանանք իրեն հետ նույնական վեկտոր (տե՛ս վեկտորների հավասարության սահմանումը կինեմատիկա բաժնում): Ուժերը սահող վեկտորներ են, որոնց կարելի է սահեցնել իրենց ազդման գծով, բայց եթե այդ գծից դուրս ինքն իրեն զուգահեռ տեղափոխենք, ստացված վեկտորն արդեն նույնական չի լինի ինքն իրեն հետ: Դրա համար որոշ աչալրջություն պետք է դրսևորել (1) հավասարումն օգտագործելիս: Դիտարկենք ուժերի գումարումը: Դիցուք նույն մարմնի վրա կիրառված են երկու (կամ ավելի) ուժեր, որոնց ազդման գծերը հատվում են O կետում (նկ. 1ա):



ա բ գ

Նկար 1

Վեկտորներն իրենց ազդման գծերով սահեցնենք մինչև հատման կետը և գումարենք եռանկյան կանոնով: Եթե ուժերն ունեն նույն ուղղությունը և ազդման գծերը զուգահեռ են (չեն հատվում), ապա ավելացնելով $\vec{F}_0$ և $(-\vec{F}_0)$ ուժերը (որոնց գումարը 0 է) և գումարելով $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերին, ինչպես նկ. 1բ-ում, կստանանք $\vec{F}_{10}$ և $\vec{F}_{20}$ ուժերը, որոնք զուգահեռ չեն: Պարզ է, որ $\vec{F}_{10}$ և $\vec{F}_{20}$ ուժերի գումարը նույնն է, ինչ $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերի գումարը, իսկ $\vec{F}_{10}$ և $\vec{F}_{20}$ ուժերն արդեն կգումարենք հատվող ուժերի դեպքի նման: Իհարկե, մենք կարող էինք շատ հեշտ գտնել $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերի գումարը, քանի որ գումարի մեծությունը ուղղակի ուժերի մեծությունների գումարն է, իսկ կիրառման $\overline{O}$ կետը գտնենք հետևյալ ձևով: Համազորն իր կիրառման կետի նկատմամբ մոմենտ չի առաջացնում (քանի որ ուժի բազուկը 0 է), արդ, $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերի մոմենտները պետք է լինեն հավասար և հակառակ ուղղված, հետևաբար, ըստ նկ. 1բ-ի նշանակումների, կարող ենք գրել.

$(l-x)\cdot F_1 = x\cdot F_2$,   x= $\cdot F_1/F_2+F_1$:   (3)

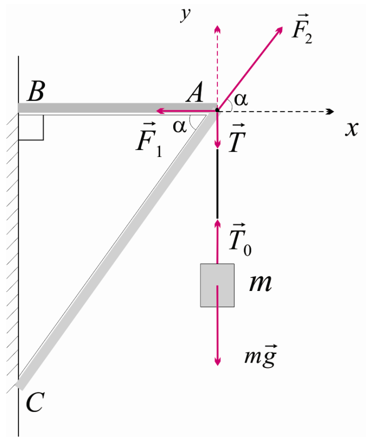
Եթե ուժերը լինեն հակազուգահեռ և ոչ հավասար (նկ. 1գ), ասենք $F_2>F_1$, ապա համազորի կիրառման կետը արդեն կլինի $\bar{\bar{O}}$ -ն, որպեսզի մեծ ուժի բազուկը փոքր լինի, քան փոքր ուժինն է: Համազոր ուժի մեծությունը կլինի (F_2-F_1), իսկ կիրառման կետը կլինի.

x= $\cdot F_1/F_2-F_1$:   (4)

(4)-ից բխում է, որ F_1 և F_2 չեն կարող հավասարվել: Հակազուգահեռ և հավասար երկու ուժերի հանրույթը կոչվում է **ուժազույգ**: Ուժազույգը համազոր չունի: Իրոք, այնպիսի կետ չկա, որի նկատմամբ ուժազույգի ուժերի առաջացրած մոմենտը լինի 0 (ինչո՞ւ), այնինչ համազորի մոմենտը 0 է իր կիրառման կետի նկատմամբ: Թյուրըմբռնում է, թե ուժազույգի համազորը 0 է, նա ուղղակի չկա՝ մի բան է համազորի չլինելը, այլ բան է նրա 0 լինելը: Ի դեպ, տարբեր են նաև ուժեր չլինելը և դրանց լինելը 0 համազորով: Օրինակ, եթե զսպանակի առանցքով նրա վրա ազդենք մեծությամբ հավասար, բայց ուղղությամբ հակադիր ուժերով, ապա զսպանակը կգտնվի սեղմված վիճակում, իսկ ուժերի համազորն էլ կլինի 0: Եթե ուժերը բացակայեին (լինեին 0), ապա զսպանակը կգտնվեր չսեղմված՝ հավասարակշռության վիճակում: Տարբերությունն ակնհայտ է:

F ուժի բազուկը O կետի նկատմամբ O կետի d հեռավորությունն է ուժի ազդման գծից: O կետի նկատմամբ F ուժի M մոմենտի մեծությունը F.d արտադրյալն է, իսկ նշանը կվերցնենք դրական, եթե պտույտը կկատարվի ժամսլաքի ուղղությամբ, հակառակ դեպքում կվերցնենք բացասական: Հիմա դիտարկենք ստատիկայի տիպական խնդիր:

Խնդիր 1: m=5կգ զանգված ունեցող մարմինը կախված է նկ. 2-ում պատկերված ABC ուղղանկյուն բարձակից: Գտնել թելի $\vec{T}$ և ձողերում առաջացած լարվածության $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերը, եթե AB=3 մ և AC=5մ:



Լուծում: Ուժերն իրենց ուղղություններով պատկերված են նկարում, իսկ A կետի, m մարմնի հավասարակշռության և թելի անկշիռ լինելու պայմանները, ըստ (1)-ի, համապատասխանաբար կլինեն.

$\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{T}=0,$ (5)

$m\vec{g}+\vec{T}_0=0,$ (6)

$\vec{T}+\vec{T}_0=0$ (7)

Այս հավասարումները պրոյեկտենք y ուղղության վրա, (6)-ից և (7)-ից կստանանք.

$T=T_0=mg=49$ Ն (8)

ABC ուղղանկյուն եռանկյունից ունենք.

$\sin\alpha=BC/AC=\frac{\sqrt{25-9}}{5}=0{,}8\,,\quad \cos\alpha=0{,}6$ (9)

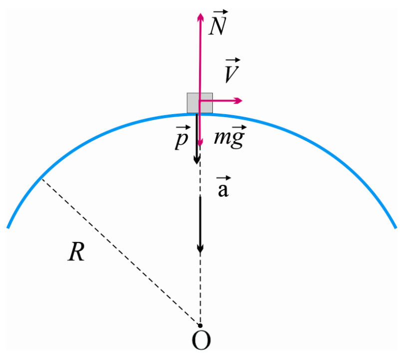
(5)-ից և (9)-ից ունենք $F_2\sin\alpha-T=0$, կամ

$F_2={}^{T}\!/_{\sin\alpha}=\frac{mg}{\sin\alpha}=\frac{49\text{ Ն}}{0{,}8}=61{,}25$ Ն:

Եթե (5)-ը պրոյեկտենք x ուղղության վրա, կորոշենք F_1 ուժը.

$F_1=F_2\cos\alpha=0{,}6\cdot 61{,}25$Ն$=42{,}75$ Ն:

Խնդիր 2: Գտնել R շառավիղ ունեցող ուռուցիկ կամրջի վրայով v արագությամբ հավասարաչափ շարժվող m զանգվածով մեքենայի ճնշման $\vec{P}$ ուժը կամուրջի վերին կետում (նկ. 3):



Նկար 3

Լուծում: Ուժերը և արագությունը պատկերված են նկարում: Գրենք Նյուտոնի 2-րդ օրենքը՝ պրոյեկտված կենտրոնաձիգ արագացման ուղղության վրա.

$$\frac{mv^2}{R}=mg-N=mg-P, \quad (10)$$

որտեղ վերջին հավասարությունը տեղի ունի Նյուտոնի 3-րդ օրենքի համաձայն, ըստ որի կամրջի մեքենայի վրա ազդած $\vec{N}$ ուժը հակադիր է ուղղված և հավասար է կամրջի վրա մարմնի ազդած $\vec{P}$ ուժին, որը կոչվում է **մարմնի կշիռ**: (10)-ից բխում է.

Կեպլեր Յոհան (1571 - 1680)

Գերմանացի մաթեմատիկոս, աստղագետ, օպտիկ: Հայտնաբերել է մոլորակների տեղաշարժման օրենքները:

$$P = mg - \frac{mv^2}{R} = m\left(g - \frac{v^2}{R}\right): \qquad (11)$$

Ինչպես երևում է (11) արտահայտությունից, մեքենայի ճնշումը կամրջի վրա փոքր է մեծ արագության և փոքր շառավղի դեպքում: Այդ պատճառով կամուրջներն ուռուցիկ են պատրաստում: (11) արտահայտությունից բխում է մի շատ հետաքրքիր արդյունք ևս: Մեքենայի ճնշումը կամուրջի վրա դառնում է 0, երբ արագությունը դառնում է.

$$v = \sqrt{g\,R}: \qquad (12)$$

Այս դեպքում մարմնի կշիռը 0 է և մարմինը գտնվում է անկշռության վիճակում: Երկրի համար (12)-ը որոշում է առաջին տիեզերական արագությունը, որի դեպքում մարմինը հաղթահարում է Երկրի գրավիտացիայի ուժերը և դառնում է Երկրի արբանյակ՝ գտնվելով անկշռության պայմանում: Հենց այդօրինակ վիճակում են գտնվում տիեզերագնացները, երբ գտնվում են ուղեծրի վրա:

Դինամիկայի օրենքները Տիեզերական ձգողության օրենքի հետ միասին կազմեցին լրիվ ու լիակատար հիմք երկնային մեխանիկայի համար, որն ուսումնասիրում է երկնային մարմինների՝ աստղերի, Արեգակի, մոլորակների, արբանյակների և մյուս երկնային օբյեկտների տարածաժամանակային տեղաբաշխումները, մեխանիկական շարժումները և մարմինների մեխանիկական վիճակների զարգացումները: Ընդ որում երկնային մարմինների չափերը շատ փոքր են այն հեռավորությունների համեմատ, որտեղից դիտարկվում են նրանց շարժումները, ուստի շատ մեծ ճշտությամբ կիրառվում են նյութական կետի դինամիկան և Տիեզերական ձգողության օրենքը, երբ դիտարկվում է մարմինների շարժումը որպես մի ամբողջություն: Հաջողություններն այդ ոլորտում զգալի են: Բացատրվեցին բազմաթիվ երկնային երևույթներ, մի շարք նոր երևույթներ էլ կանխատեսվեցին և հաստատվեցին փորձով:

Ուշագրավ են Կեպլերի երեք օրենքները երկնային երկու մարմինների ***չգրգռված*** *շարժման մասին գրավիտացիայի ուժերի ազդեցության ներքո: Համարելով մարմիններից մեկի զանգվածը շատ մեծ մյուսի զանգվածից՝ ձևակերպենք Կեպլերի օրենքները:*

1. Մարմինների չգրգռված հետագծերն էլիպս են, հիպերբոլա կամ պարաբոլա, որոնց ֆոկուսներից մեկում գտնվում է ծանր մարմինը:

2. էլիպսային ուղեծրի դեպքում փոքր զանգվածով մարմնի շառավիղ-վեկտորը հավասար ժամանակամիջոցներում գծում է հավասար մակերեսներ:

3. Պտտման պարբերությունների քառակուսիների հարաբերությունը հավասար է էլիպսի մեծ կիսառանցքների խորանարդների հարաբերությանը:

Կեպլերի օրենքները հսկայական դերակատարում ունեցան ֆիզիկայի տեսության ստեղծման համար, որը հասկացավ և օգտագործեց Նյուտոնը: Այդ օրենքները բացատրեցին երկնային մարմինների շարժումներն ու ձգողության ուժի կենտրոնական բնույթը: r^{-2} *հակադարձ քառակուսային կախումը հիմնական պատճառն են Կեպլերի օրենքների տեղի ունենալու համար: Այդ հանգամանքը կրում է ընդհանուր բնույթ և նման օրենքների կբերի բոլոր դեպքերում, երբ ուժը ունենա* $\sim r^{-2}$ *կախում և լինի կենտրոնական, օրինակ, Կուլոնի ուժի դեպքում:*

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք ստատիկայի հավասարումները:
2. Պատկերացում կազմեցի՞ք երկնային մեխանիկայի և Կեպլերի օրենքների մասին:
3. Ըմբռնեցի՞ք ուժերի համազորի և ուժազույգի գաղափարները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ստացե՛ք ստատիկայի հավասարումները և բացատրե՛ք դրանց իմաստը:
2. Սահմանե՛ք ուժերի համազորի և ուժազույգի գաղափարները:
3. Ներկայացրե՛ք Կեպլերի օրենքները:

4*. Երկրի շարժումը Արեգակի շուրջը ազատ անկում է, ուստի Երկիրը գտնվում է անկշռության վիճակում: Ինչպե՞ս դա կբացատրեք:

5*. Կարե՞լի է տիեզերանավում ապահովել ոչ անկշռության պայմաններ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. Որքա՞ն է համասեռ խառնուրդի խտությունը, եթե այն ստացվել է ρ_1 խտությամբ և V_1 ծավալով հեղուկը ρ_2 խտությամբ և V_2 ծավալով հեղուկին խառնելիս: Խառնուրդի ծավալը V է:
2. Հաշվարկման իներցիալ համակարգում 1 կգ զանգվածով մարմնի վրա միաժամանակ ազդում են իրար ուղղահայաց 4 Ն և 3 Ն մեծությամբ ուժեր: Որքա՞ն է մարմնի արագացումը:
3. Ինչպե՞ս կփոխվի մարմնի արագացումը հաշվարկման իներցիալ համակարգում, եթե նրա զանգվածը փոքրացնենք երկու անգամ, իսկ նրա վրա ազդող բոլոր ուժերի համազորը մեծացնենք 2 անգամ:
4. Հորիզոնական հարթությամբ գլորվող գնդակի արագությունը 3 վայրկյանի ընթացքում փոխվեց 8 մ/վ-ով: Որքա՞ն է գնդակի վրա ազդող դիմադրության ուժը, եթե նրա զանգվածը 0,6 կգ է:
5. Մարմնի կոորդինատի ժամանակից կախվածության $x = 2 - t + t^2$ հավասարման մեջ մեծությունները արտահայտված են ՄՀ-ի համապատասխան միավորներով: Որքա՞ն է մարմնի զանգվածը, եթե նրա վրա ազդող ուժերի համազորը 0,1 Ն է:

6. Զսպանակը և նրանից կախված բեռը a արագացումով շարժվում են դեպի վեր: Ո՞րն է բեռի վրա ազդող mg ծանրության և $F_{առ}$ առաձգականության ուժերի մոդուլների միջև ճիշտ առնչությունը:

7. Թելից կախված բեռը կատարում է տատանողական շարժում: Ինչպե՞ս է ուղղված բեռի արագացումը հավասարակշռության դիրքով անցնելիս:

8. Դեպի վեր նետված մարմինը Երկիրը ձգում է 5 Ն ուժով: Ի՞նչ ուժով է մարմինը ձգում Երկրին:

9. Երկու աշակերտ ուժաչափը ձգում են հակառակ ուղղություններով 20-ական նյուտոն ուժով: Որքա՞ն է ուժաչափի ցուցմունքը:

10. Համեմատել բախման հետևանքով երկու պողպատե գնդերի ձեռք բերած արագացումների a_1 և a_2 մոդուլները, եթե երկրորդ գնդի շառավիղը երկու անգամ մեծ է առաջինի շառավղից:

11. Անշարժ ճախարակի վրայով գցված թելի ծայրերից կախված են երկու բեռներ՝ յուրաքանչյուրը 0,1 կգ զանգվածով: Բեռներից մեկի վրա դնում են 0,05 կգ զանգվածով մարմին: Սկզբում համակարգը պահում են դադարի վիճակում, այնուհետև բաց են թողնում: Ճախարակի և թելի զանգվածներն, ինչպես նաև շփումն անտեսել: Ի՞նչ ուժով է մարմինը շարժման ընթացքում ճնշում բեռի վրա:

12. Երկրի մակերևույթից ի՞նչ բարձրությունում է արհեստական արբանյակի վրա ազդող ձգողության ուժը փոքրանում 4 անգամ: Երկրի շառավիղը R է:

13. Տարբեր զանգվածներով երեք մարմիններ (m_1>m_2 >m_3) ընկնում են Երկրի վրա: Դրանցից ո՞րն է շարժվում ամենամեծ արագացումով: Օդի դիմադրությունը հաշվի չառնել:

14. Ինչ- որ մոլորակի շառավիղը երկու անգամ փոքր է Երկրի շառավղից, իսկ զանգվածը կազմում է Երկրի զանգվածի 0,1 մասը: Որքան է Երկրի և այդ մոլորակի մակերևույթի վրա ազատ անկման արագացումների հարաբերությունը:

15. 200 գ զանգվածով մարմինը գտնվում է հորիզոնի հետ 30° անկյուն կազմող թեք հարթության վրա: Շփումն անտեսել: Թեք հարթության երկայնքով ի՞նչ ուժ պետք է կիրառել մարմինը հավասարակշռության վիճակում պահելու համար: Որքա՞ն է թեք հարթության հակազդեցության ուժը:

16. 10 կգ զանգվածով մարմնի զանգվածի կենտրոնի նկատմամբ միաժամանակ կիրառված են 50 Ն և 30 Ն մեծությամբ ուժեր, որոնց դասավորությունը միմյանց նկատմամբ կարող է փոփոխվել: Ի՞նչ առավելագույն արագացմամբ կշարժվի մարմինը: Ի՞նչ նվազագույն արագացմամբ կշարժվի մարմինը:

17. 800 Ն կշռող համասեռ գերանը գտնվում է գետնի վրա, հորիզոնական դիրքում: Գերանի մի ծայրից ի՞նչ նվազագույն ուժ պետք է գործադրել գերանը գետնից պոկելու համար:

18. 250 գ և 400 գ զանգվածով երկու գնդեր ամրացված են անկշիռ ձողով: Գնդերի կենտրոնների հեռավորությունը 32,5 սմ է: Փոքր զանգվածով գնդի կենտրոնից ի՞նչ հեռավորության վրա է գտնվում համակարգի զանգվածի կենտրոնը:

Գլուխ 4.

ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ ՄԵԽԱՆԻԿԱՅՈՒՄ

§16. Համաչափությունը մեխանիկայում: Պահպանման օրենքների գաղափարը

Նախորդ գլխում շարադրեցինք նյութական կետի դինամիկան: Յուրաքանչյուր առանձին նյութական կետի համար այն լիովին բավարար է արտահայտում տարածաժամանակային, դինամիկական ու պատճառական հատկությունները: Նաև սկզբունքորեն թույլատրում է այն կիրառել նյութական կետ չհանդիսացող մարմինների կամ ավելի բարդ համակարգերի՝ հեղուկների, գազերի և պինդ մարմինների մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրություններում: Իրական գործածության համար միշտ չէ, որ այդ մոտեցումը հարմար է: Առաջին հերթին դա վերաբերում է դինամիկայի հավասարումների վեկտորական բնույթին: Անկախ նրանից, թե ի՞նչ կամ ինչպի՞սի սկզբունքային ու իմացաբանական նշանակություն ունի վեկտորական ներկայացումը, կիրառական առումով խիստ անհարմար է, քանի որ խնդիրը հանգում է նախ եռանկյունաչափական ու երկրաչափական ոչ դյուրին հաշվարկների, և հետո էլ, եթե հայտնի չեն փոխազդեցությունների մեխանիզմները, ապա ուղղակի չենք կարող գրել դինամիկայի հավասարումները: Տիպական օրինակ է հարվածի պահի ներկայացումը, որը անհրաժեշտ է վեկտորական դինամիկայի եղանակով շարժման լրիվ պատկերը վերծանելու համար: Բացի այդ, դինամիկայի հավասարումների համաչափությունը գրեթե չենք օգտագործում: Առաջանում է մեխանիկական երևույթներն ավելի հարմար եղանակով և ավելի տեղեկունակ մեծություններով համարժեք ներկայացնելու հարց: Բնականաբար, այս նպատակի համար առաջին հերթին օգտակար կարող են լինել այն մեծությունները, որոնք տվյալ երևույթում կամ տվյալ համակարգի համար որոշակի պայմաններում պահպանվում են անկախ երևույթի ներքին մանրամասներից և մեխանիզմից: Մենք որոշ չափով արդեն ծանոթ ենք պահպանվող մեծություններին. մեկուսացված մասնիկը (այսինքն, արտաքին ազդեցությունների բացակայության կամ համակշռության դեպքում) պահպանում է իր արագության վեկտորը (այսինքն, հավասարաչափ շարժման վիճակը): Պահպանվող մեծության մի այլ օրինակ է զանգվածի պահպանումը: Սրանք պարզագույն պահպանվող մեծություններ են, քանի որ արագությունը լոկ տարածաժամանակային բնութագիր է, զանգվածը՝ լոկ դինամիկական: Ցանկալի է ունենալ տեղեկությամբ ավելի հարուստ պահպանվող մեծություններ, այսինքն, այնպիսիք, որոնք ինֆորմացիա տան շարժման և՛ դինամիկական, և՛ կինեմատիկական հատկությունների մասին:

Ֆիզիկայում, մասնավորապես մեխանիկայում, պահպանման օրենքների հարցում կարևոր դերակատարում ունեն զանազան համաչափությունները: Առօրյայում շատ ենք առնչվում համաչափությունների հետ. այն մեզ ներշնչում է ներդաշնակի ու գեղեցիկի զգացում: Երկրաչափությունից մեզ հայտնի է համաչափություն կետի և առանցքի նկատմամբ. ուղիղ գիծը համաչափ է իր ամեն կետի նկատմամբ, շրջանագիծը համաչափ է ցանկացած պտույտի հանդեպ և այլն:

Համաչափությունը երկակի դերակատարում ունի ֆիզիկայում: Համաչափության առկայությունը նախ նվազեցնում է հարցի մաթեմատիկական և հաշվողական դժվարությունները: Օրինակ, շրջանագծային շարժման դեպքում, շնորհիվ շրջանագծի համաչափության, պահպանվում է շառավիղ-վեկտորի r երկարությունը, հետևաբար, կարողանում ենք վեկտորական հավասարումների փոխարեն պտտական շարժումը ներկայացնել պարզ սկալյար առնչություններով, ինչպես վարվեցինք §11-ում: Երկրորդը և կարևորը, եթե ֆիզիկական երևույթը նկարագրող հավասարման կամ օրենքի արտահայտության մեջ առկա է համաչափություն որևէ ձևափոխության նկատմամբ, ապա դրան համապատասխանում է ինչ-որ պահպանվող մեծություն: Իրոք, եթե հավասարումն ունի ինչ-որ համաչափություն, ապա ըստ այդ համաչափության ձևափոխելու դեպքում կստանանք դարձյալ նույն հավասարումը, ուստի ինչ-որ բան պահպանվել է, նույնն է մնացել: Եվ եթե տվյալ հարցի լուծման համար ունենանք բավարար քանակի պահպանվող մեծություններ, ապա հարցը կլուծենք և առանց շարժման հավասարումները լուծելու: Շատ տիպական օրինակ է երկու գնդերի հարվածի օրինակը: Եթե կա պահպանվող մեծություն, որը հարվածից առաջ և հարվածից հետո նույն արժեքն ունի, ապա այդ պահպանումն արտահայտող առնչության համար կարևոր չէ հարվածի մեխանիզմը և ներքին բնույթը: Ամեն պահպանվող մեծություն կապ է նախահարվածյան և ետհարվածյան իրավիճակների միջև: Եվ եթե այդպիսի պահպանվող մեծություններ գտնենք բավարար քանակի, ապա միարժեքություն ևս կհաստատենք և երևույթը կնկարագրենք՝ չիմանալով հարվածի բնույթի մասին ոչինչ:

Մեխանիկայում մենք մեր տրամադրության տակ արդեն իսկ ունենք դեռևս մեր կողմից չօգտագործված մի քանի համաչափություններ, որոնք հիմք են հանդիսանում պահպանվող նոր մեծություններ հայտնաբերելու համար:

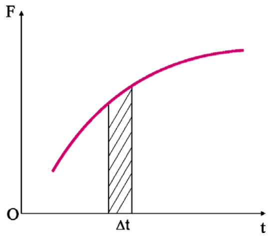
Ժամանակը համասեռ է, այսինքն, ժամանակի ոչ մի պահ մյուսից գերադասելի չէ, որն էլ ընտրենք ժամանակի սկիզբ, ոչինչ մեխանիկայում չի փոխվի: Դա նշանակում է, որ եթե Δt -ով ժամանակը շեղենք, դրանից շարժման հավասարումը չի փոխվի: Ասում ենք ժամանակը համասեռ է և օժտված է տեղաշարժային համաչափությամբ:

Նման կերպ **տարածությունն է համասեռ**, այսինքն, նրա ոչ մի կետ մյուսից առավել չէ: Սա բերում է նրան, որ եթե տարածության մեջ կատարենք $\Delta\vec{r}$ տեղաշարժ, ոչինչ չի փոխվի, որին, ժամանակի նման, անվանում են տարածության տեղաշարժային համաչափություն: **Տարածությունը նաև իզոտրոպ է**, այսինքն, նրա ոչ մի ուղղություն մյուսից գերադասելի չէ, բոլոր ուղղությունները համահավասար են:

Այս համաչափությունների հիման վրա պահպանման օրենքները բացահայտելու համար պետք է շարժման հավասարումը՝

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}\,, \qquad (1)$$

որտեղ $\vec{F}$ -ը բոլոր ազդող ուժերի համազորն է, բազմապատկենք Δt ժամանակային և $\Delta\vec{r}$ տարածական տեղաշարժերով: Այդ նպատակով ներմուծենք մի քանի նոր ֆիզիկական մեծություններ, որոնք նաև պարունակում են ավելի շատ տեղեկություն դինամիկական ու կինեմատիկական հատկությունների մասին:



Նկար 1

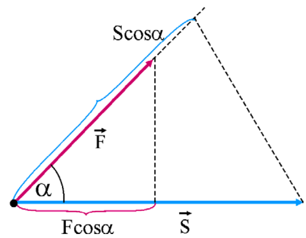
Շարժման (1) հավասարումից երևում է, որ վերը նշված առումներով կարևորվելու են հետևյալ մեծությունները, որոնք հիմա սահմանենք նյութական կետի համար:

Եթե (1)-ը բազմապատկենք Δt-ով, ապա ձախ մասում կկարևորվի

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \qquad (2)$$

արտահայտությունը, որն անվանում են նյութական կետի շարժման քանակ: Ավելի հաճախ այդ մեծությունն անվանում են իմպուլս, քանի որ ըստ (1)-ի և (2)-ի շարժման քանակի փոփոխությունը ուժի իմպուլսն է՝ $\vec{F}\Delta t$ բախյունը (նկ. 1): (2)-ից որոշենք իմպուլսի չափողականությունը. $[p] = MLT^{-1}$:

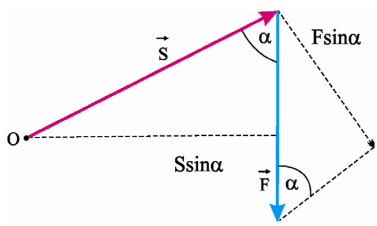
Եթե (1)-ի աջ և ձախ մասերը սկալյար բազմապատկենք $\vec{s} \equiv \Delta\vec{r}$-ով, ապա աջ մասում կկարևորվի $\vec{F}$ հաստատուն ուժի կատարած աշխատանքը $\vec{s}$ տեղափոխության վրա.



Նկար 2

$$A \equiv \vec{F}\vec{s} = Fs\cos\alpha\,, \qquad (3)$$

որտեղ α-ն ուժի և տեղափոխության կազմած անկյունն է (նկ.2): Աշխատանքի չափողականությունն է $[A] = ML^2T^{-2}$, իսկ միավորը SI համակարգում ջոուլն է՝ Ջ: 1Ջ այն աշխատանքն է, որը կատարում է 1Ն ուժն իր ուղղությամբ մարմինը տեղափոխելով 1մ:



Նկար 3

(2)-ից որոշենք իմպուլսի չափողականությունը. $[p] = MLT^{-1}$:

Եթե (1)-ի երկու կողմերը վեկտորապես բազմապատկենք $\vec{s} \equiv \Delta\vec{r}$–ով, ապա աջ մասում կստանանք ուժի $\vec{M}$ մոմենտը (նկ. 3), որի մեծությունը հավասար է

$$M = Fs\sin\alpha\,, \qquad (4)$$

որտեղ α-ն $\vec{F}$ ուժի և $\vec{s}$ կազմած անկյունն է: Ուժի մոմենտի չափողականությունը նույնն է, ինչ աշխատանքինը:

Ներմուծված այս մեծությունները նյութական մատերիայի, տարածության ու ժամանակի համալիր բնութագրիչ մեծություններ են, ուստի արմատական ու առանցքային են ոչ միայն մեխանիկայի, այլ ողջ ֆիզիկայի համար:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք համաչափության հասկացությունը ընդհանրապես, բնության մեջ և ֆիզիկայում՝ մասնավորապես:
2. Ըմբռնե՞լ եք պահպանման օրենքների օգտակարությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Բացատրե՛ք, թե ինչո՞ւմ է կայանում տարածության, ժամանակի և իներցիալ համակարգերի հանրույթի համաչափությունը:
2. Բերե՛ք և վերլուծե՛ք համաչափությունների օրինակներ երկրաչափությունից, հանրահաշվից, բնության առկա գոյակցություններում և երևույթներում:
3. Ցույց տվե՛ք, որ սինուսոիդն օժտված է համաչափությամբ (ինչպի՞սի) և նաև ապացուցե՛ք, որ սինուսոիդով ներկայացվող ցանկացած բնական երևույթ կամ ֆիզիկական համակարգ նույնպես օժտված է այդ նույն համաչափությամբ: Բերե՛ք օրինակներ և վերլուծությամբ հիմնավորեք ձեր ապացույցը:

§17. Շարժման քանակ և ուժի իմպուլս: Շարժման քանակի պահպանման օրենքը

§16-ում, ելնելով շարժման հավասարումից և համաչափության հասկացությունից, ներմուծվեցին շարժման քանակի և ուժի իմպուլսի գաղափարները: Այժմ փորձենք կապ հաստատել նրանց միջև: Ենթադրենք նյութական կետի զանգվածը չի փոխվում շարժման ժամանակ: Ձևափոխենք շարժման հավասարումը՝ օգտվելով իմպուլսի սահմանումից (§16, (2) բանաձևից).

$$m\vec{a} \equiv m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F} : \qquad (1)$$

Վերջին հավասարումը պնդում է, որ նյութական կետի շարժման քանակի փոփոխման արագությունը հավասար է նրա վրա ազդող ուժին: Ի դեպ, Նյուտոնը հենց այսպես է ձևակերպել իր 2-րդ օրենքը: (1)-ը կարող ենք ներկայացնել համարժեք տեսքով.

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t, \qquad (2)$$

որն ասում է, թե նյութական կետի շարժման քանակի փոփոխությունը հավասար է ուժի իմպուլսին (ուժ ասելով կիասկանանք ազդող բոլոր ուժերի գումարը): (2)-ից բխում է, որ եթե ազդող ուժեր չկան կամ համակշռված են, ապա նյութական կետի իմպուլսը պահպանվում է: Մեկ նյութական կետի համար այս պահպանման օրենքն էապես ոչինչ նոր բան չի տալիս, բայց այն կարելի է ընդհանրացնել շատ կետերից բաղկացած համակարգի համար, որը չափազանց օգտակար կլինի:

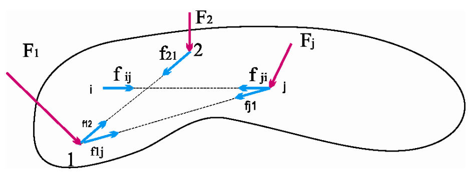
Դիտարկենք նկ.1-ում պատկերված համակարգը, որտեղ $\vec{F}_i$–ին i–րդ մասնիկի վրա ազդող արտաքին ուժն է, իսկ $\vec{f}_{iJ}$-ն՝ j-րդի կողմից ազդած ուժը: Գրենք (1) հավասարումը (կամ որ նույնն է՝ (2)-ը) համակարգի բոլոր կետերի համար, կունենանք՝

$$\frac{\Delta\vec{p}_1}{\Delta t} = \vec{f}_{12} + \vec{f}_{13} + \vec{f}_{1J} + \vec{f}_{1N} + \vec{F}_1$$

$$\frac{\Delta\vec{p}_2}{\Delta t} = \vec{f}_{21} + \vec{f}_{23} + \vec{f}_{2J} + \vec{f}_{2N} + \vec{F}_2$$

$$\frac{\Delta\vec{p}_i}{\Delta t} = \vec{f}_{i2} + \vec{f}_{i3} + \vec{f}_{iJ} + \vec{f}_{iN} + \vec{F}_i$$

$$\frac{\Delta\vec{p}_2}{\Delta t} = \vec{f}_{N1} + \vec{f}_{N2} + \vec{f}_{NJ} + \vec{f}_{NN} + \vec{F}_N$$



Նկար 1

Քանի որ ըստ Նյուտոնի 3-րդ օրենքի $\vec{f}_{ij} = -\vec{f}_{ji}$, ապա զույգ առ զույգ նրանք բոլորը իրար կոչնչացնեն: Այս բոլոր հավասարումները գումարելով՝ կստանանք.

$$\frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t} = \vec{F}_{արտ},\ \Delta\vec{P} = \vec{F}_{արտ}\Delta t\ , \qquad (3)$$

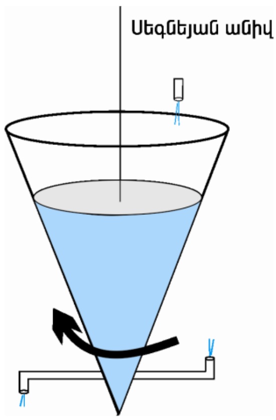
որտեղ համակարգի գումար-իմպուլսը և արտաքին ուժերի համազորը հետևյալն են՝

$$\vec{P} \equiv \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \cdots + \vec{p}_N \qquad (4)$$

$$\vec{F}_{արտ} \equiv \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_N: \qquad (5)$$

Մեխանիկական համակարգն անվանում են փակ, եթե նրա վրա ազդող արտաքին ուժերի համազորը հավասար է զրոյի՝ $\vec{F}_{արտ}$=0: (3)-ից բխում է իմպուլսի պահպանման օրենքը. ***Փակ համակարգի գումարային իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է զրոյի, այսինքն, գումար-իմպուլսը պահպանվում է:***

Արտաքին ուժերի ազդեցությամբ շարժումը կոչվում է ակտիվ շարժում: Իմպուլսի պահպանման օրենքը թույլատրում է մի այլ, ոչ ակտիվ շարժման գոյություն, երբ համակարգի մի մասն իմպուլս է ստանում մյուս մասի հաշվին: Այդպիսի շարժումը կոչվում է ռեակտիվ, քանի որ շարժումն արտաքին (ակտիվ) ուժերի հաշվին չի կատարվում: Օրինակ, սեգներյան անիվից ջուրը դուրս է հոսում հակադիր ծայրերից հակառակ ուղղություններով (նկ. 2), իսկ անիվն իմպուլս է ստանում հակառակ ուղղությամբ և պտտվում է: Եթե ռետինե առաձգական փուչիկը փչենք և չկապելով վզիկն՝ այն բաց թողնենք, նա անմիջապես վզիկին հակառակ ուղղությամբ կթռչի: Մեղուզաներն արտամղում են իրենց մեջ ամբարված ջուրը և շարժվում շիթին հակառակ



Նկար 2

ուղղությամբ: Որոշ ձկներ կատարում են նաև ռեակտիվ շարժում որսի ժամանակ, երբ պահուստված ջուրը բաց են թողնում մեծ արագությամբ որսի հակառակ ուղղությամբ՝ զարգացնելով այդ պահին մեծ արագություն: Շարժման այդ սկզբունքը շատ լայն կիրառություն ունի այն դեպքերում, երբ շարժումն իրականացվում է դատարկ կամ շատ նոսր խտությամբ տարածությունում: Մարդը կամ մեքենան Երկրի վրա շփման ուժով ազդում են Երկրի վրա, իսկ Նյուտոնի 3-րդ օրենքի շնորհիվ Երկիրն էլ նրանց վրա է ազդում և շարժում առաջացնում: Եթե շփում չլինի, ապա այդ շարժումը ևս չի լինի: Իսկ եթե Երկիրը կամ այլ մարմին չկա, ապա ինչպե՞ս շարժում առաջացնել: Նման դեպքերում ռեակտիվ շարժումը միակ միջոցն է:

Դիտարկենք Ցիոլկովսկու առաջարկած ռեակտիվ շարժիչի աշխատանքի սկզբունքը: Դիցուք ինքնաթիռն ունի վառելիքի երկու տարրողություն, մեկը՝ լցված թթվածնով, մյուսը՝ ջրածնով, ընդհանուր m զանգվածով: Եթե ծորակների փականները բացենք և եռնամասի այրման խցիկում նրանք խառնվեն, կբռնկվեն և տաք ջրային գոլորշին դուրս կժայթքի v միջին արագությամբ՝ ունենալով mv իմպուլս: Ըստ իմպուլսի պահպանման օրենքի, M զանգվածով օդանավը պիտի ճիշտ այդքան իմպուլս ստանա հակառակ ուղղությամբ և շարժվի V արագությամբ, որպեսզի այդ երկու իմպուլսների վեկտորական գումարը լինի զրո, ինչպես մինչ այրումն էր: Ուստի կարող ենք գրել. $mv = MV$, որտեղից կհաշվենք V -ն: Հրթիռային շարժիչների ոլորտում մեծ ներդրում ունեն ռուս գիտնական Ս. Կարալյովը և հայ գիտնական Ս. Քոչարյանցը: Այդօրինակ շարժիչով է թռել առաջին տիեզերագնաց Յու. Գագարինը և առայսօր բոլոր տիեզերանավերն այդ սկզբունքով են թռչում: Առաջին հայ տիեզերագնացը **Ջ. Բաղյանն է:**

Բաղյան Ջեյմս Ֆիլիպի (ծ. 1952)
Ամերիկյան տիեզերագնաց-օդաչու, հայազգի առաջին տիեզերագնացը: Բժշկագիտության դոկտոր: 1989թ. մարտի 13 - 18-ը, որպես բժշկակենսաբանական հետազոտությունների մասնագետ, թռիչք է կատարել ամերիկյան «Դիսքավերի» տիեզերանավով:

Քոչարյանց Սամվել Գրիգորի (1909 - 1993)
Հայ խոշորագույն գիտնական, միջուկային, ջերմամիջուկային և հրթիռամիջուկային զենքերի համակարգերի ստեղծողներից, գլխավոր կոնստրուկտոր:

Այժմ ֆիզիկոսները մշակում են այդ նույն սկզբունքով աշխատող նոր շարժիչներ՝ ֆոտոնային շարժիչներ, որոնք հնարավորություն կընձեռեն տիեզերանավերին թռչել լույսի արագությանը շատ մոտ արագություններով: Իսկ ինչո՞ւ են պետք այդպիսի մեծ արագությունները: Պատասխանը մեկն է. ուզում ենք թափանցել Տիեզերքի հուզական անհունները ոչ միայն մտքով:

Ցույց է տրվում, որ գոյություն ունեն շեմային արագություններ, որոնցից մեծ արագությունների դեպքում ձգողության ուժերի դաշտում, այն է, անկշռության պայմաններում, մարմինները կարող են շարժվել միայն որոշակի տարածական տիրույթներում: Առաջին տիեզերական արագությունն այն արագությունն է, որի դեպքում մարմինն անվերջ ժամանակում է ազատ անկում կատարում Երկրագնդի վրա և, որպես արհեստական արբանյակ, պտտվում է նրա շուրջը որոշակի հեռավորությամբ, որի մեծությունը կախված է արագությունից, սկսած առաջին տիեզերական արագությունից՝ ≈ 8 *կմ/վրկ* է, մինչև ≈ 11 *կմ/վրկ*: Վերջինը՝ երկրորդ տիեզերական արագությունն է, որի դեպքում մարմինը այլևս Երկրի արբանյակը չէ, բայց շարժվում է արեգակնային համակարգում, քանի դեռ նրա արագությունը չի գերազանցել ≈ 29 *կմ/վրկ* արժեքը: Սա էլ կոչվում է երրորդ տիեզերական արագություն, երբ մարմինը լքում է նաև արեգակնային համակարգը: Էլի շատ շեմային արագություններ կան, բայց առայժմ մնանք մեր (Ծիր Կաթին) Գալակտիկայի սահմաններում:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք, թե ի՞նչ մեծություններ են շարժման քանակը և ուժի իմպուլսը:
2. Ըմբռնե՞լ եք իմպուլսի պահմանման օրենքը, նրա իմաստը և հիմքերը:
3. Հասկացե՞լ եք, թե ի՞նչպիսին են ակտիվ և ռեակտիվ շարժումները:
4. Պատկերացում կազմեցի՞ք տիեզերական արագությունների մասին:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նշե՛ք շարժման քանակի և ուժի իմպուլսի ներմուծման միտքը և տվե՛ք նրանց սահմանումները:

2. Չևակերպե՛ք իմպուլսի պահպանման օրենքը և վերլուծեք նրա կապը տարածության համասեռության հետ:

§18. Մեխանիկական աշխատանք և էներգիա

§16-ում ներմուծվեց ուժի կատարած աշխատանքի գաղափարը, որը ֆիզիկայի առանցքային հասկացություններից է: Նախ, այն իր մեջ ներառում է բավականին ինֆորմացիա ազդող ուժերի $\vec{F}$ համազորի և կատարված $\vec{s}$ տեղափոխության մասին.

$$\Delta A = (\vec{F}, \vec{s}) = (\vec{F}, \Delta\vec{r}) = Fs\cos\varphi: \qquad (1)$$

Աշխատանքի գաղափարից է ծագել էներգիայի հասկացությունը, որը հիմնարար նշանակություն ունի ողջ ֆիզիկայի, Տիեզերքի ծագման ու էվոլյուցիայի համար: Այն վճռորոշ է եղել մարդու ծագման, գոյության ու զարգացման հարցերում: Պերճախոս է Ֆ. Էնգելսի արտահայտությունը. Աշխատանքը կապիկին դարձրեց մարդ: Հայտնի է, որ անգամ նախամարդու հիմնական մտահոգությունը եղել է աշխատանքային գործիքների ստեղծումը՝ ապահովելու համար սնունդը, անվտանգությունն ու բազմացումը: Ի դեպ, կենսաբանական աշխարհը, այդ թվում մարդը, սնունդ են ստանում օրգանիզմում այն էներգիայի վերածելու և դրա հաշվին աշխատանք կատարելու համար: Չէ՞ որ ցանկացած կենդանի օրգանիզմում անընդհատ առկա է փոփոխական շարժումը, այսինքն, աշխատանքի կատարումն ինչպես իր՝ օրգանիզմի պահպանման, այնպես էլ օրգանիզմից դուրս փոփոխություններ անելու համար: Օրինակ են կենդանիների թոքերը, սիրտը, մկանները, բույսերի արևին հետևելը և այլն: Էներգիան նաև միտք է և գիտելիք, որն ուղեղը ձևավորում է էներգածախսով, այն էլ այնքան մեծ, որ այլ կենդանիներ լոկ նվազագույն (բնազդային) գիտելիքների համար են ի զորու էներգիա հայթայթել: Մարդու գործունեության ամենաէներգատարը լարված մտավոր աշխատանքն է: Ուղղակի, թե անուղդակի, քաղաքակրթության հիմքը միտքն է և գիտելիքը, ուստիև աշխատանքն է և էներգիան:

Երբ տեղափոխություն կատարող մարմնի վրա ուժ է ազդում, դա չի նշանակում, թե ազդող մարմինը աշխատանք է կատարում: Եթե հավասարաչափ պտտենք թելին ամրացված գնդիկը, ապա գնդիկը կշարժվի շրջանագծով թելի ազդման ուժի շնորհիվ, բայց այդ ուժն աշխատանք չի կատարի, քանի որ ուղղահայաց է տեղափոխությանը և $\cos\varphi = 0$, ուստի, ըստ (1)-ի, զրոյի է հավասար նաև կատարված աշխատանքը: Նման կերպ Երկիրը աշխատանք չի կատարում Լուսինն ուղեծրի վրա պահելու համար (այլ կերպ Երկրի էներգիան կսպառվեր և Լուսինը կընկներ Երկրի վրա):

Աշխատանք չի կատարվում նաև այն դեպքում, երբ չկա տեղափոխություն: Օրինակ, երբ գնդիկը հարվածում է անշարժ պատին, որը դարձյալ մնում է անշարժ, ապա չի կատարվում աշխատանք, չնայած գնդիկը պատին հաղորդում է իմպուլս և էներգիա:

Ուժն ամենամեծ աշխատանքը կատարում է, երբ տեղափոխությունը կատարվում է իր ուղղությամբ: Այդ դեպքում $\cos\varphi = 1$ և $A = Fs$: Եթե ուժն ուղղված է հակառակ տեղափոխությանը, ապա ուժը նրան խոչընդոտում է՝ կատարելով բացասական աշխատանք. $\cos\varphi = -1$ և $A = -Fs < 0$: Օրինակ, շարժվող ավտոմեքենային օդը դիմադրում և դանդաղեցնում է նրա ընթացքը օդի դիմադրության ուժի կատարած բացասական աշխատանքի միջոցով: Բացասական աշխատանք են կատարում նաև շփման ուժերը, որոնք առաջանում են հպվող մակերևույթների միջև:

Քանի որ ուժը մարմնի ազդեցություն է, ուստի ամեն մարմին այս կամ այն չափով ունակ է աշխատանք կատարելու: Տարբեր մարմիններ շարժման տարբեր վիճակներում ունեն աշխատանք կատարելու տարբեր ունակություններ, որը կարելի է ներկայացնել մի նոր ֆիզիկական մեծությամբ: Մարմնի աշխատանք կատարելու ընդունակության չափն անվանենք **էներգիա**: Այս սահմանումը ֆիզիկական իմաստ չունի, քանի որ քանակական միարժեք տեղեկություն բնավ չի պարունակում: Այդ նպատակով լրացնենք սահմանումը՝ մարմնի էներգիայի փոփոխությունը նրա վրա կատարված աշխատանքի հետ նույնացնելով, ընդ որում, եթե այդ աշխատանքը մարմինն ինքն է կատարել, այն կհամարենք բացասական: Ըստ այս սահմանման էներգիան որոշվում է հաստատուն գումարելիի ճշտությամբ: Իրոք, եթե մարմինն ունեցել է E_1 էներգիա, իսկ A աշխատանք կատարելուց հետո դարձել է E_2 , ապա

$$E_2 - E_1 = A, \qquad (2)$$

իսկ եթե այդ էներգիաները լինեին $(E_1 + E_0)$ և $(E_2 + E_0)$, ապա կունենայինք.

$$(E_2 + E_0) - (E_1 + E_0) \equiv E_2 - E_1 = A, \qquad (3)$$

այսինքն, աշխատանքը կախված չէ այդ կամայական E_0 գումարելիից: Հետևաբար, որպեսզի էներգիայի արժեքը իմաստավորենք, պետք է էներգիան նորմավորենք, այն է, պետք է էներգիայի որևէ կամայական արժեք համարենք էներգիայի հաշվարկման սկզբնակետ՝ 0 էներգիա, իսկ էներգիայի մնացած բոլոր արժեքները կնույնացնենք այդ 0 արժեքից ունեցած տարբերության հետ: Այդպես ենք վարվել նաև տարածության և ժամանակի չափման հարցերում: Ի դեպ, էներգիայի և ժամանակի այս նմանությունը պատահական զուգադիպություն չէ, միևնույն համաչափության տարբեր դրսևորում է, կամ այլ մեկնաբանությամբ, դա երկու համաչափությունների համարժեքություն է:

(2)-ից պարզ է, որ եթե մարմնի վրա աշխատանք է կատարվում, որը դրական ենք համարում, ապա նրա էներգիան աճում է, իսկ եթե մարմինն է աշխատանք կատարում, ապա նրա էներգիան նվազում է: Եթե մարմնի վրա ազդում են մի քանի ուժեր, ապա կատարված ընդհանուր աշխատանքը բոլոր ուժերի առանձին-առանձին կատարած աշխատանքների հանրահաշվական գումարն է: Յուրաքանչյուր ուժի կատարած աշխատանքը վերցնում ենք իր նշանով:

Ինչպես մեխանիկայում, այնպես էլ ֆիզիկայում դինամիկայի կարևոր բնութագրիչ մեծություն է աշխատանք կատարելու արագությունը, որին կոչում են **հզորություն**: Եթե աշխատանք կատարելու արագությունը հաստատուն է, ապա հզորության ֆիզիկական իմաստը միավոր ժամանակում կատարված աշխատանքն է: Միևնույն աշխատանքը տարբեր ուժեր տարբեր ժամանակներում կկատարեն, որի մասին ոչ մի տեղեկություն աշխատանքը չի պարունակում, իսկ հզորությունը լրացնում է այդ պակասը: Եթե Δt ժամանակում կատարվում է ΔA աշխատանք, ապա կունենանք.

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t}, \quad [N] = {[A]}/{[T]} = ML^2T^{-3} : \qquad (4)$$

Հզորության միավորը SI համակարգում վատտն է (ի պատիվ Ջ. Ուատտի): 1 Վտ այն հզորությունն է, երբ 1 վայրկյանում կատարվում է 1 Ջ աշխատանք:

Էներգիական պրոցեսներում միշտ կան կորուստներ՝ էներգիայի ցրում: Ուստի ծախսված ողջ էներգիան միշտ (հետագայում կհամոզվենք, որ երբեք) ամբողջովին չի վերածվում օգտակար աշխատանքի: Արդյունավետությունը գնահատելու համար նոր բնութագրիչ են սահմանում՝ օգտակար գործողության գործակից (օգգ)- η .

$$\eta \equiv \frac{A_{օգտ}}{E_{լրիվ}}, \qquad (5)$$

որտեղ $A_{օգտ}$-ը օգտակար աշխատանքն է, $E_{լրիվ}$-ը՝ ծախսված լրիվ էներգիան է:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ինչպե՞ս եք ըմբռնել աշխատանքի և էներգիայի հասկացությունը և կապը նրանց միջև:
2. Հասկացե՞լ եք, ինչու՞ և ինչպե՞ս ենք ներմուծել հզորություն մեծությունը:
3. Գիտե՞ք ինչ է նշանակում բացասական աշխատանք:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Բացատրե՛ք, թե ինչո՞ւ էներգիան ըստ իր սահմանման միարժեք չէ, ուստի հարկ կա այն նորմավորել՝ ընտրելով էներգիայի հաշվարկի սկզբնակետ:
2. Նկարագրե՛ք հզորության և օգտակար գործողության գործակցի հասկացությունները:
3. Հիմնավորե՛ք, թե ինչո՞ւ է համակարգի ներքին ուժերի կատարած գումարային աշխատանքը հավասար 0:
4. Թվարկե՛ք և հիմնավորե՛ք, թե ե՞րբ ուժը աշխատանք չի կատարի:

§19. Էներգիայի պահպանման օրենքը

Իմպուլսի պահպանման օրենքը մենք ստացանք Նյուտոնի 2 -րդ և 3-րդ օրենքներից: Էներգիայի դեպքում ևս կարող ենք դինամիկայի օրենքներից ամեն ինչ ստանալ: Սակայն նախ պարզագույն դիտումներով պարզենք, թե մարմինները ե՞րբ և ի՞նչ տեսակի մեխանիկական էներգիա կարող են ունենալ:

Արագությամբ շարժվող ամեն մարմին, հարվածելով մի այլ մարմնի, փոխում է իր արագությունը և նաև տեղաշարժում է մյուս մարմինը, հետևաբար, աշխատանք է կատարում: *Եզրակացություն.* շարժվող մարմինը ունի էներգիա՝ պայմանավորված իր շարժմամբ: Դա անվանում են **շարժման կամ կինետիկ էներգիա**:

Դիցուք m զանգվածով և v_1 արագությամբ շարժվող մարմինը Δt ժամանակում արագությունը դարձրեց v_2՝ կատարելով $s = v_{միջ} \cdot \Delta t = \frac{v_1+v_2}{2} \cdot \Delta t$ տեղափոխություն:

Քանի որ $F = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$, ապա կատարված աշխատանքը կլինի՝

$$A = F.s = m\frac{v_2-v_1}{\Delta t} \cdot \frac{v_2+v_1}{2} \cdot \Delta t = \left(\frac{mv_2{}^2}{2}\right) - \left(\frac{mv_1{}^2}{2}\right) \equiv T_2(v_2) - T_1(v_1), \quad (1)$$

$$T(v) \equiv \frac{mv^2}{2}, \quad (2)$$

որը կինետիկ էներգիան է, քանի որ նրա փոփոխությունը, ըստ (1)-ի, կատարված աշխատանքն է, իսկ ինքն էլ պայմանավորված է բացառապես շարժմամբ, քանի որ եթե արագությունը լինի զրո, ապա T էներգիան էլ կդառնա զրո: (1) առնչությունը կոչվում է կինետիկ էներգիայի թեորեմ:

Դիցուք m զանգվածով մարմինը գտնվում է գետնից h_1 բարձրության անշարժ պահոցի վրա: Երբ պահոցը վերցնենք, մարմինն ազատ անկում կանի մինչև հանդիպի և հարվածի h_2 բարձրության վրա գտնվող զսպանակին ամրացված մի B մարմնի: Կտեսնենք, որ m զանգվածով մարմինը կփոխի իր արագությունը, իսկ B մարմինը կկատարի տեղափոխություն ուղղաձիգ դեպի ներքև: *Եզրակացություն.* ծգողության դաշտում գտնվող մարմինն օժտված է աշխատանք կատարելու ունակությամբ՝ էներգիայով: Հաշվենք m զանգվածով մարմնի վրա ծգողության ուժի կատարած աշխատանքը, համարելով ազատ անկման g արագացումը հաստատուն:

$$A = mg \cdot (h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2 \equiv U_2(h_2) - U_1(h_1), \quad (3)$$

$$U(h) \equiv -mgh: \quad (4)$$

Ինչպես երևում է (3)-ից և (4)-ից, $U(h)$ -ը էներգիա է, քանի որ նրա փոփոխությունն աշխատանք է: Այն կոչվում է **փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիա**, քանի որ պայմանավորված է բացառապես Երկրի ծգողական փոխազդեցությամբ (հետևաբար, իր դիրքով, որի համար էլ երբեմն անվանում են **դիրքի էներգիա**): m զանգվածը h-ով Երկրի ծգողության դաշտում բարձրացնելու համար կատարել ենք $mgh = -U(h)$ աշխատանք, որի շնորհիվ m զանգվածը ձեռք է բերել mgh պոտենցիալ էներգիա:

Դիտարկենք ևս մեկ փորձ: k կոշտության գործակցով զսպանակին ամրացված մարմինը հավասարակշռության $x_0 = 0$ դիրքից շեղենք x_1 չափով (սեղմենք կամ ձգենք) և բաց թողնենք: Եթե դեպի հավասարակշռության դիրք շարժվելիս x_2 կետում նա հարվածի մի այլ մարմնի, նրան կտեղաշարժի: *Եզրակացություն.* սեղմված կամ ձգված զսպանակն օժտված է աշխատանք կատարելու ունակությամբ՝ էներգիայով:

Հաշվենք զսպանակի կատարած $(-A)$ աշխատանքը: Ըստ Հուկի օրենքի

$$F_x = -kx, \quad (5)$$

որը կախված է x-ից, ուստի աշխատանքի բանաձևում այն փոխարինենք իր միջին արժեքով և տեղադրենք աշխատանքի բանաձևում, կստանանք.

$$F_{միջ} = -k\frac{x_1+x_2}{2}, \quad (6)$$

$$-A = F_{միջ} \cdot \frac{x_2-x_1}{2} = \frac{kx_1{}^2}{2} - \frac{kx_2{}^2}{2} \equiv U(x_2) - U(x_1), \quad (7)$$

որտեղ

$$U(x) = k\frac{x^2}{2}: \quad (8)$$

Այստեղ $U(x)$ –ը պոտենցիալ էներգիա է, որը պայմանավորված է զսպանակի ներքին փոխազդեցությամբ (ուստիև դիրքով):

Այսպիսով, շարժումով և փոխազդեցությամբ պայմանավորված են էներգիաներ՝ կինետիկ և պոտենցիալ համապատասխանաբար: Իսկ *մեխանիկայում կան միայն շարժումներ ու փոխազդեցություններ, ուստի կան* ***միայն*** *կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաներ, որոնց գումարն անվանում են մարմնի* **լրիվ** ***մեխանիկական էներգիա***.

E=T+U, (9)

այն սկալյար մեծություն է և գումարվում է հանրահաշվորեն (ադիտիվ մեծություն է):

Բազմաթիվ փորձերը ցույց են տվել, որ մեխանիկական համակարգի լրիվ էներգիայի փոփոխությունը հավասար է արտաքին ազդող ուժերի կատարած աշխատանքին.

$\Delta(T+U)=A$: (10)

(7) առնչությունից բխում է, որ փակ համակարգի լրիվ էներգիան պահպանվում է, այն կարող է պոտենցիալից վերափոխվել կինետիկի, կինետիկից՝ պոտենցիալի, բայց գումարը միշտ մնում է նույնը, հաստատուն:

Այս օրենքները, իհարկե, կարելի էր ստանալ նաև տեսականորեն, դինամիկայի օրենքներից և ժամանակի համասեռության հատկությունից:

Էներգիայի պահպանման օրենքը իմպուլսի պահպանման օրենքի հետ միասին շատ հզոր միջոց է մեխանիկայի և ֆիզիկայի ամենահիմնական ուսումնասիրությունների և խնդիրների լուծման հարցերում: Սակայն մի հարցում էլ արգելող դեր է կատարել: Ալքիմիայի ու ալֆիզիկայի անհաջողություններից հետո գիտնականները ջանում էին ստեղծել այնպիսի մի մեքենա, որը միայն մի անգամ էներգիա ստանալով անվերջ երկար կամ անվերջ կարող է մեծ աշխատանք կատարել: Այդպիսի մեքենան անվանեցին առաջին կարգի հավերժական շարժիչ: Էներգիայի պահպանման օրենքը բացառում է, արգելում է հավերժական շարժիչի գոյությունը: Այլ կերպ ասած, հավերժական շարժիչի օգտակար գործողության գործակիցը պետք է մեկից մեծ չլինի, այլապես կհակասի էներգիայի պահմանման օրենքին:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք էներգիայի պահպանման և փոխակերպման գաղափարները:
1. Հասկացե՞լ եք մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքն ու նրա կապը ժամանակի համասեռության հետ:
2. Յուրացրե՞լ եք (2), (4) և (5) բանաձևերի ստացման եղանակը:

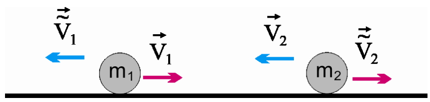
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՛ք մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքը: Բերե՛ք այն հաստատող փորձերի օրինակներ:
2. Շարժման հավասարումից հետևեց մեխանիկական էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքը փակ համակարգի համար: Իսկ ավելի ընդհանուր դեպքում ստացվեց (7) հավասարումը: Փորձե՛ք հակառակը ստանալ, այսինքն, օրինակ, (7)-ից վերարտադրել շարժման հավասարումը (Նյուտոնի 2-րդ օրենքը):
3. Որոշե՛ք, թե քանի անգամ կփոխվի զսպանակի պոտենցիալ էներգիան, եթե նրա շեղումը հավասարակշռության դիրքից 2 անգամ մեծացնենք:
4. Որոշե՛ք, թե քանի անգամ կփոխվի մարմնի պոտենցիալ էներգիան Երկրի ձգողության դաշտում, եթե նրա բարձրությունը Երկրի մակերևույթից 2 անգամ մեծացնենք: Արդյունքը համեմատե՛ք նախորդ խնդրի հետ և բացատրե՛ք, թե ինչի՞ց է առաջանում տարբերությունը:

§20*. Պահպանման օրենքների կիրառման օրինակներ

Պահպանման օրենքների օգտակարությունը և արդյունավետությունը ցուցադրենք մի քանի տիպային խնդիրների վրա: Նախ տանք մի սահմանում՝ հարվածը կոչվում է առաձգական, եթե կինետիկ էներգիան պահպանվում է, հակառակ դեպքում՝ այն կոչվում է ոչ առաձգական:

Խնդիր 1: Հարթ հորիզոնական սեղանի վրա միևնույն ուղղի երկայնքով առանց շփման հանդիպակաց շարժվող երկու գնդիկներ բախվում են: Նկ. 1-ում բերված են նշանակումները, որտեղ m_1, m_2, v_1 և v_2 մեծությունները ենթադրվում են տրված: Որքա՞ն են հարվածից հետո գնդիկների $\tilde{v}_1$ և $\tilde{v}_2$ արագությունները և համապատասխան մեխանիկական էներգիաները: Բախումը համարել բացարձակ առաձգական:



Նկար 1

Լուծում: Ըստ իմպուլսի պահպանման օրենքի ունենք.

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{\tilde{v}}_1 + m_2\vec{\tilde{v}}_2 ,$$

որը պրոյեկտելով $\vec{v}_1$-ի ուղղության վրա և խմբավորելով, կստանանք.

$$m_1(v_1 + \tilde{v}_1) = m_2(v_2 + \tilde{v}_2): \quad (1)$$

Համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, ունենք.

$$\frac{m_1 v_1{}^2}{2} + \frac{m_2 v_2{}^2}{2} = \frac{m_1 \tilde{v}_1{}^2}{2} + \frac{m_2 \tilde{v}_2{}^2}{2} ,$$

որը խմբավորելով, կստանանք.

$$m_1(v_1 + \tilde{v}_1)(v_1 - \tilde{v}_1) = m_2(v_2 + \tilde{v}_2)(v_2 - \tilde{v}_2): \quad (2)$$

(1)-ը տեղադրելով (2)-ի մեջ, կստանանք

$$(v_1 - \tilde{v}_1) = (v_2 - \tilde{v}_2) : \quad (3)$$

(1)-ը և (3)-ը երկու հավասարում են $\tilde{v}_1$ և $\tilde{v}_2$ երկու անհայտների նկատմամբ, որոնցից

$$\tilde{v}_1 = \frac{(m_2 - m_1)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad (4)$$

$$\tilde{v}_2 = \frac{(m_2-m_1)v_2+2m_1v_1}{m_1+m_2}: \qquad (5)$$

Դիտարկենք մի քանի մասնավոր պարզ դեպքեր: Եթե $v_1 = v_2$, ապա (4)-ից և (5)-ից բխում է, որ $\tilde{v}_1 = \tilde{v}_2$, այսինքն, գնդիկները նույն արագությամբ էլ միմյանցից կհեռանան: Իսկ եթե $m_1 = m_2$, ապա $\tilde{v}_1 = v_2$ և $\tilde{v}_2 = v_1$: Եթե m_2-ը անվերջ մեծ է, ասենք անշարժ պատ է, ապա $\tilde{v}_2 = 0$, իսկ $\tilde{v}_1 = v_1$, այսինքն, պատին ուղղահայաց առաձգական հարվածելուց հետո գնդիկն իր նույն արագությամբ էլ ետ կվերադառնա: Այս դեպքը շատ հաճախ ենք օգտագործելու գազերի կինետիկ տեսության մեջ:

Դիտենք մի շատ կիրառական դեպք ևս: Ենթադրենք $\tilde{v}_2 = 0$՝ երկրորդ գնդիկն անշարժ է: Այդ դեպքում

$$\tilde{v}_1 = \frac{(m_2-m_1)v_1}{m_1+m_2} \text{ և } \tilde{v}_2 = \frac{2m_1v_1}{m_1+m_2}: \qquad (6)$$

Կինետիկ էներգիաների հաշվարկը, երբ հայտնի են զանգվածները և արագությունները, դժվար չէ կատարել (ինքնուրույն), ուստի այստեղ (6)-ի հիման վրա միայն նկատենք, որ շարժվող գնդիկն անշարժին տալիս է իր էներգիայի $\left(\frac{2m_1}{m_1+m_2}\right)^2$ մասը, իսկ իրեն պահում է $\left(\frac{(m_2-m_1)}{m_1+m_2}\right)^2$ մասը: Ընդհանուր դեպքում ցույց է տրվում, որ առաձգական հարվածի դեպքում մեծ էներգիա ունեցող գնդիկն իր էներգիայի մի մասը փոխանցում է նվազ էներգիա ունեցող գնդիկին:

Խնդիր 2: Հորիզոնական ուղղությամբ v արագությամբ արձակված m զանգվածով գնդակը հարվածում է l երկարությամբ անկշիռ լարից կախված M զանգվածով A թիրախին և մխրճվում նրա մեջ: Որքա՞ն է լարի թեքման առավելագույն անկյունը և որքա՞ն մեխանիկական էներգիա վերածվեց ջերմության:

Լուծում: Ֆիզիկորեն ընթանում է հետևյալ պրոցեսը: Գնդիկը հարվածում և թիրախին է փոխանցում որոշակի իմպուլս և կինետիկ էներգիա: Ստացած էներգիայի մի մասը մնում է որպես թիրախի և գնդիկի կինետիկ էներգիա, մնացածը ցրվում-վերածվում է ոչ մեխանիկական էներգիայի (հիմնականում տաքացնում է թիրախը): Այնուհետև թիրախը ճոճանակի նմանությամբ թեքվում է այնքան, մինչև կինետիկ էներգիան լրիվ վերածվի պոտենցիալ էներգիայի: Այդ դեպքում իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքները հարվածի համար կլինեն.

$mv = (M+m)V$, (1)

$mv^2/2 = (M+m)V^2/2 + Q$, (2)

որտեղ Q -ն ցրված էներգիան է: Իսկ թիրախի և գնդիկի համար էներգիայի պահպանման օրենքից, հաշվի առնելով լարի թեքումը և օգտվելով նկ. 2-ից, կունենանք.

$(M+m)V^2/2 = E_պ$, (3)

$E_պ = (M+m)gl(1-\cos\varphi)$: (4)

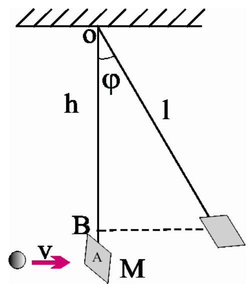
(1)-ից հաշվենք V արագությունը, տեղադրենք (2)-ի մեջ, և հաշվենք ցրված էներգիան.

$Q = \frac{M}{M+m} \cdot \frac{mv^2}{2}$,

իսկ տեղադրելով (3)-ի և (4)-ի մեջ, կստանանք.

$\cos\varphi = 1 - \left(\frac{m}{M+m}\right)^2 \cdot \frac{v^2}{2gl}$:

(5)-ից և (6)-ից բխում է, որ եթե M-ն անվերջ մեծ լինի, ապա գնդակի ողջ էներգիան կվերածվի ջերմության, շեղման անկյունն էլ կլինի 0, այսինքն, չի շեղվի, ինչը ֆիզիկորեն ակնհայտ է:



Նկար 2

Խնդիր 3: Հանդարտ լճում M զանգվածով երկու միանման նավերին ամրացված հրանոթներից միաժամանակ հորիզոնական ուղղությամբ v արագությամբ արձակեցին m զանգվածով մեկական արկ՝ հակառակ ուղղություններով: Գտնել նավերի հեռավորությունը կրակոցից t ժամանակ հետո, եթե կրակոցի պահին նավերը եղել են իրար մոտ (նույն կետում) անշարժ կանգնած:

Լուծում: Արձակված արկը ստանում է mv իմպուլս: Ըստ իմպուլսի պահպանման օրենքի, նավը նույնքան իմպուլս է ստանում հակառակ ուղղությամբ, որը հավասար է (M-m)V, քանի որ նավի զանգվածից պակասել է արկի զանգվածի չափով: Ուստի ունենք.

$(M\text{-}m)V = mv$: (1)

Երկու նավն էլ կրակելուց հետո կունենան նույն մեծության, բայց հակառակ ուղղված արագություններ, ուստի նրանց հարաբերական արագությունը կլինի 2V, հետևաբար t ժամանակ հետո նրանց d հեռավորությունը կլինի.

$d = 2Vt$, կամ ըստ (1)-ի

$d = \frac{2mvt}{M-m}$: (2)

Այս խնդիրը չափազանց հեշտ լուծվեց լոկ իմպուլսի պահպանման օրենքի միջոցով, առանց որի, սակայն, շատ բարդ կլիներ այն լուծել:

Պահպանման օրենքները, բացի խնդիրների լուծումները հեշտացնելուց, նույնքան կարևոր դեր ունեն (և ունեցել են, նաև ունենալու են) բնական և տեխնիկական երևույթը հասկանալու, մեկնաբանելու և կանխատեսելու հարցերում: Օրինակ, աշխարհին հիմա ամենաշատը հետաքրքրում է էներգաարտադրության հարցը: Քննարկվում են բազում հնարավորություններ, բայց առաջնահերթն այն է, թե էներգիան որտե՞ղից և ինչպե՞ս կարող ենք վերցնել, քանի որ նրա քանակը պահպանվելու է, իսկ մենք միայն փոխակերպելու ենք:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք դիտարկված խնդիրների լուծման եղանակները: Կարո՞ղ եք այդ լուծումները կրկնել և այդ եղանակով նման այլ խնդիրներ լուծել:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Խնդիր 1-ում որոշե՛ք՝ **ա**. ի՞նչ պայմանների դեպքում հարվածից հետո m_1 գնդիկը կմնա անշարժ, **բ.** լուծումը կրկնեք այն դեպքում, երբ բախվում են միևնույն ուղղությամբ շարժվող գնդիկները:
2. Խնդիր 2-ը լուծե՛ք, եթե գնդիկը ծակում-անցնում է թիրախը՝ կորցնելով իր էներգիայի կեսը:
3. Խնդիր 3-ը լուծե՛ք, եթե արկերն արձակվել են նույն ուղղությամբ, սակայն մեկը մյուսից 2 անգամ մեծ արագությամբ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. 1 կգ զանգված ունեցող մարմինը հավասարաչափ շրջանագծային շարժում է կատարում 5 մ/վ արագությամբ: Որքա՞ն է նրա իմպուլսի փոփոխության մոդուլը և իմպուլսի մոդուլի փոփոխությունը քառորդ պտույտի ընթացքում:
2. Պոմպի մխոցի վրա ազդում է 240 կՆ ուժ: Որքա՞ն է մխոցի մեկ քայլի ընթացքում այդ ուժի կատարած աշխատանքը, եթե քայլի երկարությունը 40 սմ է:
3. Առանց սկզբնական արագության ազատ անկում կատարող 0,2 կգ զանգվածով մարմինը 6 վ-ում հասնում է Երկրի մակերևույթին: Որքա՞ն է ծանրության ուժի աշխատանքը:
4. 10 կգ զանգվածով բեռը ուղղաձիգ ուղղությամբ 2 մ բարձրացնելիս կատարվել է 230 Ջ աշխատանք: Ի՞նչ արագացումով է բարձրացվել բեռը: Օդի դիմադրությունն անտեսել:
5. 7 մ/վ արագությամբ շարժվող 3 կգ զանգված ունեցող մարմինն սկսում է շարժվել 0,6 մ/վ^2 արագացումով:
   ա. Ի՞նչ ուժ սկսեց ազդել մարմնի վրա:
   բ. Որքա՞ն կլինի մարմնի կինետիկ էներգիան 5 վ հետո, եթե ուժն ազդում է մարմնի շարժման ուղղությամբ:
6. 2 կգ զանգվածով մարմինը շարժվում է համաձայն $x=10+3t$ հավասարման, որտեղ մեծություններն արտահայտված են ՄՀ-ի համապատասխան միավորներով: Որքա՞ն է մարմնի իմպուլսը:
7. Աշակերտը չդեֆորմացված զսպանակը ձգեց ինչ-որ երկարությամբ: Այդ վիճակում զսպանակը բռնեց երկրորդ աշակերտը և ձգեց նույնքան, որքան առաջինը: Զսպանակի պոտենցիալ էներգիան երկրորդ աշակերտի ձգելուց հետո քանի՞ անգամ է մեծ առաջին աշակերտի ձգելուց հետո զսպանակի պոտենցիալ էներգիայից:
8. 3 կգ զանգվածով մարմինն առանց սկզբնական արագության ազատ անկում է կատարում 80 մ բարձրությունից:
   ա. Որքա՞ն է մարմնի կինետիկ էներգիան շարժումն սկսելուց 2 վ անց:
   բ. Որքա՞ն է մարմնի պոտենցիալ էներգիան շարժումն սկսելուց 3 վ անց:

9. 8 մ բարձրությունից առանց սկզբնական արագության ազատ անկում կատարող մարմինը գետնին հարվածելու պահին ունի 2000 Ջ էներգիա: Որքա՞ն է մարմնի զանգվածը:

10. Էլկտրաշարժիչի օգնությամբ 5 կգ զանգվածով բեռը կարելի է 2 վ-ում հավասարաչափ բարձրացնել 0,6 մ: Որքա՞ն է շարժիչի մեխանիկական հզորությունը:

11. Խաղալիք ատրճանակը կրակելու նախապատրաստելիս նրա 800 Ն/մ կոշտությամբ զսպանակը սեղմեցին 0,05 մ-ով: Հորիզոնական ուղղությամբ կրակելիս ի՞նչ արագություն է ստանում 0,02 կգ զանգվածով գնդակը:

12. Մարմինն առանց սկզբնական արագության ազատ անկում է կատարում 60 մ բարձրությունից: Երկրի մակերևույթից ի՞նչ բարձրության վրա նրա կինետիկ էներգիան հավասար կլինի պոտենցիալ էներգիայի կեսին: Օդի դիմադրությունն անտեսել:

13. 0,5 կգ զանգվածով մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան 16 մ բարձրության վրա 96 Ջ է:

ա. Որքա՞ն է մարմնի պոտենցիալ էներգիան այդ բարձրության վրա:

բ. Որքա՞ն է մարմնի արագությունն այդ բարձրության վրա:

14. 6 կգ զանգված ունեցող մարմնի իմպուլսը 15 կգ մ/վ է: Որքա՞ն է այդ մարմնի կինետիկ էներգիան:

15. 0,2 կգ զանգվածով և 5 մ/վ արագությամբ շարժվող մարմինը բախվում է հակառակ ուղղությամբ շարժվող 0,4 կգ զանգվածով մարմնի հետ: Բախումից հետո մարմինները կանգ են առնում: Որքա՞ն է երկրորդ մարմնի արագությունը բախումից առաջ:

16. 5 Ն հաստատուն ուժն ազդում է 2 կգ զանգվածով մարմնի վրա 10 վ-ի ընթացքում:

ա. Որքա՞ն է մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը:

բ. Որքա՞ն է մարմնի վերջնական կինետիկ էներգիան, եթե նրա սկզբնական կինետիկ էներգիան եղել է զրո:

17. 0,7 կգ զանգվածով գնդակը 5 մ բարձրությունից ընկնում է Երկրի հորիզոնական մակերևույթի վրա և ետ թռչում մինչև 3,2 մ բարձրություն: Օդի դիմադրությունն անտեսել:

ա. Որքա՞ն է գնդիկի մեխանիկական էներգիայի փոփոխությունը հարվածի ընթացքում:

բ. Որքա՞ն է գնդիկի իմպուլսի փոփոխության մոդուլը հարվածի ընթացքում:

18. Ռետինե գնդաձև օդապարիկը, որը լցված է հելիումով՝ թեթև չեզոք գազով, իրենից կախված մարդով հանդերձ օդում գտնվում է գետնի նկատմամբ անշարժ վիճակում: Օդապարիկի վերևը և ներքևը կափույրով փակված միանման երկու անցքեր կան: Ինչպի՞սի շարժում կկատարի օդապարիկը, եթե **ա.** բացվի վերևի կափույրը, **բ.** բացվի ներքևի կափույրը, **գ.** բացվեն երկու կափույրները միասին:

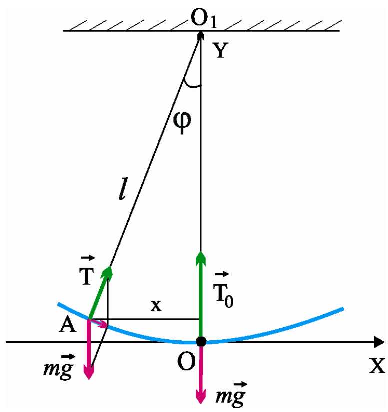
Գլուխ 5.

ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ ՄԵԽԱՆԻԿԱՅՈՒՄ

§21. Մեխանիկական տատանումներ և ալիքներ

Բնության մեջ ամենատարածված, ամենահետաքրքիր և ամենահիմնարար երևույթներից են պարբերական երևույթները, մասնավորապես, տատանումներն ու ալիքները:

Նախ բերենք մի քանի սահմանումներ: Նյութական կետի վիճակը (կամ դիրքը) կոչվում է հավասարակշռություն, եթե նրանում նյութական կետի վրա ազդող ուժերը համակշռված են (ուժերի համազորը զրո է): Օրինակ, դիտարկենք Երկրի ձգողության դաշտում բարակ, չձգվող, անկշիռ լարից (թելից) կախված նյութական կետ՝ մեծ զանգվածով փոքր գնդիկ: Այդ համակարգը կոչվում է մաթեմատիկական ճոճանակ: Նկ. 1-ում O վիճակում, երբ գնդիկն անշարժ կախված է ուղղաձիգ թելից (թելը ուղղված է $\vec{g}$-ով), ըստ Նյուտոնի 3-րդ օրենքի, գնդիկի վրա ազդող ուժերի



Նկար 1

$\vec{F} = m\vec{g} + \vec{T}$ գումարը հավասար է 0, այստեղ $\vec{T}$-ն լարի ձգման (առաձգականության) ուժն է: Այդ հավասարակշիռ վիճակում գնդիկը կմնա այնքան, քանի դեռ ինչ-որ այլ ուժով նրան չենք հանել այդ վիճակից: Այդպիսի հավասարակշռության վիճակներ, բնականաբար, բարդ համակարգերում կարող են լինել մեկից ավելի: Օրինակ, բյուրեղներում այնքան են, որքան ատոմների քանակն է:

Եթե O վիճակից գնդիկը տեղափոխենք որևէ A վիճակ, երբ թելը ուղղաձիգի հետ կազմի φ անկյուն, ապա, ինչպես պարզ է նկ. 1-ից, գումար-ուժի մեծությունը կլինի.

$$F = mg\sin\varphi, \qquad (1)$$

և ուղղված կլինի O_1A շառավղով շրջանագծի (գնդիկի հետագծի) շոշափողով դեպի O հավասարակշռության դիրքը: Այն ուժը, որը ցանկացած անհավասարակշիռ վիճակում ուղղված է դեպի հավասարակշռության դիրքը, կոչվում է **վերադարձնող ուժ**: Վերադարձնող ուժերի օրինակներ են (1)-ում ներկայացված ուժը, սեղմված կամ ձգված զսպանակի առաձգականության ուժերը, բյուրեղներում ցանցի ատոմների վրա ազդող ուժերը, էլեկտրական սխեմաներում գործող շատ ուժեր և այլն: Վերադարձնող ուժերը բնության մեջ առանձնացնում են մատերիայի շարժման (և էվոլյուցիայի) մի շատ մեծ և շատ ընդհանուր դաս՝ տատանողական շարժում: ***Այն շարժումը, որը կատարվում է վերադարջնող ուժերի ազդեցությամբ, կոչվում է պարբերական շարժում:***

Պարտադիր չէ, որ տատանողական շարժումը լինի կրկնվող, առավել ևս՝ պարբերական: Օրինակ, եթե նկ. 1-ում պատկերված ճոճանակը գտնվեր թանձր մածուցիկ հեղուկի մեջ, ապա գնդիկը դանդաղ կվերադառնար հավասարակշռության դիրքը և այնտեղ կմնար: Այսինքն, նա կկատարեր լոկ քառորդ տատանում, բայց շարժման բնույթը լիովին տատանողական կլիներ: Ամենապարզ տատանումը դա ներդաշնակ (հարմոնիկ) տատանումն է, որը կատարվում է բացառապես գծային (ներդաշնակ, առաձգական) վերադարձնող ուժի ազդեցությամբ: Ասվածի օրինակ է հանդիսանում (1) ուժը շատ փոքր շեղման φ անկյան դեպքում, երբ $\sin\varphi \approx \varphi$, այսինքն.

$$F_x = -mg\varphi = -m\frac{g}{l}x\,, \qquad (2)$$

որտեղ l -ը ճոճանակի երկարությունն է, x-ը՝ տեղափոխությունը x ուղղությամբ:

Նման կերպ զսպանակի ուժն է փոքր դեֆորմացիայի դեպքում.

$$F_x = -kx\,, \qquad (3)$$

որտեղ k-ն զսպանակի կոշտության գործակիցն է, x-ը՝ հավասարակշռության դիրքից շեղումը:

(2) և (3) ուժերը միմյանցից տարբերվում են միմիայն հաստատուն գործակիցներով, ուստի, ըստ շարժման հավասարման

$$ma_x = F_x\ , \tag{4}$$

նրանք նույնատիպ շարժում են առաջացնում: Իրոք, եթե (4)-ը բաժանենք m-ի վրա և դրական հաստատունների հարաբերությունը նշանակենք ω^2, ապա (2)-ից և (4)-ից կստանանք.

$$a_x = -\omega^2 \cdot x, \tag{5}$$

որտեղ ճոճանակի համար.

$$\omega^2 \equiv \frac{g}{l}, \tag{6}$$

իսկ զսպանակի համար

$$\omega^2 \equiv \frac{k}{m}: \tag{7}$$

(5) հավասարումը նշանավոր հավասարում է և նկարագրում է ներդաշնակ տատանակի (օսցիլյատորի) շարժման օրենքը, որն ունի հետևյալ տեսքը.

$$x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \tag{8}$$

որտեղ x_0-ն առավելագույն շեղումն է հավասարակշռության դիրքից և կոչվում է **լայնույթ (ամպլիտուդ),** $(\omega t + \varphi_0)$-ն կոչվում է **տատանման փուլ** և ցույց է տալիս t պահին հավասարակշռության դիրքից շեղման անկյունը, ***ω*** **անկյունային հաճախականությունը** կոչվում է տատանակի **սեփական հաճախականություն**, φ_0-ն կոչվում է **սկզբնական փուլ** և ցույց է տալիս, թե ո՞ր փուլից է սկսվել տատանումը:

Այսպիսով, տատանողական շարժումն ընդհանուր դեպքում նկարագրվում է x_0, ω , և φ_0 երեք պարամետրերով: Եթե տրված են այդ պարամետրերը, ապա (8)-ը միարժեքորեն որոշում է շարժման օրենքը, և հակառակը, եթե տրված է շարժման օրենքը, ապա արդեն իսկ (8)-ից հայտնի են այդ բոլոր պարամետրերը:

Կասենք կատարվեց մեկ լրիվ տատանում, հենց որ հասնենք այն փուլին, որից սկսվել է շարժման այդ դրվագը: ***Այն T ժամանակը, որի ընթացքում կատարվում է մի լրիվ պտտանում, կոչվում է պտտանման պարբերություն:*** Միավոր ժամանակում կատարված տատանումների քանակը կոչվում է տատանման **ν հաճախականություն**: Ակնառու են հետևյալ բա-նաձևերը.

$$T = \frac{1}{\nu}, \quad \omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}: \qquad (9)$$

Շարժման (8) օրենքից կարող ենք հաշվել արագությունը և էներգիան.

$$v_x(t) = \omega x_0 \cos(\omega t + \varphi_0) \equiv v(t): \qquad (10)$$

Էներգիան հաշվենք զսպանակի համար (ճոճանակի համար նույն ձևով է հաշվվում).

$$E_{\text{պոտ}} = k\frac{x^2}{2}, \quad E_{\text{կին}} = m\frac{v^2}{2}, \quad E_{\text{լրիվ}} = k\frac{x^2}{2} + m\frac{v^2}{2}, \qquad (11)$$

որտեղից, ըստ (8)-ի և (10)-ի, կստանանք, որ լրիվ էներգիան հաստատուն է և հավասար է պոտենցիալ էներգիայի առավելագույն $k\frac{{x_0}^2}{2}$ արժեքին, որն էլ իր հերթին հավասար է կինետիկ էներգիայի առավելագույն $m\frac{{v_0}^2}{2}$ արժեքին.

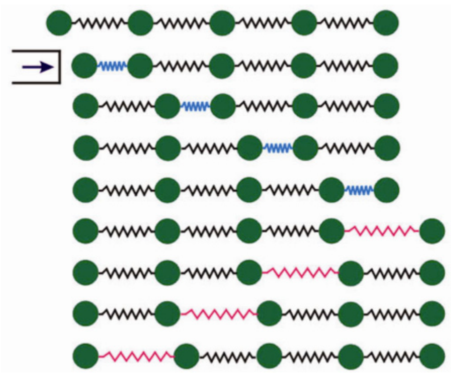
$$E_{\text{լրիվ}} = k\frac{{x_0}^2}{2} = m\frac{{v_0}^2}{2} \equiv m\omega^2\frac{{x_0}^2}{2}: \qquad (12)$$

Հյուգենս Քրիստիան (1629 - 1695)

Հոլանդացի նշանավոր ֆիզիկոս և մաթեմատիկոս, լույսի ալիքային տեսության ստեղծողը: Հյույգենսն առաջինն է օգտագործել ճոճանակը՝ ժամացույցի կանոնավոր ընթացքն ապահովելու համար և արտածել է մաթեմատիկական և ֆիզիկական ճոճանակների տատանման պարբերության բանաձևերը:

Մինչ այժմ դիտարկել ենք մեկուսացված, առանձնացված մեկ տատա-նակի ազատ տատանումները, որոնք նկարագրվում են (5)-(12) առնչու-թյուններով: Փոխազդող միջավայրի առկայությամբ տատանակը կարող է կորցնել իր էներգիայի մի մասը և փոքրացնել լայնույթն, անգամ դադարեց-նել տատանողական շարժումը: Այժմ նկարագրենք շատ տարածված հե-տաքրքիր երևույթ՝ տատանումների տարածումը: ***Միջավայրում տարած-վող մեխանիկական տատանումներին անվանում են մեխանիկական ա-***

լիքներ: Հավանաբար ամեն ոք է տեսել հանդարտ ջրի մակերևույթին առաջացող ու տարածվող տատանումներ՝ ալիքներ: Իհարկե, նաև ծովերի և մեծ գետերի վրա են ալիքներ նկատել, որոնց պատճառը հաճախ ակնհայտ չի եղել: Որոշ դեպքերում էլ մեխանիկական ալիքներն անտեսանելի են, բայց մենք այն կարող ենք որևէ զգայարանով զգալ կամ էլ ինչ-որ սարքով գրանցել, չափել: Այդ նպատակով շատ ուսանելի է բյուրեղային մարմնի, այսպես կոչված, զսպանակային մոդելը, ըստ որի բյուրեղն ունի ցանց՝ պարբերական դասավորված շատ հավասարակշռության դիրքեր, որոնցից յուրաքանչյուրում տեղակայված է իր ատոմը, որոնք միմյանց միացված են զսպանակներով: Եթե ցանցի որևէ ատոմ հավասարակշռության իր դիրքից շեղենք, ապա նրան ամրացված բոլոր զսպանակները կդեֆորմացվեն և հարևան ատոմները դրանով իսկ կազդեն այդ ատոմի վրա որոշ վերադարձնող ուժով, սովորաբար քվազիառաձգական (համարյա առաձգական), իսկ շեղված ատոմն էլ հարևանների վրա կազդի նման ուժով և նրանց կշեղի հավասարակշռության դիրքից՝ հարկադրելով նրանց էլ տատանվել (նկ 2): Քանի որ բոլոր ատոմները միանման են և գտնվում են միևնույն պայմաններում, ապա նրանց բոլորի սեփական հաճախականությունները ևս կլինեն նույնը: Նման ձևով հարևանները կտատանեն իրենց հարևաններին և արդյունքում տատանումը կտարածվի, այսինքն, կառաջանան ալիքներ: Հետաքրքիր է, որ կառաջանան երկու տեսակի ալիքներ, որը հարմար է ներկայացնել միաչափ ցանցի՝ շղթայի, օրինակով: Մենք կարող էինք սկզբում ատոմը շեղել շղթային ուղղահայաց ուղղությամբ, այդ դեպքում մյուս ատոմները ևս շղթային ուղղահայաց ուղղությամբ կտատանվեին և շղթայի ուղղությամբ ալիք կտարածվեր: Այդպիսի ալիքները, երբ տատանումն ուղղահայաց է ալիքի տարածման ուղղությանը, կոչվում են ***լայնական ալիքներ***: Սակայն կարող էինք սկզբում ատոմը շեղել հենց շղթայի ուղղությամբ, որով կտարածվեր նաև ալիքը: Այդպիսի ալիքները, երբ տատանումը կատարվում է



Նկար 2

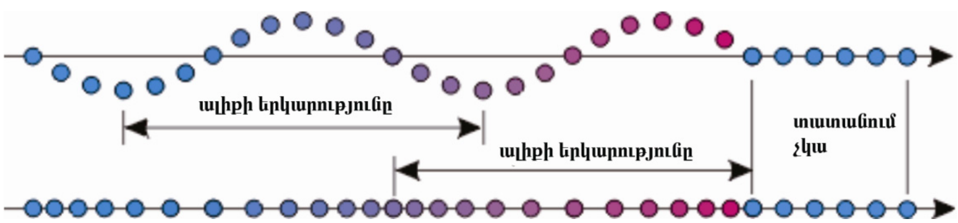
ալիքի տարածման ուղղությամբ, կոչվում են ***երկայնական ալիքներ***: Իսկ եթե սկզբնական շեղումը թեք է եղել, ապա միաժամանակ կառաջանան երկու տեսակի ալիքներն էլ: Հարկ է ընդգծել, որ մեխանիկական ալիքի առաջացման համար անհրաժեշտ է առաձգական միջավայրի առկայություն, որի պարամետրերը (առաձգականության գործակիցը) որոշում են հաջորդական ատոմի տատանման ուշացումը, ուստի և ալիքի **տարածման v արագությունը**: Քանի որ մեխանիկական ալիքներում բոլոր կետերը նույն կերպ են տատանվում և միայն փուլով են տարբերվում, ապա v արագությամբ տարածվելով τ ժամանակում տվյալ փուլը կանցնի $z = v\tau$ հեռավորություն, հետևաբար այդ կետը կհասնի τ ուշացումով: Սա նշանակում է, որ այս կետում տատանումը սկսել է $(t-\tau)$ պահին, ուստի ալիքի շարժման օրենքը կլինի.

$$x(t) = x_0 \sin\omega(t-\tau) = x_0 \sin\omega\left(t-\frac{z}{v}\right) = x_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{z}{vT}\right) =$$

$$= x_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{z}{\lambda}\right) \qquad (13)$$

$$\lambda = vT\ : \qquad (14)$$

Այստեղ λ -ն կոչվում է **ալիքի երկարություն**, որը մեկ պարբերության ընթացքում տվյալ փուլի անցած հեռավորությունն է, այսինքն, միևնույն փուլում գտնվող երկու ամենամոտիկ կետերի միջև եղած հեռավորությունն է (նկ. 3):



Նկար 3

Հարկ է նշել, որ ալիքն ակնհայտորեն տեղափոխում է էներգիա, բայց ոչ միջավայրի նյութը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք ուժի վերադարձնող լինելու իմաստն ու բնույթը:
2. Հասկացե՞լ եք տատանողական շարժումը և մեխանիկական ալիքը:
3. Յուրացրե՞լ եք մեխանիկական տատանումների և ալիքների բնութագրող մեծությունները և նիանց ֆիզիկական իմաստները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Տվե՛ք առաձգական, քվազիառաձգական և վերադարձնող ուժերի սահմանումը:
2. Սահմանե՛ք տատանողական, պարբերական և ներդաշնակ շարժումները: Բերե՛ք օրինակներ, այդ թվում դրանք միմյանցից տարբերող: Թվարկե՛ք այն մեծությունները, որոնք բնութագրում են ներդաշնակ տատանումները:
3. Սահմանե՛ք մեխանիկական ալիքները, նրա տեսակները՝ երկայնական և լայնական: Ներկայացրե՛ք մեխանիկական տատանումների ու ալիքների հավասարումները և մեկնաբանե՛ք դրանք:

§22. Ձայն: Աշխարհի մեխանիկական պատկերը

Մենք հակիրճ նկարագրեցինք մատերիայի ամենատարածված շարժումներից մեկը՝ տատանումներն ու ալիքները: Ալիքների մի տեսակը մարդուն ավելի քան անհրաժեշտ է և նաև շատ հարազատ: Դա ձայնն է:

Ձայնը բարդ, ընդհանուր առմամբ ոչ ներդաշնակ և բաղադրյալ, մեխանիկական ալիք է, որը տարածվում է ցանկացած քվազիառաձգական միջավայրում՝ օդում, ջրում (հեղուկում), պինդ մարմնում և այլն: Ընդհանրապես ձայնը պարզ ալիքների շատ բարդ վերադրում է (սուպերպոզիցիա է): Եթե ներդաշնակ ալիքն, ըստ §21-ի (13) բանաձևերի, նկարագրվում է լայնույթով, սեփական հաճախականությամբ ու տարածման արագությամբ՝ միջավայրի բնութագրով, ապա ձայնը բնութագրվում է նաև իր բաղադրությամբ և մի սուբյեկտիվ հանգամանքով՝ մարդու լսելիությամբ: Ըստ այդմ էլ կատարվում են ձայների դասակարգումներ:

Մարդը ձայնը ընկալում է իր ականջներով՝ մեխանիկական տատանումների ընդունիչով, որը հիմնականում գրանցում է 20-20.000 հց հաճախականությունները: Նորմալ մարդու ականջը չի ընկալում 16 հց փոքր հաճախականությունները, որոնց անվանում են **ինֆրաձայն**, և 20.000 հց մեծ հաճախականությունները, որոնց անվանում են **ուլտրաձայն**: Այստեղ պետք է ուշադրություն հրավիրել մի խիստ կարևոր հանգամանքի վրա: Մարդու (նաև կենդանիների և բույսերի) օրգանիզմում կան բազում օրգաններ, որոնց սեփական հաճախականությունները թեթևակի տատանվում են իրենց միջին արժեքների շուրջ, որոնք ընկած են ինֆրաձայնային տիրույթում: Հաճախականությունների համընկնելու դեպքում ինֆրաձայնն իր էներգիայի հաշվին կարող է հարկադրել մարդու օրգանին հետզհետե մեծացնել իր տատանումների լայնույթը (ֆիզիկայում դա անվանում են էներգիայի ռեզոնանսային փոխանցում): Այդ երևույթը կարող է հանգեցնել կործանարար հետևանքի: Օրինակ, մարդու սրտի աշխատանքի հաճախականությունը 1-1,5 հց է (պուլսը՝ 60-90), ուստի այդ հաճախականության ինֆրաձայնի ազդեցությունը (հատկապես ոչ կարճատև) կարող է հարուցել սրտի տագնապ (ինֆարկտ): 5-9 և 15-40 հց տիրույթներում կան ուղեղի նեյրոնների մի քանի տարբեր նշանակության սեփական հաճախականություններ, որոնց վիճակի անգամ փոքր փոփոխությունները կարող են բերել մտավոր, հոգեկան և ֆիզիկական խախտումների՝ հիշողության ժամանակավոր մասնակի խաթարման, շիզոֆրենիայի, ուղեղի գործառույթի մասնակի խախտման, նաև արտաքին կառավարելիության և այլ անցանկալի հետևանքների: Ահա թե ինչու պետք է խուսափել ռեստորաններում, պարասրահներում, մեքենաներում և նման այլ վայրերում մի քանի վայրկյանից երկար ժամանակ լսել երաժշտություն, հատկապես, երբ ցածր հաճախականությունները (ասում են՝ բասը) ուժգին է: Այս առումով շատ ավելի վտանգավոր են և կործանարար մեծ հզորության հողմակները (քամու էլեկտրակայանները): Նախ, կախված վերցրած հզորությունից, նրանց առաքած ինֆրաձայնի հաճախականությունը փոխվում է 0,1-10 հց տիրույթում, հետո էլ ալիքի երկարության մեծության շնորհիվ (30մ-3կմ) ինֆրաձայնը Երկրի մակերևույթի ռելիեֆում տարածվում է տասնյակ կմ առանց էներգիայի մեծ կորուստի: Հողմակների ազդեցությունը ավերիչ կլինի ոչ միայն կենդանական և բուսական աշխարհի համար, այլև մեծ շինություն-ների ու կառույցների համար, որոնց սեփական հաճախականությունները այդ տիրույթում կլինեն և կենթարկվեն երկարատև ազդեցության:

Սակայն որոշ կենդանիներ ընդունում ու ինֆորմացիա են փոխանա-կում հենց թույլ և կարճատև ինֆրաձայնով, օրինակ, փղերը, խոշոր ջրային որոշ կենդանիներ և այլն: Որոշ կենդանիներ էլ լավ են ընդունում ուլտրա-ձայնը, անգամ նրանով են տեսնում, օրինակ, չղջիկները:

Եթե ձայնը հանդիսանում է ներդաշնակ ալիք կամ վերջավոր (ավելի խիստ՝ հաշվելի) թվով տարբեր հաճախականության ներդաշնակ ալիքների վերադրում, ապա այդպիսի ձայնն անվանում են **երաժշտական ձայն**, հա-կառակ դեպքում՝ **աղմուկ:** Աղմուկը *պատահական* ալիքների *պատահա-կան* վերադրում է, որպիսին են որոտը, պայթյունը, ժխորը և այլն: Երաժշ-տական **տոնը** ներդաշնակ տատանակի առաքած ձայնն է: Տոնի **բարձրութ-յունը** նկարագրվում է հաճախականությամբ, իսկ լսելիության **ուժգնությու-նը՝** լայնույթով:

Ձայնի մյուս պարամետրը նրա տարածման արագությունն է, որը կախ-ված է միջավայրի վիճակից ու նրա առաձգականության հատկություննե-րից: Չոր օդում՝ 0°C ջերմաստիճանում ձայնի, որպես երկայնական ալիքի, արագությունը մոտ 332*մ/վ* է, ածխաթթու գազում 258*մ/վ* է, ջրածնում՝ 11270 *մ/վ* է, ջրում՝ 1435 *մ/վ* է, պողպատում՝ 5000 *մ/վ* է և այլն:

Այսպիսով՝ ներկայացրինք մեխանիկայի հիմնական հասկացություն-ներն ու օրենքները և ոչ խորը, նաև որոշ պարզագույն, բայց և կարևոր երևույթներ: Մեխանիկան, ինչպես և ամբողջ ֆիզիկան, շատ խորը, հա-րուստ և հետաքրքիր գիտություն է, որը տվել է աշխարհի մեխանիկական պատկերը: Նյուտոն-Գալիլեյի մեխանիկան, որը հայտնի է նաև դասական մեխանիկա անվամբ, բավականին կուռ տեսություն էր հանձինս հարաբե-րականության սկզբունքի, շարժման անկախության, զանգվածների ադի-տիվության և ուժերի սուպերպոզիցիայի սկզբունքների և դինամիկայի ու տիեզերական ձգողության օրենքների: Դիտարկվեցին մի շարք պարզ շար-ժումներ (ուղղագիծ, համընթաց, պտտական և տատանողական), այնու-հետև մշակվեցին բազմաթիվ նոր եղանակներ այն տարածելով ֆիզիկայի և տեխնիկայի մի շարք այլ ճյուղերի վրա, ինչպիսիք են պինդ մարմնի դինամիկան, հիդրոդինամիկան և գազադինամիկան: Այս ոլորտներում տեսությունը հասավ մեծ հաջողությունների, իսկ փորձերն էլ շարունակ հաստատում էին տեսության կանխատեսումները: Ի վերջո, մեխանիկան դարձավ նաև շատ կիրառական գիտություն: Ցանկացած կառույց, ցանկացած սարքավորում, ցանկացած տեխնիկական միջոց նախագծվում ու հաշվվում էր մեխանիկայի օրենքներով:

Սակայն մեխանիկայի ամենամեծ հաջողություններից մեկը երկնային մեխանիկան էր, որի հիմնաքարերից մեկը դա շարժումն էր տիեզերական ձգողության դաշտում: Հաջողությամբ լուծվեց երկու մարմինների խնդիրը, որը հիմք հանդիսացավ մոլորակային մոդելի ստեղծման համար, որն առայսօր դեռևս կիրառվում է առաջին մոտավորությամբ երկնային երևույթների ուսումնասիրման հարցերում: Դրա հիման վրա բացատրվեցին ոչ միայն հայտնի փաստեր, այլև կանխագուշակվեցին շատ նորերը և դրվեցին փորձնական հաստատման: Հայտնաբերվեցին նոր երևույթներ, նոր մոլորակներ ու օբյեկտներ: **§15-ում մենք մասամբ ներկայացրել ենք մեխանիկայի որոշ հաջողություններ:** Այս բավականին հետաքրքիր հայտնագործություններին մանրամասն կարելի է ծանոթանալ ֆիզիկայի պատմության մասին գրականությունից:

Մեխանիկայի հաջողություններն ու հեռանկարներն այնքան մեծ էին, որ դեռևս Նյուտոնն առաջ քաշեց վարկած, որ լույսը հանդիսանում է շատ փոքր առաձգական մասնիկ-գնդիկների հանրույթ: Նրան նույնիսկ հաջողվեց օպտիկական որոշ երևույթներ բացատրել:

Ավելին, մատերիայի, տարածության ու ժամանակի հատկությունները և շարժման հավասարումը համարվեցին անխախտ ճշմարտություններ և նաև օգտագործվեցին որպես այդպիսին գազերի կինետիկ տեսության ու էլեկտրադինամիկայի մեջ ևս՝ ավելացնելով որոշ անհրաժեշտ գաղափարներ, մեծություններ, կանխադրույթներ ու օրենքներ:

Արդյունքում ձևավորվեց աշխարհի մեխանիկական պատկերն, ըստ որի բնության բոլոր երևույթները կարելի է բացատրել և նաև կանխատեսել մեխանիկայի օրենքների հիման վրա, այն էլ որոշականացված (դետերմինացված), այսինքն, եթե տրված են համապատասխան սկզբնական պայմաններն ու վիճակը, ապա միարժեքորեն կարող ենք վերարտադրել անցյալը և կանխագուշակել ապագան: Այս գաղափարախոսության նախաձեռնողը Լապլասն էր և շատ հետևորդներ ուներ: Աշխարհի մեխանիկական այս պատկերը բավականին ճշգրիտ արդյունքների բերեց առօրեական արագությունների (լույսի արագությունից շատ փոքր) և չափերի (ատոմականից շատ մեծ և աստղայինից փոքր չափերի) համար:

Սակայն գիտության հետագա զարգացումը թույլատրեց ավելի նուրբ ու ճշգրիտ նոր չափումներ անել և ի հայտ բերել դասական մեխանիկայի հիմնադրույթների սնանկությունն ու սահմանափակությունը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք ձայն և աղմուկ հասկացողությունները, դրանց նմանությունները ու տարբերությունները:
2. Հասկացե՞լ եք հաճախականությունների տարբեր տիրույթների ձայների տարբեր ազդեցությունները:
3. Հասկացե՞լ եք միջավայրի ազդեցությունը ձայնի տարածման վրա:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք ձայնը և աղմուկը: Թվարկե՛ք ձայնի նկարագրիչ մեծությունները և մեկնաբանե՛ք դրանց ֆիզիկական իմաստը: Բերե՛ք օրինակներ:
2. Ինչպե՞ս և ինչո՞ւ է միջավայրն ազդում ձայնի տարածման վրա:
3. Նկարագրե՛ք աշխարհի մեխանիկական պատկերը:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. Մոծակի թևերի տատանման հաճախությունը 600 Հց է: Քանի՞ տատանում է կատարում մոծակի թևը մեկ րոպեի ընթացքում:
2. Թռիչքի ժամանակ մեղվի թևերը կատարում են 240 Հց հաճախությամբ տատանումներ: Քանի՞ անգամ իր թևերը կթափահարի մեղուն 5 մ ճանապարհին, եթե նա թռչում է 4 մ/վ արագությամբ:
3. Նյութական կետի տատանումները նկարագրվում են $x=0{,}2\cos(100\pi t)$ հավասարումով, որտեղ մեծությունները արտահայտված են ՄՀ-ի

համապատասխան միավորներով: Որքա՞ն է տատանումների պարբերությունը:

4. Որքա՞ն ճանապարհ կանցնի զսպանակից կախված բեռը 10 վ-ում, եթե նրա տատանումների լայնույթը 0,04 մ է, իսկ պարբերությունը՝ 2 վ:

5. Հավասարակշռության դիրքից որքա՞ն պետք է հեռացնել 0,4 Ն/մ կոշտությամբ զսպանակին ամրացված 0,64 գ զանգվածով բեռը, որպեսզի հավասարակշռության դիրքով անցնելիս այն ունենա 1 մ/վ արագություն:

6. Որքա՞ն է մաթեմատիկական ճոճանակի թելի երկարությունը, եթե այն 12 վ-ում կատարում է 6 տատանում: Ընդունել՝ π^2=10:

7. Երկու մաթեմատիկական ճոճանակների ներդաշնակ տատանումների պարբերությունները հարաբերում են ինչպես 3 : 2: Քանի՞ անգամ է առաջին ճոճանակի երկարությունը մեծ երկրորդի երկարությունից:

8. Որքա՞ն է մաթեմատիկական ճոճանակի երկարությունը, եթե այն 5 սմ-ով փոքրացնելիս ներդաշնակ տատանումների հաճախությունը մեծանում է 1,5 անգամ:

9. Գտնել ազատ անկման արագացումն ինչ-որ մոլորակի մակերևույթի վրա, եթե 0,65 մ երկարությամբ մաթեմատիկական ճոճանակի ներդաշնակ տատանումների պարբերությունն այդ մոլորակի վրա 1 վ է: Ընդունել՝ π^2=10:

10. Որքա՞ն է մաթեմատիկական ճոճանակի ներդաշնակ տատանումների լրիվ մեխանիկական էներգիան, եթե բեռի զանգվածը 2 կգ է, ճոճանակի երկարությունը՝ 1 մ, տատանումների լայնույթը՝ 0,1 մ:

11. Ձայնային ալիքները ջրում տարածվում են 1530 մ/վ արագությամբ, իսկ օդում՝ 340 մ/վ: Քանի՞ անգամ է մեծանում ձայնի ալիքի երկարությունն՝ օդից ջուր անցնելիս:

12. Հրացանի կրակոցի ձայնի արձագանքը կրակողին հասավ կրակելուց 3 վ անց: Կրակողից ի՞նչ հեռավորության վրա է գտնվում արգելքը, որից անդրադարձել է ձայնը, եթե ձայնի արագությունը 330 մ/վ է:

Բաժին 3

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԵՎ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Գլուխ 6.

ԱՆՇԱՐԺ ԼԻՑՔԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆ: ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿԱ

§23. Էլեկտրական փոխազդեցության երևույթ: Էլեկտրական լիցք

Նյութական կետի մեխանիկան ուսումնասիրելիս ծագեցին հիմնարար խնդիրներ. ընդհանրացնել կետի դինամիկան մակրոհամակարգերի համար և գտնել ուժերի առաջացման պատճառները: Վերջինի վերաբերյալ բացահայտեցինք տիեզերական ձգողության հիմնարար փոխազդեցությունը և նաև առաձգականության ուժը, որի բնույթն ու ծագման պատճառը, սակայն, դեռևս չենք պարզել:

Չգող քարը՝ մագնիսը, կայծակը՝ էլեկտրական պարպումը և շատ այլ երևույթների ծանոթ էր նաև նախնադարյան մարդը՝ չհասկանալով դրանց բնույթը և համարելով դրանք գերբնական: Դրանք էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության դրսևորումներ են: Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության և նրանով պայմանավորված երևույթներն ուսումնասիրող ֆիզիկայի բաժինը կոչվում է **էլեկտրադինամիկա**: Արդի մարդու զարգացվածությունը թույլատրում է էլեկտրադինամիկայի հիմունքները մատուցել էլեկտրոնի, պրոտոնի կամ այլ տարրական լիցքակիրների հիման վրա, սակայն ուսանելի է դա կատարել ֆիզիկայի պատմական զարգացմանը հետևելով:

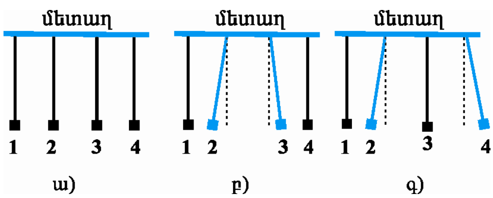
Մեխանիկայում արդեն սովորել ենք փորձով ուսումնասիրել *նոր հասկացությունը*:

Դիցուք սեղանի վրա թափված են թղթի թեթև կտորներ: Երբ մոտեցնենք սաթե ձողը, թղթի կտորները չեն շարժվի դեպի ձողը: Դա սպասելի է, քանի որ հսկա Երկրի գրավիտացիայի ձգողության ուժը շատ ավելի մեծ է, քան թեթև ձողինը: Բայց եթե ձողը բրդե լաթով շփենք, ապա թղթերը կշարժվեն դեպի ձողը: Դա նշանակում է, որ շփման արդյունքում ձողը ձեռք է բերել մի նոր տեսակի փոխազդելու հատկություն, որն, ի դեպ, շատ անգամ ուժեղ է Երկրի ձգողության ուժից: Այդ փոխազդեցությունը անվանեցին էլեկտրական (սաթ բառի հունարենից)՝ գաղափար անգամ չունենալով էլեկտրոն մասնիկի մասին: Եթե սաթե երկու թեթև միանման ձողեր իրար մոտ կախենք, կտեսնենք որ նրանք մնում են զուգահեռ դիրքում, քանի որ նրանց միջև գրավիտացիայի ձգողությունն աննշան է: Իսկ եթե ձողերը շփենք նոր կախենք, նրանք իրարից կհեռանան, կվանվեն: Այստեղից հետևում է, որ նոր փոխազդեցությունը կարող է լինել նաև վանողական: Բնական է ենթադրել, որ շփելու համար կատարված աշխատանքի՝ մեր ծախսած էներգիայի շնորհիվ որոշ մարմիններ ձեռք են բերում ոչ գրավիտացիոն բնույթի ձգողության հատկություն, որի քանակը՝ լցվածության չափն, անվանում են էլեկտրական լիցք: Մենք ծանոթ ենք մարմնի երեք լիցքերի հետ ՝ նյութի քանակի, չեզոքության և գրավիտացիայի, որոնք իրարից տարբերվում են ունիվերսալ հաստատունով, ուստի դրանք նույնացրել ենք և կոչել զանգված: Մարմնի զանգվածը միայն մի տեսակի է՝ չի ստեղծվում-ոչնչանում և պահպանվում է: Էլեկտրական լիցքերն երկու տեսակի են՝ ծնվում-ոչնչանում են միասին, հավասար քանակով, բայց կարող են հաղորդվել մի մարմնից մյուսին՝ պահպանելով միայն հանրահաշվական գումարը: Հարկ է նշել, որ լիցքը կրում են նյութական օբյեկտները, որոնք մնում են նաև իրենց կրած լիցքերի չեզոքացումից հետո էլ:

Կուլոն Շառլ Օգյուստեն (1736 - 1806)

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս և ռազմական ճարտարագետ, ուսումնասիրել է էլեկտրական լիցքերի և հաստատուն մագնիսների փոխազդեցության օրինաչափությունները, ձևակերպել է սահքի և գլորման շփման օրենքները: Կուլոնի փորձարարական աշխատանքները կարևոր նշանակություն ունեցան էլեկտրամագնիսական երևույթների տեսության ստեղծման համար:

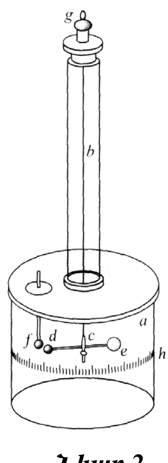
Մենք առայժմ միայն գիտենք, որ գոյություն ունի էլեկտրական փոխազդեցություն, որն առաջացնում է էլեկտրական լիցքը (այսուհետ՝ լիցքը) և որը կարող է ծնել ձգող ու վանող ուժեր: Քանի որ ձգող ու վանող ուժերը տարբերվում են նշանով, ապա կարող ենք այդ նշանը վերագրել լիցքին՝ պայմանականորեն համարելով մեկը դրական, մյուսը՝ բացասական (սենք, սաթի սպացած լիցքը): Որակական փորձով կարող ենք համոզվել, որ որոշ նյութեր ունակ են լիցքերը հաղորդելու՝ հաղորդիչներ են, որոշներն էլ մեկուսիչներ են՝ ունակ չեն հաղորդելու: Կատարենք փորձաշար նկ. 1-ում բերված սարքով: Մ մետաղական ձողից բարակ թելերով կախված են գնդիկներ: ***ա.*** *դեպքում լիցք չկա, ուժեր էլ չկան,* ***բ.*** *դեպքում լիցքավորված ձողը կպցնենք Մ ձողին, կտեսնենք, որ մետաղալարից կախված 2 և 3 գնդիկները վանվում են, իսկ չոր բամբակե թելից կախված 1 և 4 գնդիկները մնում են անշարժ,* ***գ.*** *դեպքում մետաղալարից կախված 2 և 4 գնդիկները կվանվեն, իսկ բամբակե թելից կախված 1 և 3 գնդիկները կմնան անշարժ: Եթե այլ դեպքեր դիտարկենք, դարձյալ կլիցքավորվեն լոկ հաղորդալարից կախված գնդիկները: Որակական փորձով կարող ենք համոզվել նաև, որ էբոնիտը կամ սաթը շատ շփենք, շատ լիցքեր կստանանք, միանման շփենք, հավասար լիցքեր կստանանք և այլն: Իսկ եթե Մ ձողին միաժամանակ*



Նկար 1

նույն քանակի դրական ու բացասական լիցքեր հաղորդենք, ապա ոչ մի գնդիկ չի շարժվի, որից կհետևի, որ լիցքերը միմյանց չեզոքացրին, վերացան: Ավելին նման փորձերից քաղել չենք կարող, ուստի անհրաժեշտ է կատարել քանակական փորձեր՝ կատարել չափումներ: Իսկ դրա համար պետք է կարողանալ չափել q լիցքը, որը չգիտենք ինչ է:

Մեխանիկայում սովորել ենք, թե ինչպե՞ս կարելի է մշակել փորձարարության եղանակ գտնելու համար մեզ դեռևս ***անծանոթ մեծության բազմապատիկները:*** *Մենք դա իրականացրել ենք որակական արդյունքների հիման վրա: Այս դեպքում ևս նույնը կրկնենք: Դիցուք ունենք իրար հպված երկու բացարձակ (ամեն ինչով) նույնական մետաղական (հաղորդիչ) գնդիկներ և հպելով լիցքավորված ձող՝ նրանց հաղորդում ենք ինչ-որ քանակի լիցք, ասենք q քանակի: Ոչ մի հիմք չկա մտածելու, որ միանման գնդիկներից մեկը մյուսից ավելի շատ է լիցք ստանալու, ուստի կլիցքավորվեն հավասար՝ յուրաքանչյուրը q/2 չափով: Եթե 3 գնդիկ լինեն, ապա յուրաքանչյուրը q/3 լիցք կունենար, իսկ n հատի դեպքում՝ q/n լիցք: Այսինքն, չիմանալով ոչ q լիցքի արժեքը, ոչ էլ կարողանալ այն չափել՝ մենք կարող ենք ստանալ լիցքի q/n-րդ մասերը՝ նույնպես առանց թվային արժեքի:Դա հնարավորություն է տալիս փորձարարությամբ գտնել համեմատական կախումներ q-ից:*



Նկար 2

Ինչպես մեխանիկայում, այստեղ ևս օգտվենք «տարրի» գաղափարից՝ կետային լիցքից, որը լիցքավորված նյութական կետ է (այսուհետ՝ գնդիկ):

Անշարժ լիցքերի փոխազդեցությունը ուսումնասիրելու համար օգտվենք նկ. 2-ում պատկերված սարքից՝ ոլորակշեռքից: Ոլորակշեռքն ուժը չափում է ուժի մոմենտը համակշռելով առաձգական b ձողի ոլորման մոմենտով: Ոլորակշեռքից օդը հանենք և 1 գնդիկին հաղորդենք ինչ-որ q_1 լիցք, իսկ 2 գնդիկին (e-ն նրա հակակշիռն է) հաղորդենք q_2 լիցքի q_2/n մասերը և չափելով ամեն n-ի դեպքում ուժի F մեծությունը՝

կտեսնենք, որ $F \sim 1/n$, $F \sim q_2$: Հաստատուն պահելով q_2-ը և փոփոխելով q_1 լիցքը՝ կհամոզվենք, որ $F \sim q_1$ ևս: Փոփոխելով միայն երկու լիցքերի միջև $R_{12} = R_{21}$ հեռավորությունը՝ կստանանք $F \sim 1/R_{12}{}^2$: Այս բոլորը միավորելով՝ կստանանք $F \sim \frac{q_1 q_2}{R_{12}{}^2}$: Կրկնելով փորձերը տարբեր պայմաններում, նաև ուժերի ուղղությունների վերաբերյալ, և ամփոփելով՝ կարող ենք ձևակերպել Կուլոնի օրենքը. ***Երկու անշարժ կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժը դատարկության մեջ համեմատական է այդ լիցքերի արտադրյալին և նրանց հեռավորության քառակուսու հակադարձին, ուղղված է լիցքերը միացնող ուղղով, իսկ համեմատականության գործակիցը ունիվերսալ հաստատուն է:***

Տիեզերական ձգողության օրենքի նմանությամբ Կուլոնի օրենքը ևս հարմար է ներկայացնել վեկտորական տեսքով.

$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{q_1 q_2}{R_{12}{}^2} \cdot \frac{\vec{R}_{12}}{R_{12}}, \qquad (1)$$

որտեղ, հիշեցնենք, $\frac{\vec{R}_{12}}{R_{12}}$ -ը միավոր վեկտոր է և ցույց է տալիս միայն ազդող ուժի ուղղությունը, քանզի մեծությունը հավասար է 1-ի:

Քանի որ q_1 լիցքը ազդում է q_2 լիցքի վրա $\vec{F}_{12}$, ապա նույն պատճառով q_2 լիցքը պետք է ազդի q_1-ի վրա ինչ-որ $\vec{F}_{21}$ ուժով: Քանի որ $\vec{R}_{12} \equiv \vec{R}_2 - \vec{R}_1 = -(\vec{R}_1 - \vec{R}_2) \equiv -\vec{R}_{21}$, ապա (1)-ից կբխի $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, այսինքն, գրավիտացիայի փոխազդեցության նման կուլոնյան էլեկտրական փոխազդեցությունը ենթարկվում է Նյուտոնի 3-րդ օրենքին: (1)-ից նաև բխում է, որ եթե $q_1 q_2$ արտադրյալը դրական է (այսինքն, լիցքերը նույնանուն են), ապա $\vec{F}_{12}$-ն ունի $\vec{R}_{12}$-ի ուղղությունը, այսինքն, վանող ուժ է, իսկ եթե $q_1 q_2$ արտադրյալը բացասական է (այսինքն, լիցքերը տարանուն են), ապա ուժը ձգող է: k/G հարաբերությունը ցույց է տալիս, թե որքան է ուժեղ էլեկտրական փոխազդեցությունը գրավիտացիայից:

Քանի որ լիցքի միավոր չունենք, ապա այն կարող ենք (1)-ից որոշել այնպես, որ համարենք ունիվերսալ հաստատունը՝ $k \equiv 1$: Այդպես վարվել են նախկինում, սակայն չափանմուշն ըստ դրա անհաջող է լինում, ուստի միավորների ՄՀ՝ SI համակարգում որպես լիցքի միավոր ընդունել են Կուլոնը՝ Կլ: 1Կլ այն լիցքն է, որը բերում է 1Ա (ամպեր) հոսանքը 1 վայրկյանում: Ուստի (1)-ից ունենք $k \equiv 1/4\pi\varepsilon_0 = 3 \cdot 10^9\,Ն \cdot մ^2/Կլ^2$: ε_0-ն կոչվում է էլեկտրական հաստատուն:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք էլեկտրական փոխազդեցության երևույթն ու էլեկտրական լիցքի գաղափարը:
2. Հասկացե՞լ եք էլեկտրական լիցքի չափման եղանակն ու Կուլոնի օրենքի ստացումը փորձով:
3. Յուրացրե՞լ եք Կուլոնի և տիեզերական ձգողության օրենքների նմանությունն ու տարբերությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Փաստե՛ք էլեկտրական փոխազդեցության գոյությունն ու ներմուծե՛ք էլեկտրական լիցքի գաղափարը:
2. Նկարագրե՛ք էլեկտրական լիցքը և նրա հետ փորձարարության եղանակը:
3. Ձևակերպե՛ք և մեկնաբանե՛ք Կուլոնի օրենքը:

§24. Էլեկտրաստատիկ դաշտ

Կուլոնի օրենքը նկարագրում է երկու լիցքերի փոխազդեցությունը, ուստի չի հանդիսանում այդ լիցքերից միայն մեկի առանձին բնութագիրը: Որպեսզի միայն մեկ լիցքի ազդեցությունը ներկայացնենք, վարվենք մեխանիկայում գրավիտացիայի համար մշակված եղանակով: Նախ գտնենք $\vec{R}_1$ կետում գտնվող անշարժ q_1 կետային լիցքի ազդող $\vec{E}_{12}(q_1,\vec{R}_{12})$ ուժը $\vec{R}_2$ կետում անշարժ տեղակայված միավոր դրական կետային լիցքի վրա, այնուհետև մշակենք սկզբունք այդ արդյունքը կամայական լիցքերի վրա տարածելու համար: $\vec{E}_{12}(q_1,\vec{R}_{12})$ ուժը կախված է միայն $\vec{R}_1$ կետում գտնվող անշարժ q_1 կետային լիցքից և նրա նկատմամբ $\vec{R}_{12}$ կետից և կոչվում է **էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածություն**, գրավիտացիայի դաշտի $\vec{g}$ լարվածության նմանությամբ: Այս սահմանումից և Կուլոնի օրենքից կարող ենք գրել.

$$\left|\vec{E}_{12}(q_1,\vec{R}_{12})\right|=\left|k\cdot\frac{q_1}{{R_{12}}^2}\right|, \qquad (1)$$

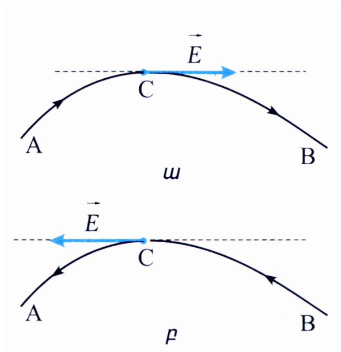
կամ վեկտորական տեսքով.

$$\vec{E}_{12}(q_1,\vec{R}_{12}) = k\cdot\frac{q_1}{{R_{12}}^2}\cdot\frac{\vec{R}_{12}}{R_{12}} \equiv \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{{R_{12}}^2}\cdot\frac{\vec{R}_{12}}{R_{12}} \quad \text{կամ} \qquad (2)$$

$$\vec{F}_{12} = q_2\cdot\vec{E}_{12}(q_1,\vec{R}_{12}): \qquad (3)$$

Ըստ էության (1)-ը որոշում է տարածության ամեն կետում անշարժ q_1 կետային լիցքի ազդող ուժը, որի պատճառով էլ կոչվում է ուժային դաշտ, կամ ուղղակի դաշտ: Կուլոնի օրենքը (ինչպես նաև տիեզերական ձգողության օրենքը) պնդում է, որ լիցքն ազդում է հեռավորության վրա գտնվող այլ լիցքերի վրա՝ նրանց անմիջական չհպվելով, չմերձանալով: Ընդ որում, եթե չկա ազդեցությունն իրականացնելու ինչ-որ միջնորդ միջոց, օբյեկտ, գոյակցություն, ապա այդպիսի ազդեցությունն անվանում են **հեռազդեցություն**: Նախկինում ընդունված էր, որ նշվածները հեռազդեցության ուժեր են: Իսկ եթե կա միջնորդը, որը կրում և տեղափոխում է լիցքի ազդեցությունը մինչև մյուս լիցքը, իրականացնելով ազդեցությունը երկստեք մերձեցմամբ, ապա ասում ենք տեղի ունեցավ **մերձազդեցություն:** (2) և (3) բանաձևերը երկու դեպքում էլ քանակապես ներկայացնում են լիցքի ազդեցությունը: Սակայն հեռազդեցության դեպքում դաշտի $\vec{E}$ լարվածությունը լոկ մտացածին ձևական հարմար մեծություն է և չի հանդիսանում ֆիզիկական իրական օբյեկտ: Այնինչ մերձազդեցության դեպքում $\vec{E}$ դաշտը ֆիզիկական իրական օբյեկտ է, որը հնարավոր է ուղղակի կամ անուղղակի առանձին դիտել: 1986 թ. Հ. Հերցը փորձով անջատեց էլեկտրամագնիսական դաշտն իր ստեղծող լիցքից և դրանով իսկ հաստատեց էլեկտրամագնիսական ազդեցության մերձազդեցություն լինելը: Իհարկե, սա բնավ բավարար հիմնավորում չէ և դասական ֆիզիկան էլ չի կարող դա բավարար հիմնավորել: Քվանտային ֆիզիկայի շնորհիվ հաջողվեց հիմնավորել, որ էլեկտրամագնիսական ուժերը **մերձազդեցության են** և **հեռազդու**: Փոխազդեցության հեռազդու լինելը նշանակում է, որ այն գործում է մինչև անվերջություն, ինչը ձևականորեն արտահայտվում է $1/R^2$ կախվածությամբ:

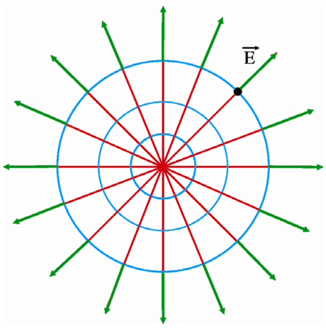
Պատկերավոր լինելու համար հաճախ դաշտը ներկայացնում են երկրաչափորեն՝ ուժագծերի միջոցով: ***Ուժագիծը*** *տարածության մեջ մի* ***երևակայական գիծ է****, որի ամեն կետում տարված շոշափողն ունի $\vec{E}_{12}$-ի ուղղությունը, իսկ ուժագծերի խտությունը համաչափ է $\vec{E}_{12}$-ի մեծությանը* (նկ.1): Պայմանականորեն համարում են որ էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղությունը համընկնում է դրական կետային լիցքի վրա ազդող ուժի ուղղության հետ: Երկու տարասեռ լիցքերի պարագայում այն ուղղված է դրականից-բացասական: (2)-ից երևում է, որ $\vec{E}_{12}$-ի ուղղությունը կփոխվի q_1-ի նշանը



Նկար 1

փոխելիս, իսկ տրված $\vec{E}_{12}$-ի դեպքում $\vec{E}_{12}$-ի ուղղությունը կփոխվի q_1-ի նշանը փոխելիս: Այս եղանակը լոկ որակական բնույթի է, սակայն թույլատրում է որոշ պատկերացումներ կազմել: Օրինակ, սևեռենք (ֆիքսենք) q կետային լիցքի մեծությունը, այդ դեպքում հաստատուն կմնա նրանից դուրս եկող (կամ մտնող) ուժագծերի քանակը q-ին համեմատական՝ kq (նկ. 2): Դատարկ տարածության համաչափության պատճառով ուժագծերը ևս համաչափ կլինեն, իսկ R շառավղով գնդոլորտի բոլոր կետերում լարվածության E մեծությունը ևս կլինի նույնը և հավասար այդ կետերում ուժագծերի խտությանը: Դաշտի լարվածությունն ունի շառավղի ուղղությունը, ուստի ամեն կետում ուղղահայաց է գնդոլորտին: Ուժագծերի E խտությանը բազմապատկենք գնդոլորտի S մակերեսով՝ կստանանք ուժագծերի kq քանակը՝

$kq = E \cdot S = E \cdot 4\pi R^2$, այսինքն, $1/R^2$ կախվածությունը:

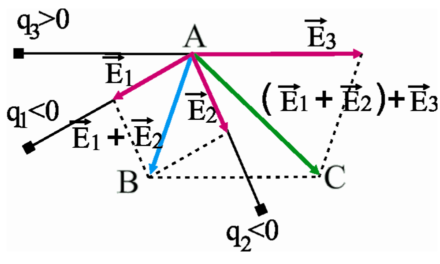


Նկար 2

Հիմա տարածենք անշարժ կետային լիցքի համար ստացված արդյունքները ոչ կետային լիցքերի համակարգի վրա: Մեխանիկայում նման հարցը լուծել ենք ուժերի վերադրման սկզբունքի միջոցով, որը կիրառելի է նաև այս դեպքում:

Եթե տարածության որևէ A կետում q_1, q_2,... q_n լիցքերը համապատասխանաբար ստեղծում են $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$,.... $\vec{E}_n$ լարվածության դաշտեր, ապա նրանց համատեղ ստեղծած դաշտի լարվածությունը կլինի իրենց վեկտորական գումարը՝ $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_n$: Նկ. 3-ում պատկերված է A կետում q_1, q_2 և q_3 լիցքերի $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ և $\vec{E}_2$ $\vec{E}_3$ դաշտերի վերադրումը: $\overrightarrow{AB}$ -ն ($\vec{E}_1 + \vec{E}_2$) գումարն է, իսկ $\overrightarrow{AC}$-ն ($\overrightarrow{AB}$+$\vec{E}_3$)= $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$ գումար-վերադրումն է:

Դաշտերի վերադրման սկզբունքը կիրառելի է նաև հոծ բաշխված լիցքերի դեպքում ևս, որը թույլատրում է ստանալ էլեկտրաստատիկ դաշտի բազմապիսի տարածական բաշխումներ: Դրանցից պարզագույնը **համասեռ** էլեկտրական դաշտն է, երբ դաշտի $\vec{E}$ լարվածությունը բոլոր կետերում մեծությամբ նույնն է, ուղղությամբ էլ՝ զուգահեռ:



Նկար 3

Մինչ այժմ դիտարկել ենք էլեկտրաստատիկ փոխազդեցությունը դատարկության մեջ: Փորձերը կրկնելով տարբեր միջավայրերում, համոզվում ենք, որ միջավայրը փոփոխում է փոխազդեցությունը: Մասնավորապես, **դիէլեկտրիկները**՝ էլեկտրական հոսանք չհաղորդող նյութերը թուլացնում են փոխազդեցության ուժը: Լիցքերի միևնույն համակարգի ազդեցությունը տարբեր դիէլեկտրիկներում տարբեր չափով է թուլանում, ուստի այդ չափը դիէլեկտրիկի բնութագիր է և կոչվում է **դիէլեկտրիկական թափանցելիություն**: Դիէլեկտրիկական ε թափանցելիությունը ցույց է տալիս, թե դիէլեկտրիկում դաշտը քանի անգամ է փոքրանում վակուումի համեմատությամբ.

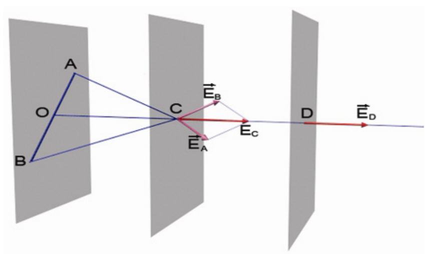
$$\varepsilon = \frac{E_{\text{վակ}}}{E_{\text{դիէլ}}}: \qquad (4)$$

Դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը չունի չափողականություն և, ըստ սահմանման, վակուումի համար $\varepsilon = 1$, կապտաքարի $\varepsilon = 95$, թորած ջրի $\varepsilon = 81$, սիլիցիումի $\varepsilon = 12$, չոր օդի $\varepsilon = 1{,}0006$ և այլն:

Խնդրի լուծման օրինակներ:

Խնդիր 1: Ցույց տալ, որ համասեռ լիցքավորված անվերջ հարթության առաջացրած դաշտը համասեռ է:

Լուծում: Դիցուք α հարթությունը (նկ. 4) լիցքավորված է համասեռ դրական լիցքով (բացասական լիցքավորման դեպքում կփոխվի միայն $\vec{E}$ -ի ուղղությունը): Դիտենք դաշտը կամայական C կետում, որի ուղղահայաց ստվերը α հարթության վրա O-ն է: O կետում գտնվող լիցքի դաշտն ուղղահայաց է α հարթությանը: Վերցնենք O-ի նկատմամբ սիմետրիկ դասավորված կամայական A և B լիցքեր: Դա հնարավոր է, քանզի α -ն անվերջ է և համասեռ լիցքավորված: A և B լիցքերի դաշտերի գումարը՝ $\vec{E}_C = \vec{E}_A + \vec{E}_B$ նույնպես ուղղված է OC-ով, քանի որ $\Delta AOC = \Delta BOC$: Քանի որ A-ն կամայական էր ընտրված, ապա դա ճիշտ է բոլորի համար, ուստի α-ի ստեղծած դաշտերի վերադրումը **ուղղահայաց է α-ին**: C կետով անցնող α -ին զուգահեռ γ հարթության ցանկացած M կետում նույն պատկերը կունենանք համաչափության շնորհիվ:



Նկար 4

OC-ի վրա վերցնենք D կետ և տանենք α -ին զուգահեռ β հարթություն: Քանի որ դաշտի բոլոր ուժագծերը միմյանց զուգահեռ են, ապա նրանց խտությունը, ուստիև դաշտի լարվածությունը, միևնույն է α, β և γ հարթությունների կետերում: Դա նշանակում է, **դաշտը համասեռ է**: Երկու այդպիսի հարթությունները իրարից կարող են տարբերվել միայն միավոր մակերեսի σ լիցքով՝ **մակերևութային խտությամբ**: Ըստ Կուլոնի օրենքի և վերադրման սկղբունքի E~σ:

Խնդիր 2: Ցույց տալ, որ հաղորդիչի ծավալում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը 0 է և իդեալական հաղորդիչում լիցքերը բաշխվում են միայն նրա մակերևույթով:

Լուծում: Եթե հաղորդիչին լիցքեր հաղորդենք, ապա այդ լիցքերը կառաջացնեն դաշտ, որը կազդի լիցքերի վրա: Քանի որ հաղորդիչում լիցքերը կարող են շարժվել, ապա դրանք կշարժվեն այնքան ժամանակ և կվերաբաշխվեն այնպես, որպեսզի ամեն լիցքի վրա ազդող ուժերի համազորը դառնա 0 (ստատիկ հավասարակշռության պայմանը): Այդ պրոցեսը կատարվում է չափազանց արագ: Իսկ 0-ից տարբեր դաշտը միշտ կազդի լիցքի վրա, ուստի այն պետք է 0 դառնա: Քանի որ չչեզոքացված լիցքերը կարող են լինել միայն նույնանուն, ապա նրանք միմյանցից կվանվեն և կբաշխվեն հաղորդիչի մակերևույթին:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք էլեկտրաստատիկ դաշտի և նրա լարվածության գաղափարը:
2. Ըմբռնե՞լ եք դաշտի լարվածության և Կուլոնի օրենքի կապը:
3. Ըմբռնե՞լ եք հեռազդեցության և մերձազդեցության գաղափարները:
4. Հասկացե՞լ եք դիէլեկտրական թափանցելիության իմաստը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Սահմանե՛ք էլեկտրաստատիկ դաշտը և նրա լարվածությունը:
2. Նկարագրե՛ք հեռազդեցության և մերձազդեցության իմաստը:
3. Սահմանե՛ք համասեռ դաշտը և մեկնաբանե՛ք օրինակի վրա:
4*. Բացատրե՛ք դաշտերի վերադրման սկզբունքը:

§25. Աշխատանքը էլեկտրաստատիկ դաշտում

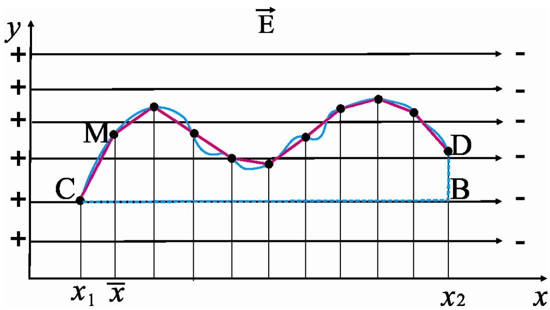
Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը նրա ուժային բնութագիրն է: Այժմ գտնենք դաշտի էներգիական բնութագիրը:

Էլեկտրաստատիկ դաշտն ազդելով լիցքերի վրա՝ կարող է առաջացնել նրանց տեղափոխություն, ուստի և, ինչպես մեխանիկայում, կատարել աշխատանք: Դա վկայում է, որ էլեկտրաստատիկ դաշտն օժտված է էներգիայով: Որոշենք դաշտի կատարած աշխատանքն ու դաշտի էներգիան: Դրա համար դիտարկենք նախ պարզագույնը՝ համասեռ դաշտի դեպքը, հետո այն ընդհանրացնենք կամայական դաշտի համար:

Դիտարկենք նկ. 1-ում բերված $\vec{E}$ լարվածությամբ համասեռ դաշտում C կետից B q լիցքը ուժագծերի ուղղությամբ կատարում է $(x_2 - x_1)$ տեղափոխություն: Լիցքի վրա ազդում է $q\vec{E}$ ուժը, ուստի դաշտի կատարած աշխատանքի համար ունենք.

$$A = qE\,(x_2 - x_1) = qE \cdot x_2 - qE \cdot x_1 = -(U\,(x_2) - U\,(x_1)), \qquad (1)$$

$$U(x) = -qE \cdot x + \text{const}: \qquad (2)$$



Նկար 1

(1)-ից բխում է, որ U(x)-ը էներգիա է, քանի որ նրա փոփոխությունն աշխատանք է: (2)-ի աջ մասի կամայական հաստատունը նշանակում է, որ պետք է էներգիայի չափման սկզբնակետ ընտրել: (–) նշանը ցույց է տալիս, որ դաշտը եթե դրական աշխատանք է կատարում, ապա նվազեցնում է իր էներգիան՝ մեծացնելով q լիցքի էներգիան: Եթե դրական լիցքը շարժվի ուժագծերին հակառակ ուղղությամբ, ապա լիցքի էներգիան կաճի (բացասական լիցքերի դեպքում՝ տեղի կունենա հակառակը): (1)-ից բխում է նաև, որ եթե q լիցքը ուժագծերին հակառակ ուղղությամբ B-ից տեղափոխենք C, ապա դաշտը կկատարի ճիշտ նույնչափ աշխատանք հակառակ նշանի: Այսինքն, եթե B-ից C և C-ից B լիցք տեղափոխվի, գումարային աշխատանքը կլինի 0:

Այժմ ենթադրենք C կետից D կետ q լիցքը տեղափոխվում է կոր հետագծով: Այդ հետագիծը տրոհենք փոքր մասերի այնպես, որ յուրաքանչյուր մաս համարենք ուղիղ գիծ: Քանի որ ուժագծերին ուղղահայաց ուղղությամբ տեղափոխության վրա դաշտն աշխատանք չի կատարում, ապա AM հատվածում (նկ. 1) միայն $(\bar{x} - x_1)$ տեղափոխության վրա կկատարվի աշխատանք՝ $qE(\bar{x} - x_1)$ չափով: Հաշվելով աշխատանքը մյուս հատվածներում և գումարելով՝ կստանանք նույն (1) արտահայտությունը: D-ից B տեղափոխությունն ուղղահայաց է ուժագծերին, ուստի դաշտը աշխատանք չի կատարում: Հետևաբար C-M-D-B-C փակ հետագծով լիցքի տեղափոխման վրա կատարված գումարային աշխատանքը հավասար է 0: Այս արդյունքները ստացված են համասեռ դաշտի համար, սակայն դրանք հեշտ ընդհանրացվում են կամայական էլեկտրաստատիկ դաշտի համար: Այնպիսի ուժային դաշտը, որում աշխատանքը կախված չէ հետագծի ձևից, այլ կախված է միայն սկզբնական ու վերջնական դիրքերից, կոչվում է **պոտենցիալային դաշտ**: Մենք արդեն ծանոթ ենք գրավիտացիայի և առաձգականության պոտենցիալային դաշտերին, որոնց ավելանում է նաև էլեկտրաստատիկ դաշտը: Արդեն կարող ենք սահմանել դաշտի էներգիական բնութագիրը լարվածության նմանությամբ:

Դիցուք $\vec{E}(\vec{r})$ էլեկտրաստատիկ դաշտում q լիցքի պոտենցիալ էներգիան $U(\vec{r})$ է: Որպես դաշտի էներգիական բնութագիր ընդունենք միավոր դրական լիցքի $\varphi(\vec{r})$ պոտենցիալ էներգիան, որին անվանենք դաշտի **պոտենցիալ**.

$$\varphi(\vec{r}) \equiv {}^{U(\vec{r})}/_{q} : \qquad (3)$$

Ինչպես պոտենցիալ էներգիան, այնպես էլ պոտենցիալը որոշված է կամայական C հաստատուն գումարելիի ճշտությամբ: Ուստի ֆիզիկական իմաստ ունի ոչ թե տվյալ կետի պոտենցիալը, այլ երկու կետերի պոտենցիալների տարբերությունը՝ **լարումը**, որում այդ հաստատունը վերանում է: Այդ նպատակով ընտրենք պոտենցիալի հաշվարկման սկզբնակետ. որևէ $\vec{r}_0$ կետի պոտենցիալ ընդունենք 0՝ $\varphi(\vec{r}_0)$=0 և մնացած բոլոր կետերում $\varphi(\vec{r})$ պոտենցիալը նույնացնենք $\varphi(\vec{r}) - \varphi(\vec{r}_0)$ պոտենցիալների տարբերության հետ՝ $\varphi(\vec{r}) \equiv \varphi(\vec{r}) - 0 \equiv \varphi(\vec{r}) - \varphi(\vec{r}_0)$: Այս դեպքում պոտենցիալի ֆիզիկական իմաստը միավոր դրական լիցքը $\vec{r}_0$ կետից $\vec{r}$ կետ տեղափոխելու վրա ծախսված աշխատանքն է, այսինքն, լարումն է $\vec{r}$ և $\vec{r}_0$ կետերի միջև: $\vec{r}_0$ կետն ընտրում են ելնելով հարմարությունից, սովորաբար անվերջ հեռու կետի պոտենցիալն համարում են 0: Այդ դեպքում q կետային լիցքի պոտենցիալի համար Կուլոնի օրենքից կարելի է ստանալ հետևյալ արտահայտությունը.

$$\varphi(\vec{r}) = -k \cdot \frac{q}{r} : \qquad (4)$$

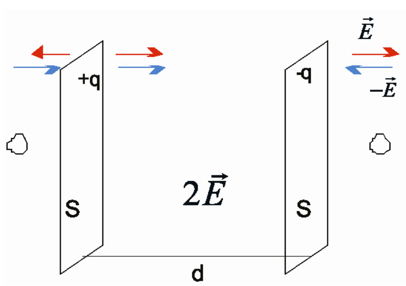
Միավորների ՄՀ համակարգում լարման միավորը Վոլտն է. 1Վ երկու կետերի միջև պոտենցիալների այն տարբերությունն է, որոնց միջև 1Կ լիցքը տեղափոխելիս կատարվում է 1Ջ աշխատանք: Լարում չափող սարքը կոչվում է վոլտմետր:

Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունն ու պոտենցիալը կապված են միմյանց հետ, քանզի նկարագրում են նույն դաշտը տարբեր եղանակներով: Այդ կապը համասեռ դաշտի դեպքում հեշտ է ստանալ (2) և (3) բանաձևերից.

$$E = \frac{U}{d}, \qquad (5)$$

որտեղ d-ն ուժագծի ուղղությամբ երկու կետերի հեռավորությունն է, որոնց միջև լարումը U է:

Կետերը կոչվում են համապոտենցիալ (էքվիպոտենցիալ), եթե նրանց պոտենցիալները հավասար են: Եթե տարածության մեջ գոյություն ունի կետերի բազմություն (գիծ, մակերևույթ, ծավալ), որի բոլոր կետերի պոտենցիալները նույնն են, ապա այն կոչվում է համապոտենցիալ, որով լիցքի ցանկացած տեղափոխության դեպքում աշխատանք չի կատարվում: Դա նշանակում է, որ համապոտենցիալ մակերևույթի ամեն կետով անցնող ուժագիծը ուղղահայաց է մակերևույթին: Բոլոր համակենտրոն գնդոլորտները, որոնց կենտրոնում կետային լիցք է, համապոտենցիալ մակերևույթներ են: Իդեալական հաղորդիչի ողջ մակերևույթն ու ծավալը նույնպես համապոտենցիալ են:



Նկար 2

Այժմ դիտարկենք հաղորդիչ, որի վրա շրջապատի էլեկտրական ազդեցությունները արհամարհելի են: Եթե այդ հաղորդիչը լիցքավորենք q, 2q, ..., nq լիցքերով և ամեն անգամ չափենք լարումը, կստանանք U, 2U,..., nU, այսինքն, q-ից կախված չէ

$$C = \frac{q}{U}, \qquad (6)$$

հարաբերությունը: Եթե հաղորդիչի ձևը կամ չափերը փոխենք, ապա կփոխվի նաև C-ի մեծությունը: Քանի որ դիէլեկտրիկական ε թափանցելիությունը փոքրացնում է դաշտը, ուստիև U լարումը, ապա C-ն ε անգամ կաճի, որը հաստատում է փորձը ևս: Եթե լիցքավորված հաղորդիչի մոտ տեղադրենք չլիցքավորված մի այլ հաղորդիչ, ապա սրա վրա կմակածվեն լիցքեր (**էլեկտրաստատիկ մակածման** երևույթով): Արդյունքում հաղորդիչի պոտենցիալը կնվազի, բայց լիցքը նույնը կմնա, ուստի կմեծանա C-ն: Այս մեծությունը նկարագրում է հաղորդիչի ձևի, չափերի և միջավայրի ազդեցությունը հաղորդիչի էլեկտրական հատկությունների վրա. ֆիզիկորեն C-ն ցույց է տալիս, թե տրված U լարման դեպքում հաղորդիչը ինչքա՞ն լիցք կունենա, որին անվանում են **էլեկտրունակություն:** Միավորների ՄՀ-ում ունակության միավորը Ֆարադն է. **1Ֆ այն հաղորդիչի ունակությունն է, որը 1Կլ լիցք ստանալուց ձեռք է բերում 1Վ պոտենցիալ:**

Լրացուցիչ նյութ. Էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան: Կոնդենսատոր:

Մենք քննարկեցինք էլեկտրաստատիկայում աշխատանքի որոշ հարցեր: Մենք կատարում ենք աշխատանք և առաջացնում լիցքեր: Օրինակ, շփում ենք ապակե կամ սաթե ձողը, այսինքն, կատարում ենք աշխատանք, որի շնորհիվ ձողերը լիցքավորվում են: Այդ լիցքերն առաջացնում են էլեկտրական դաշտ, որն ազդելով այդ դաշտում գտնվող այլ լիցքերի վրա՝ ի զորու է նրանց տեղափոխել, այսինքն, աշխատանք կատարել (էական չէ, դրական, թե բացասական): Դա նշանակում է, որ դաշտն օժտված է էներգիայով, որը հենց լիցքավորելու համար մեր կատարած աշխատանքն է: Հաշվենք էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան: Ինչպես միշտ, նախ հարցը դի-

պարկերը պարզ դեպքում, երբ դաշտը համասեռ է: Իսկ ընդհանուր դեպքում դաշտը կդիտենք համասեռ ամեն փոքր տիրույթում: §24-ի խնդիր 1-ում ցույց ենք տվել, որ q լիցքով համասեռ լիցքավորված անվերջ հարթության դաշտը համասեռ է, իսկ $\vec{E}$ լարվածությունը ուղղահայաց է հարթությանը: Զուգահեռ տեղադրենք (-q) լիցքով համասեռ լիցքավորված մի այլ անվերջ հարթություն (նկ. 2): Այդպիսի համակարգը կոչվում է հարթ կոնդենսատոր, հարթությունները՝ շրջադիրներ: Եթե շրջադիրների d հեռավորության քառակուսին արհամարհելի փոքր է նրանց S մակերեսի համեմատ, ապա շրջադիրները մոտավորապես կարելի է համարել անվերջ: Այդ դեպքում նկ. 2-ից ակնհայտ է, որ դաշտը շրջադիրներից դուրս կլինի 0, իսկ ներս՝ $2\vec{E}$, այսինքն, դաշտը կուտակվում է, խտացվում է կոնդենսատորի ներսում, որից էլ ծագել է անունը: Շրջադիրների միջև պոտենցիալների տարբերությունը՝ U լարումը կլինի.

$U = 2Ed$: (7)

Դաշտի էներգիան այն W աշխատանքն է, որը պետք է կատարել շրջադիրներից որևէ մեկը մյուսի դաշտում d-ով տեղափոխելու համար.

$W=qEd={}^{qU}/_{2}$: (8)

Ըստ **§24-ի** $E\sim\sigma$, $q=S\sigma$ *և* $C={}^{q}/_{U}={}^{S\sigma}/_{2Ed}\sim{}^{\varepsilon S}/_{d}$: *Ճշգրիտ հաշվարկը ցույց է տալիս, որ*

$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$: (9)

(7)-(9) բանաձևերից բխում են հետևյալ առնչությունները.

$W=\frac{CU^2}{2}$, $W=\frac{q^2}{2C}$, $W=\frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2}$. Sd: (10)

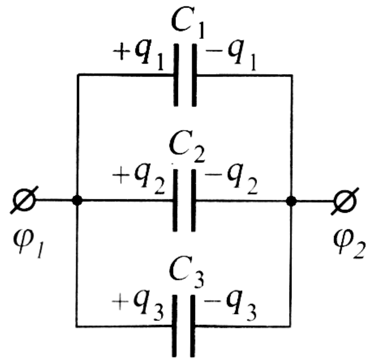
Եթե (10)-ի վերջին հավասարումը բաժանենք կոնդենսատորի Sd ծավալի վրա, կստանանք էներգիայի ծավալային խտությունը՝ միավոր ծավալի էներգիան.

$\boldsymbol{w}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2}$, (11)

որը ճիշտ է նաև ոչ համասեռ և ոչ ստացիոնար էլեկտրական դաշտերի համար ևս:

Խնդրի լուծման օրինակներ:

Խնդիր 1: Արտահայտել զուգահեռ միացված կոնդենսատորների ունակությունն առանձին կոնդենսատորների ունակությամբ:



Նկար 3

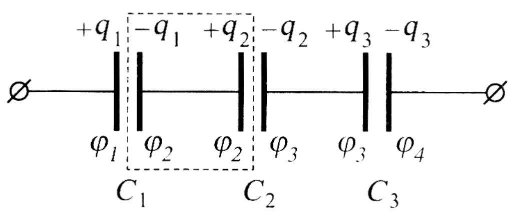
Լուծում: Դիցուք կոնդենսատորների շրջադիրները հաղորդիչով միացված են նկ. 3-ում ցույց տրված ձևով, որը կոչվում է զուգահեռ միացում: Հաղորդիչով միացված շրջադիրների պոտենցիալները նույնն են, ուստի կոնդենսատորների լարումը U է, իսկ նրանց լիցքերի գումարը ընդհանուր լիցքն է՝ $q = q_1+q_2+...+q_n$, որը բաժանելով U-ի վրա, կստանանք.

$$C = C_1+C_2+...+ C_n, \tag{12}$$

այսինքն, **զուգահեռ միացված կոնդենսատորների ունակությունը հավասար է առանձին կոնդենսատորների ունակությունների գումարին:**

Խնդիր 2: Արտահայտել հաջորդաբար միացված կոնդենսատորների ունակությունն առանձին կոնդենսատորների ունակությամբ:

Լուծում: Դիցուք կոնդենսատորների շրջադիրները հաղորդիչով միացված են նկ. 4-ում ցույց տրված ձևով, որը կոչվում է հաջորդաբար միացում: Կետագծերով նշված շրջադիրները համապոտենցիալ են և ունեն 0 լիցք, ուստի շրջադիրները լիցքավորված են հավասար չափով և տարանուն



Նկար 4

լիցքերով (քանի որ նրանք դրսից լիցք չեն ստանում մեկուսացված լինելու պատճառով): Դա նշանակում է, որ բոլոր կոնդենսատորները լիցքավորված են նույն q լիցքով: Ընդհանուր U լարումը հավասար է առանձին կոնդենսատորների լարումների գումարին.

$$U = U_1+U_2+...+ U_n, \tag{13}$$

քանի որ $U = (\varphi_1 - \varphi_n)= (\varphi_1 - \varphi_2)+ (\varphi_2 - \varphi_3)+ ... +(\varphi_{n-1} - \varphi_n) = U_1+U_2+...+ U_n$:

(9)-ից ըստ ունակության սահմանման կստանանք.

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\ldots+\frac{1}{C_n}, \qquad (14)$$

այսինքն, **հաջորդաբար միացված կոնդենսատորների ունակության հակադարձը հավասար է առանձին կոնդենսատորների ունակությունների հակադարձների գումարին:**

Խնդիր 3: Ստանալ հարթ կոնդենսատորի ունակության բանաձևը նախորդ երկու խնդիրները զուգակցելով:

Լուծում: Միավոր հեռավորության վրա դրված միավոր մակերեսով շրջադիրների ունակությունը դիցուք C_0 է: Միավոր հեռավորության վրա դրված S մակերեսով կոնդենսատորը կարող ենք համարել S հատ զուգահեռ միացված C_0 կոնդենսատորներ, որոնց ընդհանուր ունակությունը SC_0 է: d հեռավորության վրա դրված S մակերեսով կոնդենսատորը կարող ենք դիտել d հատ հաջորդաբար միացված SC_0 կոնդենսատորներ, որոնց ընդհանուր ունակությունը կլինի SC_0/d, որը համընկնում է (9) արտահայտության հետ:

Խնդիր 4: Ինչպե՞ս և ինչո՞ւ կփոխվի լիցքավորված հարթ կոնդենսատորի էներգիան, եթե նրա շրջադիրների միջև դիէլեկտրիկ մտցնենք:

Լուծում: Եթե կոնդենսատորը լիցքավորված է q լիցքով, ապա այդ լիցքն այդքան էլ կմնա նաև ε թափանցելությամբ դիէլեկտրիկ մտցնելուց հետո: Ըստ (9) բանաձևի, $C_{դիէլ}$ ունակությունը ε անգամ կմեծանա $C_{վակ}$-ի համեմատ, ուստի ըստ (10)-ի էներգիան (նաև դաշտի լարվածությունն ու լարումը) ε անգամ կնվազի: Էներգիան ծախսվել է դիէլեկտրիկի դիպոլներն ըստ դաշտի վերադասավորելու վրա:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը և լարումը:
2. Ըմբռնե՞լ եք էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալային բնույթը:
3. Հասկացե՞լ եք համապոտենցիալ մակերևույթի գաղափարը:
4. Ըմբռնե՞լ եք կոնդենսատորի և նրա ունակության հասկացությունը:
5. Հասկացե՞լ եք էներգիայի խտության հասկացությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք աշխատանքը էլեկտրաստատիկ դաշտում:
2*. Ֆիզիկորեն վերարտադրե՛ք անվերջ երկար հաղորդիչ լիցքավորված գլանի համապոտենցիալ տիրույթները:
3. Սահմանե՛ք էլեկտրաունակությունը և նրա միավորը:
4*. Հաշվե՛ք Երկրագնդի ունակությունը՝ նրան համարելով համասեռ հաղորդիչ:
5. Նկարագրե՛ք էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան և ստացե՛ք դրա համար արտահայտություն համասեռ դաշտի դեպքում:
6*. **Խմբային առաջադրանք:** Կազմե՛ք հաջորդական ու զուգահեռ միացված կոնդենսատորներով սխեմա և գտե՛ք ընդհանուրի ունակությունը:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. Մետաղե գնդիկը լիցքավորված է -1,6 նԿլ լիցքով: Քանի՞ հավելուրդային էլեկտրոն կա գնդիկի վրա:
2. Երկու միևնույն չափի մետաղե գնդիկներ ունեն -2 մկԿԼ և 4 մկԿլ լիցքեր: Որքա՞ն կլինի գնդիկներից յուրաքանչյուրի լիցքը, եթե դրանք հպենք իրար և նորից հեռացնենք:
3. Ամպրոպային ամպերի երկու կուտակումների միջին հեռավորությունը 10 կմ է: Այդ ամպերի լիցքերը համապատասխանաբար 10 Կլ և 20 Կլ են: Որքա՞ն է այդ ամպերի փոխազդեցության ուժը: Ամպերի չափերը շատ անգամ փոքր են նրանց միջև հեռավորության համեմատ:
4. Յուրաքանչյուրը 5,6 մկԿլ լիցք ունեցող երկու գնդեր գտնվում են որոշ հեռավորության վրա: Գնդերի միջև հեռավորությունը թողնելով անփոփոխ, ի՞նչ մեծության դրական լիցք է պետք մի գնդից մյուսը տեղափոխել, որպեսզի նրանց փոխազդեցության ուժը փոքրանա 2 անգամ:
5. Քանի՞ անգամ կփոքրանա մոդուլով հավասար լիցքերով լիցքավորված երկու գնդիկների ձգողության ուժը, եթե, չփոխելով նրանց հեռավորությունը, մեկի լիցքի կեսը տեղափոխվի մյուսի վրա:
6. Կետային լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը լիցքից 20 սմ հեռավորության վրա 100 Ն/Կլ է: Որքա՞ն է դաշտի լարվածությունն այդ լիցքից 40 սմ հեռավորության վրա:

7. Նույնանուն լիցքերով լիցքավորված q և 9q կետային լիցքերի միջև հեռավորությունը 8 սմ է: Առաջին լիցքից ի՞նչ հեռավորության վրա այդ լիցքերի ստեղծած արդյունարար դաշտի լարվածությունը կլինի զրո:

8. Հավասարակողմ եռանկյան յուրաքանչյուր գագաթում գտնվում է $6\cdot10^{-9}$ Կլ լիցք: Յուրաքանչյուր լիցքի վրա ազդող համազոր ուժը հավասար է $\sqrt{3}\cdot10^{-3}$ Ն-ի:

ա. Որքա՞ն է լիցքերից յուրաքանչյուրի զույգի փոխազդեցության ուժը:

բ. Որքա՞ն է եռանկյան կողմի երկարությունը:

9. $6\cdot10^{5}$ Վ/մ լարվածությամբ համասեռ էլեկտրական դաշտում $7\cdot10^{-8}$ Կլ լիցքն ուժագծերի ուղղությամբ տեղափոխվում է 10 սմ: Ի՞նչ աշխատանք է կատարում դաշտն այդ դեպքում:

10. Լիցքը համասեռ էլեկտրական դաշտի ուժագծերի ուղղությամբ 5 սմ տեղափոխելիս դաշտը կատարում է 15 Ջ աշխատանք: Ի՞նչ աշխատանք կկատարի այդ դաշտը երկու անգամ ավելի մեծ լիցքն ուժագծերի ուղղությամբ 3 սմ տեղափոխելիս:

Գլուխ 7.

ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔ

§26. Էլեկտրական հոսանք: Օհմի օրենքը

Էլեկտրական լիցքի կրողները՝ լիցքակիրները նյութական օբյեկտներ են, որոնք կարող են զանազան պատճառներով շարժումներ կատարել՝ իրենց հետ տեղափոխելով լիցքեր: Այդ շարժումները, ինչպես կտեսնենք «Մակրոհամակարգեր» բաժնում, մասամբ չուղղորդված ու չկարգավորված են (քաոսային են), մասամբ էլ կարող են լինել ուղղորդված, կարգավորված: Քաոսայինի դեպքում լիցքի տեղափոխություն չի կատարվում, իսկ ուղղորդված լինելու դեպքում լիցքի տեղափոխություն է կատարվում: **Լիցքերի ուղղորդված շարժմամբ պայմանավորված տեղափոխման երևույթն անվանում են էլեկտրական հոսանք,** որը նկարագրում են հոսանքի մեծությամբ՝ ուժով, այն է՝ միավոր ժամանակում անցած լիցքի քանակով.

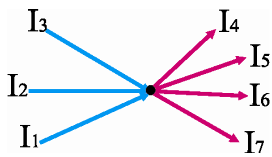
$$I \equiv {}^{\Delta q}/_{\Delta t}\ , \tag{1}$$

որտեղ I-ն հոսանքի ուժն է, Δt -ն այն ժամանակը, որի ընթացքում անցել է Δq լիցքը: Հոսանքի ուժը չափում են ամպերներով (Ա)**. 1Ա այն հոսանքն է, երբ 1վ-ում հաղորդիչի լայնական կտրվածքով անցնում է 1Կլ լիցք:**

Միավորների ՄՀ-ում ամպերը սահմանվում է հոսանքի մագնիսական ազդեցությամբ, որը կսովորենք հաջորդ դասերում: 1Ա այն հոսանքի ուժն է, որն անցնելով անվերջ երկար և անվերջ բարակ 1մ հեռավորությամբ զուգահեռ դասավորված հաղորդալարերով, դրանց 1մ երկարության ամեն հատվածի վրա մյուսը ազդում է 2$\cdot 10^{-7}$ *Ն ուժով:*

Հոսանքը չափելու համար անհրաժեշտ է գտնել հոսանքի այնպիսի ազդեցություն, որի չափը համեմատական է հոսանքի ուժին և որը անմիջականորեն չափվող է: Հոսանքը չափում են ամպերմետրերով:

Ինչպես տեսանք §23-ում լիցքակիրները կարող են ուղղորդված տեղափոխական շարժում կատարել ոչ բոլոր նյութերով, այլ միայն հաղորդիչներով: Ուստի էլեկտրական հոսանք ստանալու համար անհրաժեշտ է միջավայր, որում լինեն շարժվելու ունակ լիցքակիրներ, և այդ լիցքակիրներին ուղղորդված շարժման հրահրող պատճառներ՝ ուժեր: Փորձով կարող ենք երևութաբանական եզրահանգում անել, որ միևնույն արտաքին պայմանների դեպքում հոսանքի ուժը կախված է հաղորդիչ միջավայրի ֆիզիկական հատկություններից, չափերից ու ձևից: Այդ պատճառով գործածական է նաև հոսանքի մի այլ բնութագիր՝ հոսանքի խտությունը, որի ուղղությունը համընկնում է լիցքերի ուղղորդված շարժման ուղղության հետ, իսկ նրա j մեծությունն ուղղահայաց միավոր մակերեսով անցնող հոսանքն է՝ $j = I/S$:

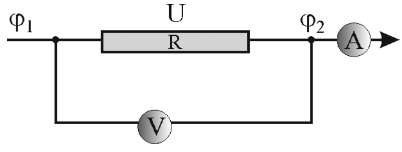


Նկար 1

Եթե հաղորդիչ միջավայրը ճյուղավորված է (նկ. 1), ըստ **լիցքի պահպանման օրենքի** Δt ժամանակահատվածում A հանգույց մտնող լիցքերի հանրահաշվական գումարը հավասար է դուրս եկող լիցքերի գումարին, ուստի նկ. 1-ի դեպքում կլինի.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6 + I_7, \qquad (2)$$

որը **Կիրխհոֆի առաջին օրենքն** է:



Նկար 2

Մենք գիտենք, որ էլեկտրական դաշտը հաղորդիչ միջավայրում առաջացնում է լիցքերի ուղղորդված շարժում՝ հոսանք: Հոսանքի I ուժը պայմանավորված է և դաշտի էլեկտրական բնութագրիչներով՝ $\vec{E}$ լարվածությամբ ու U լարմամբ, և հաղորդիչի պարամետրերով՝ R դիմադրությամբ (կամ G հաղորդականությամբ) և չափերով: Դիցուք հաղորդիչի ծայրակետերի պոտենցիալներն են φ_1 և φ_2 ուստի լարումը կլինի U= $\varphi_2 - \varphi_1$: Նկ. 2-ում բերված սխեմայով կատարենք փորձ և կհամոզվենք, որ հոսանքի ուժը համեմատական է հոսանք ծնող պատճառին՝ լարմանը, իսկ համեմատականության գործակիցը կախված է հաղորդիչի նյութի տեսակից.

$$I = G \cdot U = {}^{U}/_{R}, \qquad U = IR, \qquad (3)$$

որը **Օհմի օրենքն է շղթայի տվյալ տեղամասի համար**: (3)-ի երկրորդ բանաձևը ցույց է տալիս, որ I հոսանք անցնելով R դիմադրության միջով, նրա վրա լարումը նվազում է, ընկնում է IR չափով: IR-ը անվանում են լարման անկում, որը միավոր լիցքի վրա ծախսված աշխատանքն է R դիմադրությունը հաղթահարելու համար: Նույն փորձում փոխելով հաղորդիչի նյութը, նրա l երկարությունն ու լայնակի S կտրվածքի մակերեսը՝ կստանանք հետևյալ կապը.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \qquad (4)$$

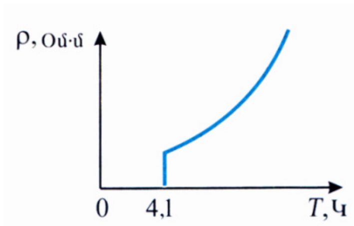
որտեղ ρ -ն միավոր երկարությամբ և միավոր լայնական մակերեսով տվյալ նյութի դիմադրությունն է և կոչվում է նյութի տեսակարար դիմադրություն:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ մետաղական հաղորդիչների տեսակարար դիմադրությունը t ջերմաստիճանից կախված փոխվում է՝

$$\rho(t) = \rho(0)(1 + \alpha t), \qquad (5)$$

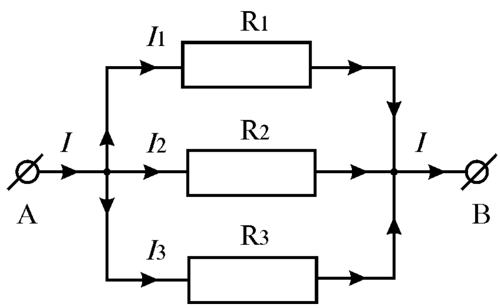
որտեղ ρ(0)-ն նյութի տեսակարար դիմադրությունն է 0°C-ում, իսկ α -ն տվյալ մետաղական հաղորդիչի համար հաստատուն մեծություն է և կոչվում է դիմադրության ջերմաստիճանային գործակից: α -ն ոչ մաքուր մետաղների և համաձուլվածքների համար շատ փոքր մեծություն է, մաքուր մետաղների համար $\alpha \approx (1/273)$ $Կ^{-1}$ (օրինակ, պղնձի համար $\alpha \approx 0{,}0043$ $Կ^{-1}$), իսկ կիսահաղորդիչների համար $\rho(t)$ կախված է ջերմաստիճանից շատ ուժեղ՝ ցուցչային օրենքով:

Սակայն շատ ցածր ջերմաստիճաններում (5) կախումը խախտվում է: 1911թ. Հ. Կամերլինգ-Օնեսը հայտնաբերեց **գերհաղորդականության** երևույթը, երբ որոշ մետաղներ սառեցնելիս մի ինչ-որ $T_{կր}$ ջերմաստիճանում կտրուկ R → 0 (սնդիկի



Նկար 3

համար այդ կախումը բերված է նկ. 3-ում): 1986 թ. Ի. Բեդնորցը և Կ. Մյուլերը օքսիդային բարդ միացությունների հիման վրա $T_{կր}$-ը հասցրին հեղուկ ազոտի ջերմաստիճանի: Նոր սինթեզված նյութերի համար այժմ $T_{կր}$-ը հասցվել է 162 Կ և ձգտում են այն հասցնել սենյակային ջերմաստիճանի: Դա կառաջացնի քաղաքակրթական մեծ առաջընթաց ու հեղաշրջում անփոխարինելի անկորուստ էներգահաղորդման, գերբարձր մագնիսական դաշտեր ստանալու ու կառավարելի ջերմամիջուկային ռեակցիաներ իրականացնելու ոլորտներում: **Գերհաղորդականության** երևույթը բացատրվում է քվանտային ֆիզիկայի շրջանակներում:



Նկար 4

Խնդրի լուծման օրինակներ:

Խնդիր 1: Գտնել զուգահեռ միացված դիմադրությունների ընդհանուր դիմադրությունը:

Լուծում: Այս խնդիրները լուծեք նախորդ պարագրաֆի խնդիրների նման՝ նույն դատողությամբ: Դիմադրությունների զուգահեռ միացումը (նկ. 4) ունի այն առանձնահատկությունը, որ լարումը նրանցից յուրաքանչյուրի վրա նույնն է՝ U, իսկ հոսանքները գումարվում են ըստ (2)-ի՝

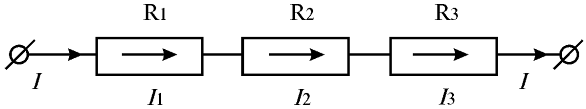
$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$, որտեղից էլ ըստ (3)-ի կստանանք.

$$G = G_1 + G_2 + \ldots + G_n, \quad (6)$$

այսինքն, **դիմադրությունների զուգահեռ միացման դեպքում ընդհանուր հաղորդականությունը հավասար է նրանց հաղորդականությունների գումարին (գումարվում են հաղորդականությունները՝ դիմադրությունների հակադարձ մեծությունները):**

Խնդիր 2: Գտնել հաջորդաբար միացված դիմադրությունների ընդհանուր դիմադրությունը:

Լուծում: Դիմադրություն-ների հաջորդական միացումն (նկ. 5) ունի այն առանձնա-հատկությունը, որ նրանցով



Նկար 5

անցնող հոսանքը բոլորի համար նույնն է՝ I, իսկ լարումները գումարվում են՝ U = $U_1 + U_2 + \ldots + U_n$ որտեղից ըստ (3)-ի կստանանք.

R = $R_1 + R_2 + \ldots + R_n$, (7)

այսինքն, **դիմադրությունների հաջորդաբար միացման դեպքում ընդհանուր դիմադրությունը հավասար է նրանց դիմադրությունների գումարին (գումար-վում են դիմադրությունները):**

Խնդիր 3: Ստանալ (4) բանաձևը՝ նախորդ երկու խնդիրները զուգակցե-լով:

Լուծում: Տվյալ հաղորդիչի միավոր երկարությամբ միավոր լայնական կտրվածքի մակերեսով կտորի դիմադրությունը՝ տեսակարար դիմադրությունը նշանակենք ρ: l երկարությամբ և միավոր մակերեսով հաղորդիչը կարելի է դիտել l հատ հաջորդաբար միացված միավոր մակերեսով հաղորդիչներ ρl դիմադրությամբ (ըստ (7)-ի: S մակերեսով և l երկարությամբ հաղորդիչը կարե-լի է դիտել S հատ զուգահեռ միացված ρl դիմադրություն, ուստի ըստ (6)-ի ընդհանուր դիմադրության համար կստանանք (4) բանաձևը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք էլեկտրական հոսանքի հասկացությունն ու հոսանքի ուժը:
2. Յուրացրե՞լ եք Օհմի օրենքը և Կիրխհոֆի առաջին օրենքը:
3. Յուրացրե՞լ եք դիմադրության ու հաղորդականության հասկացություն-ները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Սահմանե՛ք հոսանքի ուժը:
2. Նկարագրե՛ք Օհմի օրենքի փորձը և ձևակերպե՛ք օրենքը:

§27. Էլեկտրական հոսանքի աշխատանքն ու հզորությունը: Հոսանքի աղբյուր

Էլեկտրական հոսանք առաջանում է, երբ դաշտը կատարում է աշխատանք՝ շարժունակ լիցքակիրներին ուղղորդված շարժելով և կինետիկ էներգիա հաղորդելով: Այս էներգիան հոսանքը կարող է վերածել աշխատանքի կամ էներգիայի այլ տեսակի: Դիտարկենք շղթայի R դիմադրությամբ տեղամաս, որով Δt ժամանակում U լարման տակ անցնում է Δq լիցք՝ առաջացնելով I հոսանք: Կատարված լրիվ աշխատանքն է.

$$A = \Delta q U = IU\Delta t, \tag{1}$$

որը կարող է վերածվել մասամբ աշխատանքի, մասամբ ճառագայթային էներգիայի կամ էլ ջերմության և այլն: Եթե հոսանքը ջերմայինից զատ այլ ազդեցություն չունի, ապա $Q = A = \Delta q U = IU\Delta t$: Օգտվելով Օհմի օրենքից՝ կարող ենք ստանալ ***Ջոուլ-Լենցի օրենքը***.

$$Q = \frac{U^2}{R}\Delta t = I^2 R \Delta t, \tag{2}$$

Հաղորդիչում անջատված ջերմաքանակը հավասար է հոսանքի ուժի քառակուսու, դիմադրության և հոսանքն անցնելու ժամանակամիջոցի արտադրյալին:

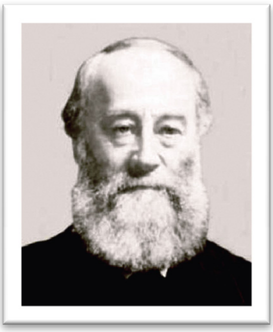
Այս օրենքը Ջոուլը և Լենցը ստացել են փորձնականորեն, միմյանցից անկախ:

Հոսանքի աշխատանք կատարելու արագությունը կոչվում է հոսանքի հզորություն.

$$P \equiv \frac{A}{\Delta t} = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R: \tag{3}$$

Հզորության չափման միավորը **վատտն** է և չափող սարքն անվանում են **վատտմետր**:

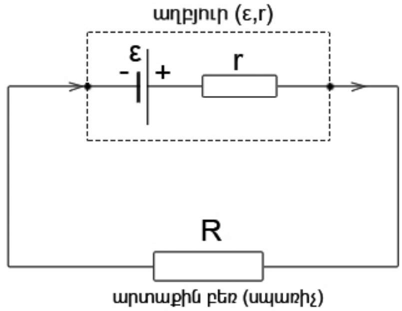
Մինչ այժմ դիտարկել ենք էլեկտրաստատիկ դաշտի առաջացրած հաստատուն հոսանքը: Սակայն լիցքերը դաշտի ազդեցությամբ կատարում են այնպիսի շարժում, որը ձգտում է վերացնել դաշտը: Այլ կերպ ասած, լիցքերը դաշտի ազդեցությամբ շարժվում են դեպի դաշտ ստեղծող այն լիցքերը, որոնք նշանով հակադիր են իրենց: Դա տևում է այնքան ժամանակ, մինչև դաշտ ստեղծող բոլոր լիցքերը չեզոքացվեն և դաշտը դառնա զրո: Լիցքերի այդպիսի կարգավորված շարժումը՝ հոսանքը, ուղեկցվում է $P = IU$ հզորությամբ ջոուլյան ջերմության անջատմամբ և որոշ A_1 աշխատանք կատարելով:



Ջոուլ Ջեյմս Պրեսկոտ (1818 - 1889)

Անգլիացի ֆիզիկոս, էներգիայի պահպանման օրենքի առաջին հայտնագործողներից: Աշխատանքները վերաբերում են էլեկտրամագնիսականությանը, ջերմությանը և գազերի կինետիկ տեսությանը: Որոշել է հաղորդիչում անջատված ջերմաքանակի կախումը հոսանքի ուժից և հաղորդիչի դիմադրությունից (Ջոուլ - Լենցի օրենքը): Փորձով որոշել է ջերմության մեխանիկական համարժեքը:

Որպեսզի հոսանքը պահենք հաստատուն, պետք է անընդհատ վերականգնել չեզոքացված լիցքերը: Ուստի պետք է կատարել $A_{կողմ}$ աշխատանք լիցքերը տարանջատելու և այն էլեկտրաստատիկ դաշտի կողմից ազդող ուժին հակառակ տեղափոխելու համար: Ակնհայտ է, որ այդ աշխատանքը պետք է կատարեն ուրիշ, ոչ էլեկտրաստատիկ բնույթի ուժեր: Ակնհայտ է նաև այն, որ այդ ուժերը չպետք է լինեն պոտենցիալային: Իրոք, ըստ էության մենք լիցքը տվյալ կետից տեղաշարժում և ետ ենք բերում նույն կետը, ուստի եթե ուժային դաշտը միայն պոտենցիալային լիներ, ապա կատարված գումարային աշխատանքը կլիներ զրո: Իսկ ըստ Ջոուլ-Լենցի օրենքի անպայման պետք է անջատվի Q ջերմաքանակ, հետևաբար $A_{կողմ}$-ն պետք է մեծ լինի A_1-ից: Դա նշանակում է, որ $A_{կողմ}$ աշխատանքը կատարող ուժերը *պետք է լինեն ոչ պոտենցիալ՝ մրրկային,* ուստի ոչ էլեկտրաստատիկ: Այդպիսի ուժերին անվանում են **կողմնակի ուժեր**, իսկ դրանց միջոցով լիցքերը տարանջատող հարմարանքը անվանում են **հոսանքի աղբյուր**:



Նկար 1

Հոսանքի աղբյուրի կարևոր բնութագրիչը $\mathcal{E}$ **էլեկտրաշարժ ուժն է** (կրճատ՝ **ԷլՇՈՒ**), որը *միավոր դրական լիցքը լրիվ շղթայով (փակ հեպագծով) տեղափոխելու համար աղբյուրի կատարած աշխատանքն է*: Ըստ սահմանման, ԷլՇՈՒ-ն ունի լարման չափողականությունը, ուստի միավորը **Վոլտն** է: Բացի ԷլՇՈՒ-ից, աղբյուրը որպես ֆիզիկական օբյեկտ, ունի նաև իր ներքին r դիմադրությունը: Ուստի Δt ժամանակում $\Delta q = I\Delta t$ լիցքով հոսանքի աղբյուրը լիցքավորելու համար կողմնակի ուժերը աղբյուրի ներսում, ըստ ԷլՇՈՒ-ի սահմանման, պետք է կատարեն

$$A_{կողմ} = \Delta q\,\mathcal{E} = I\Delta t\,\mathcal{E}, \qquad (4)$$

աշխատանք, որպեսզի հաղթահարեն արտաքին և ներքին դիմադրությունները՝

$$Q = I^2R\Delta t + I^2r\Delta t = A_{կողմ}: \qquad (5)$$

Լրիվ շղթայի համար, որը պատկերված է նկ. 1-ում, (4) և (5) բանաձևերից հետևում է.

$$\mathcal{E}=IR+Ir=U_R + U_r,\ I=\frac{\mathcal{E}}{R+r}: \qquad (6)$$

(6) բանաձևերն արտահայտում են Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար, ըստ որի **ԷլՇՈՒ-ն շղթայի բոլոր տեղամասերում լարման անկումների գումարն է, իսկ հոսանքը շղթայում հավասար է ԷլՇՈՒ-ն բաժանած շղթայի լրիվ դիմադրության վրա:**

Դիտարկենք երկու մասնավոր դեպքեր: Եթե $R \gg r$, ապա $IR \gg Ir$, և (6)-ից կստանանք $\mathcal{E} = IR = U_R$, այսինքն, լարումն աղբյուրի սեղմակներում հավասար է ԷլՇՈՒ-ին: Դա բաց շղթայի դեպքն է, երբ R-ը անվերջ մեծ է (շղթան կտրված է): Իսկ եթե $R \ll r$ (կարճ միացում), ապա $\mathcal{E} = Ir = U_r$ և հոսանքը ընդունում է իր առավելագույն արժեքը՝ $I_{կմ} = \mathcal{E}/r$, որը կոչվում է **կարճ միացման հոսանքի ուժ**:

Այսպիսով, էլեկտրական դաշտն ու հոսանքը կրում են էներգիա: Այն կարող է ստացվել ցանկացած այլ տեսակի էներգիայից ինչ-որ պրոցեսներով, որոնց գոնե որևէ օղակում առկա է մրրկայնություն: Դա հոսանքի աղբյուրն է, որը կարող է կուտակել նաև որոշ քանակի էներգիա: Էլեկտրական էներգիան կարող է վերափոխվել այլ տեսակի էներգիայի, ուստի կիրառվել ցանկացած ոլորտում: Էլեկտրական էներգիայի կարևոր հատկությունն այն է, որ համեմատաբար հեշտ և արդյունավետ հաղորդվում է հսկայական հեռավորության վրա և գրեթե ամենուր: Ինչպես կտեսնենք հետագայում, այն հաղորդվում է անգամ դատարկության միջով: Այսօր շատ դժվար է պատկերացնել մարդու գործունեությունը կամ կյանքը առանց էլեկտրաէներգիայի:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք Ջոուլ-Լենցի օրենքը:
2. Յուրացրե՞լ եք հոսանքի հզորության գաղափարը:
3. Ըմբռնե՞լ եք կողմնակի ուժի էությունն ու բնույթը:
4. Հասկացե՞լ եք հոսանքի աղբյուրի աշխատանքի սկզբունքը:
5. Յուրացրե՞լ եք ԷլՇՈՒ-ի գաղափարը և Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք հոսանքի աշխատանքն ու հզորությունը և ձևակերպե՛ք Ջոուլ-Լենցի օրենքը:
2. Սահմանե՛ք կողմնակի ուժերը, հոսանքի աղբյուրը և ԷլՇՈՒ-ն:
3. Ձևակերպե՛ք և մեկնաբանե՛ք Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. 400 մԱ հոսանքի ուժի դեպքում հաղորդալարի հատույթի մակերեսով որքա՞ն լիցք կանցնի 1 վ-ում:
2. Հաղորդիչում հոսանքի ուժը 10 վ-ում հավասարաչափ աճում է զրոյից մինչև 5 Ա: Որքա՞ն լիցք է անցնում հաղորդիչով այդ ընթացքում:

3. Լամպում հոսանքի ուժը 0,32 Ա է: Քանի՞ էլեկտրոն կանցնի լամպի թելիկով 0,1 վ-ում:

4. Քանի՞ անգամ կմեծանա հոսանքի ուժը հաղորդիչում, եթե նրան մատուցվող լարումը մեծացվի 2 անգամ, իսկ դիմադրությունը փոքրանա 3 անգամ:

5. 20 Օմ դիմադրությամբ հաղորդալարի երկարությունը ձգելով մեծացնում են 4 անգամ:

ա. Քանի՞ անգամ կփոքրանա կտրվածքի մակերեսը:

բ. Որքա՞ն դարձավ հաղորդալարի դիմադրությունը ձգելուց հետո:

6. 80 Օմ դիմադրությամբ համասեռ հաղորդալարը բաժանել են չորս հավասար մասերի և միմյանց հետ միացրել են զուգահեռ: Որքա՞ն կլինի այդպիսի միացման դիմադրությունը:

7. Երկու դիմադրություններ հաջորդաբար միացնելիս ստացվում է 5 Օմ դիմադրություն, իսկ զուգահեռ միացնելիս՝ 1,2 Օմ:

ա. Որքա՞ն է մեծ դիմադրությունը:

բ. Որքա՞ն է փոքր դիմադրությունը:

8. Էլեկտրասալիկը 5 Ա հոսանքի դեպքում 3 ր-ում ծախսում է 1080 կՋ էներգիա: Որքա՞ն է էլեկտրասալիկի դիմադրությունը:

9. 1 Օմ, 2 Օմ և 3 Օմ դիմադրություններն առաջին դեպքում միացվում են հաջորդաբար, երկրորդ դեպքում՝ զուգահեռ: Երկրորդ դեպքում էլեկտրաէներգիայի ծախսը քանի՞ անգամ մեծ է, եթե երկու դեպքում էլ միացվում են նույն լարմանը:

10. Վերամբարձ կռունկի էլեկտրաշարժիչը սնվում է 380 Վ լարման աղբյուրից, ընդ որում այդ դեպքում հոսանքի ուժը 20 Ա է: Որքա՞ն է սարքի օգգ-ն, եթե 1 տ զանգվածով բեռը 50 վ-ում բարձրացնում է 19 մ բարձրության վրա:

Գլուխ 8.

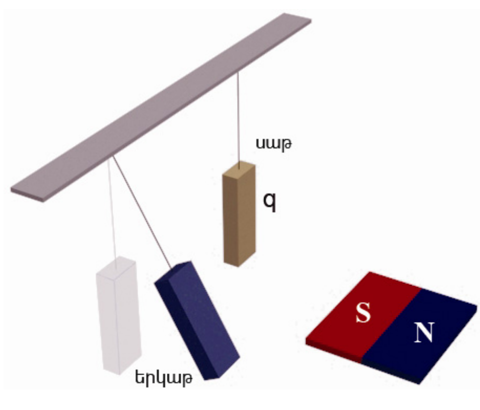
ՄԱԳՆԻՍԱՍՏԱՏԻԿԱ

§28. Մագնիսական փոխազդեցության երևույթ

«Չգող քարը»՝ մագնիսը, շատ վաղուց է հայտնի իր տարօրինակ բնույթով:

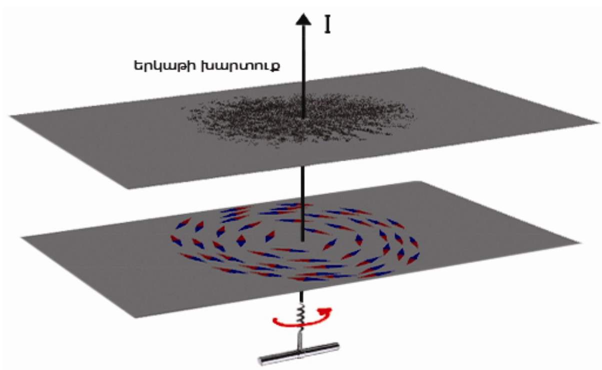
Վերցնենք ուղղանկյուն պրիզմայի ձև ունեցող մագնիսական ձող, ինչպիսին նկ. 1-ում պատկերված N և S ծայրերով մագնիսն է, և մոտեցնենք տարբեր նյութերի բեկորակտորներին:

Կտեսնենք, որ մագնիսը որոշ նյութերի բեկորների վրա չի ազդում, իսկ որոշները, օրինակ, երկաթի բեկորները ձգում է, ընդ որում երկու ծայրերով էլ նույնկերպ: Եթե մագնիսը մոտեցնենք Նկ. 1-ում պատկերված ուղղաձիգ կախված սաթե և երկաթե ձողիկներին, կտեսնենք, որ սաթե ձողին չի ձգում անկախ նրանից, այն լիցքավորվա՞ծ է, թե՝ ոչ, իսկ երկաթե ձողին ձգում է և նույնկերպ, անկախ նրանից՝ ձողը լիցքավորվա՞ծ է, թե՝ ոչ: Մագնիսները ևս ազդում են միմյանց վրա: Եթե մի մագնիսի N ծայրը մոտեցնենք մյուսի S ծայրին, նրանք իրար կձգեն, իսկ եթե երկուսի N ծայրերը մոտեցնենք (կամ S ծայրերը), նրանք իրար կվանեն: Իսկ եթե այդ մագնիսները զուգահեռ միացնենք՝ N ծայրերը իրար, S ծայրերը իրար, ապա նրանց ձգելու ունակությունները կվերադրվեն: Եթե մագնի-



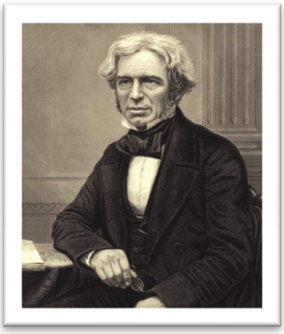
Նկար 1

սական ձողը երկու մասի բաժանենք, ապա կստանանք երկու նոր մագնիս-ներ, սակայն ավելի թույլ: Այս որակական փորձերից կարող ենք եզրակաց-նել (կամ գոնե վարկածել), որ բնության մեջ առկա է գրավիտացիոն և կու-լոնյան փոխազդեցություններից զատ ևս մեկ այլ՝ **մագնիսական փոխազդե-ցություն**: Սակայն պարզ չէ, այն հիմնարա՞ր է, թե ոչ, նո՞ր է և առանձի՞ն, թե՞ այլ հիմնարար փոխազդեցությունների համակցում է: Գրավիտացիայի դեպքում ձգողությունը համարեցինք նյութի անքակտելի հատկություն, էլեկտրական փոխազդեցության դեպքում պատճառը համարեցինք երկու տեսակի լիցքերի գոյությունը, իսկ մագնիսականի դեպքում այդ հարցը մնաց ոչ միայն բաց, այլև տարօրինակ: Նախքան քանակական փորձերին անցնելը բերենք դարձյալ որոշ որակական փաստեր: Երկրագունդն ինքը օժտված է մագնիսական փոխազդեցության հատկությամբ: Իրոք, փոքրիկ բարակ շեղանկյունաձև մագնիսական սլաքը իր ծանրության կենտրոնով անցնող ուղղաձիգ ասեղի վրա տեղադրենք այնպես, որ մնա հորիզոնական վիճակում և ազատ պտտվի ասեղի ծայրին: Այդ սարքը ձեզ ծանոթ կողմնացույցն է, որը եթե պահենք հորիզոնական վիճակում, ապա նրա մի ծայրը միշտ կուղղվի դե-պի հյուսիս, մյուսը՝ հա-րավ, որոնք նշենք հա-մապատասխանաբար N և S տառերով (հյուսիսի և հարավի օտարահունչ անուններից): Այս սլաքիկ-ները միջոց են փորձով ուսումնասիրելու մագնիսական ուժերը և այդպես վարվել են նախկինում: Սակայն մի հանգամանք այդ նպատակի համար ավելի հետևողական ուղի է մատնանշում:



Նկար 2

1820 թ. դանիացի ֆիզիկոս Հ. Էրստեդը կատարեց հետևյալ փորձը: Նա ուղղագիծ հաղորդալարը տեղադրեց մագնիսական սլաքին զուգահեռ: Քա-նի դեռ շղթան բաց էր՝ հոսանք չկար, սլաքը իր դիրքը չէր փոխում, բայց հենց որ շղթան փակվում էր ու հոսանք էր անցնում, սլաքն իր դիրքը փոխում



Ֆարադեյ Մայքլ (1791 - 1867)

Անգլիացի ֆիզիկոս և քիմիկոս:
Էլեկտրամագնիսական դաշտի մասին ուսմունքի հիմնադիրը: Հայտնագործել է էլեկտրամագնիսական մակածման և էլեկտրոլիզի օրենքները:
Էլեկտրական և մագնիսական դաշտի վերաբերյալ նրա գաղափարները մեծ ազդեցություն են ունեցել ֆիզիկայի զարգացման վրա:

փոխում էր և ձգտում հոսանքին ուղղահայաց դիրք գրավել: Ամպերը վերցրեց երկու զուգահեռ հաղորդալար և հոսանք բաց թողեց նրանցով: Պարզվեց, որ երբ հոսանքներն ունեն նույն ուղղությունը, ապա հաղորդիչները ձգում են միմյանց, իսկ երբ նրանք հակուղղված են՝ վանում են: Պարզվեց նաև, որ երբ հաղորդալարերն ուղղահայաց են միմյանց ընդհանրապես չեն փոխազդում, անկախ հոսանքների ուղղությունից:

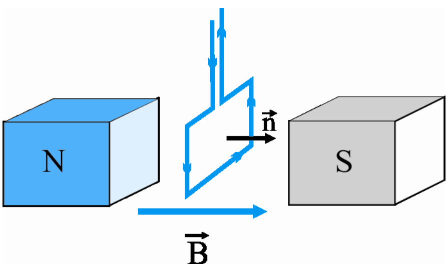
Հաղորդալարին ուղղահայաց երկու ստվարաթղթերից մեկի վրա լցնենք երկաթի խարտուք, մյուսի վրա՝ մագնիսական սլաքներ (նկ. 2):

Հենց որ հոսանքը միացնենք, երկու հարթության վրա էլ կդիտենք կարգավորված դասավորություն՝ համակենտրոն շրջանագծերով: Եթե հոսանքի ուղղությունը փոխենք, պատկերը նույնը կմնա, միայն սլաքները հակառակ ուղղությամբ կլինեն՝ կպտտվեն 180^0-ով: Այս փորձերից հետևում է՝ **ա.** էլեկտրական ու մագնիսական երևույթներն իրար հետ կապված են՝ հոսանքն առաջացնում է մագնիսական դաշտ, **բ.** հոսանքի մագնիսական ազդեցությունը կուլոնյան բնույթ չի կրում, այլապես փոխուղղահայաց հոսանքների փոխազդեցության ուժը 0-ից տարբեր կլիներ, **գ.** ի տարբերություն էլեկտրաստատիկ դաշտի, մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերը միշտ փակ են՝ չեն սկսվում-վերջանում ինչ-որ կետում:

Այս հետևությունները բերում են այն վարկածին, ըստ որի ցանկացած էլեկտրական հոսանք տարածության ամեն կետում ստեղծում է մագնիսական դաշտ, որով էլ ազդում է այդ կետերում այլ հոսանքների վրա: Ենթադրվում էր, որ մագնիսը ևս ստեղծում է մագնիսական դաշտ, որը, էլեկտրաստատիկ դաշտի նմանությամբ, իրագործում է մերձազդեցություն: Սա նշանակում է, որ անշարժ լիցքերը փոխազդում են կուլոնյան դաշտով, իսկ շարժվող լիցքերը (հոսանքները)՝ մագնիսական դաշտով: Ըստ այդ վարկածի, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը ստեղծվում են միևնույն լիցքերից շարժման տարբեր վիճակների դեպքում: Քանի որ շարժումը հարաբերական է, ուրեմն հարաբերական է նաև դաշտերի էլեկտրական և մագնիսական բնույթ ունենալը: Այլ կերպ ասած, ինչ-որ կապ ևս պետք է լինի այդ դաշտերի միջև: Դատողությունը հետևյալն է: Հավասարաչափ շարժվող վագոնի պատին ամրացված լիցքը, ըստ նստած ուղևորի չափումների, չի ստեղծում մագնիսական դաշտ, այլ ստեղծում է միայն կուլոնյան դաշտ: Այնինչ կառամատույցում գտնվող դիտորդի համար լիցքը շարժվում է՝ ստեղծելով մագնիսական դաշտ: Իսկ իրականությունը մեկն է: Այս պարզ օրինակը հիմք ծառայեց ոչ միայն ֆիզիկայի, այլև մարդկային քաղաքակրթության հետագա զարգացման համար:

Այս գլխում կնկարագրենք միայն մագնիսական փոխազդեցության տարրերը:

Էլեկտրական դաշտի նկարագրման ժամանակ մենք չգիտեինք ինչպե՞ս է չափվելու դաշտ ստեղծողը՝ լիցքը: Մագնիսական դաշտի դեպքում մենք գիտենք, որ այն առաջացնում է էլեկտրական հոսանքը, որը չափել գիտենք: Մագնիսական դաշտը բնութագրելու համար կարող ենք վարվել ճգողության և էլեկտրական դաշտերի նմանությամբ, եթե նյութական կետի կամ կետային լիցքի նմանակը համարենք **հոսանքի փոքր կտորը**՝



Նկար 3

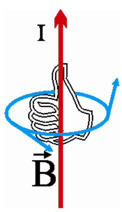
$I\Delta\vec{l}$, կամ համարժեք կերպով **հոսանքի փոքր շրջանակը,** որը պատկերված է նկ. 3-ում և չափման համար ավելի հարմար է: Էլեկտրաստատիկայում մենք նախ գտել ենք **երկու կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժը**՝ Կուլոնի օրենքը, դրանից ստացել ենք **տրված կետային լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածությունը** և դրանցից էլ որոշել ենք **կետային լիցքի վրա դաշտի ազդող ուժը**: Դա հետևողական ու տրամաբանորեն կապակցված եղանակ է:

Մագնիսաստատիկայում ևս կարող ենք նախ գտնել **երկու «հոսանքի կտորների» փոխազդեցության ուժը** (որը Ամպերի օրենք է կոչվում), դրանից ստանանք **տրված հոսանքի կտորի ստեղծած դաշտի ուժային բնութագիրը՝ *մագնիսական ինդուկցիան*** (այն կրում է «Բիո-Սավար-Լապլասի օրենքը» անունը): Եվ դրանից էլ կորոշենք **հոսանքի կտորի վրա մագնիսական դաշտի ազդող ուժը** (որը ևս կրում է Ամպերի անունը):

Երկու դեպքում էլ օրենքների եռյակը դաշտերի վերադրման սկզբունքի հետ միասին կազմում են տրամաբանական կուռ կառուցվածք: Էլեկտրաստատիկայում մենք նաև հարկադրված էինք այդպես վարվելու, քանի որ հայտնի չէին էլեկտրական մեծությունները: Մագնիսաստատիկայում մեզ արդեն իսկ հայտնի են գրեթե բոլոր դերակատար մեծությունները: Ուստի նշված օրենքները կարող ենք գտնել նաև միմյանցից անկախ, զուգահեռաբար: **Բազմազանության համար** այդպես էլ կվարվենք՝ շեղվելով հետևողական եղանակից:

Մագնիսական դաշտը բնութագրող մեծություն համարենք «հոսանքի միավոր կտորի» վրա ազդող առավելագույն ուժը, որն անվանենք **մագնիսական դաշտի ինդուկցիա**՝ $\vec{B}$: Կամ համարժեքորեն մագնիսական դաշտի ինդուկցիա համարենք «հոսանքի միավոր շրջանակի» վրա ազդող ուժի առավելագույն $\vec{M}$ մոմենտը: Ինդուկցիայի B մոդուլը կլինի.

$$B = \frac{F_{max}}{I\Delta l}, \text{ կամ } B = \frac{M_{max}}{IS}, \qquad (1)$$



Նկար 4

որտեղ S-ը շրջանակի մակերեսն է, Δl -ը հաղորդալարի կտորի երկարությունը: Միավորների ՄՀ-ում ինդուկցիայի միավորը Տեսլան է. 1Տլ այն համասեռ դաշտի ինդուկցիան է, որը 1Ա հոսանքով 1մ երկարությամբ ուղղագիծ հաղորդիչի վրա ազդում է 1Ն առավելագույն ուժով՝ 1Տլ=1Ն/1Ա · 1մ=Ն/Ա · մ :

Ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը որոշվում է հետևյալ կանոնով. **Եթե աջ ձեռքի բացված բթամատն ուղղենք հոսանքի ուղղությամբ, ապա հաղորդիչը պարուրող չորս մատները ցույց կտան մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը կամ եթե խցանահանի սայրի շարժման ուղղությունը համընկնի հոսանքի ուղղության հետ, ապա նրա բռնակի պտտման ուղղությունը կհամընկնի մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղության հետ *(նկ. 2-ի սլաքին մասի խցանահանը)*:**

*Ինչպես տեսնում ենք, մագնիսական դաշտի **ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը** հիշեցնում է «կինեմատիկա» գլխում սահմանված **վեկտորական արտադրյալի ուղղությունը**: Դա իրոք այդպես է, որը կարելի է ստանալ որոշ մաթեմատիկական ձևափոխությունների ենթարկելով փորձի հետևյալ արդյունքները: Փոխուղղահայաց հոսանքների ազդեցության ուժը 0 է և նաև հոսանքին զուգահեռ մագնիսական դաշտի ազդեցությունն է 0: Իսկ քանակական չափումները ցույց կտան, որ հոսանքի $I\Delta\vec{l}$ կտորից $\vec{R}$ շառավիղ-վեկտորով տրվող կետում ճիշտ են համեմատականությունները.*

$$B\sim\frac{I\Delta l}{R^2}\sin\alpha, \qquad (2)$$

որտեղ α-ն հոսանքի և $\vec{R}$-ի կազմած անկյունն է: Այս արտահայտությունը նմանակն է էլեկտրական դաշտի լարվածության բանաձևի, եթե փոխարինենք կետային լիցքը հոսանքի կտորով, էլեկտրական ε_0 հաստատունը մագնիսական μ_0 հաստատունով, իսկ սկալյար արտադրյալն էլ վեկտորական «×» արտադրյալով.

$$\vec{B}=\frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{I\Delta\vec{l}}{R^2}\times\frac{\vec{R}}{R}: \qquad (3)$$

*(3) բանաձևը կրում է Բիո-Սավար-Լապլասի անունը և տրված հոսանքի դաշտի ինդուկցիան հաշվելու միջոցն է այնպիսին, ինչպիսին է **§24-ի** (1) բանաձևը էլեկտրական դաշտի համար:*

Մագնիսական դաշտի համար ևս տեղի ունի **վերադրման սկզբունքը**. ***Հոսանքի կտորների համրույթի ստեղծած արդյունարար ինդուկցիան հավասար է առանձին հոսանքի կտորների ստեղծած ինդուկցիաների վեկտորական գումարին:***

Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերը, ինչպես նշել ենք, փակ են, ոչ մի տեղից չեն սկսվում և չեն վերջանում ոչ մի տեղ: Դա նշանակում է, որ չկան (կամ գոնե դեռևս չեն դիտվել) մագնիսական լիցքեր, իսկ մագնիսական դաշտը ստեղծվում է հոսանքից՝ շարժվող լիցքից: Այդպիսի փակ ուժագծերով ուժային դաշտը կոչվում է մրրկային: Մրրկային դաշտում, ի տարբերություն պոտենցիալային դաշտի, լիցքի տեղափոխման ժամանակ կատարված աշխատանքը կախված է հետագծի ձևից, այսինքն, փակ հետագծով շարժման դեպքում կատարված աշխատանքը 0 չէ:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք մագնիսական փոխազդեցության գաղափարն ու բնույթը:
2. Հասկացե՞լ եք մագնիսական դաշտի տարբերությունները կուլոնյան դաշտից:
3. Յուրացրե՞լ եք մագնիսական ինդուկցիայի գաղափարը:
4. Ըմբռնե՞լ եք մագնիսական դաշտի մրրկային բնույթը:

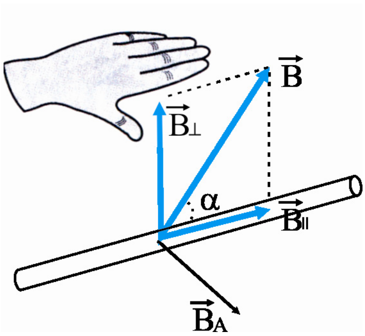
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք մագնիսական ուժերի առկայությունը հաստատող փորձեր և ըստ դրանց հիմնավորե՛ք մագնիսական դաշտի նոր փոխազդեցություն լինելը:
2. Բացատրե՛ք նկ. 1-ում և նկ. 2-ում ներկայացված փորձերից բխող եզրակացությունները:
3. Նկարագրե՛ք մագնիսական դաշտի ինդուկցիան և համեմատե՛ք էլեկտրական դաշտի լարվածության հետ:
4. Ձևակերպե՛ք վերադրման սկզբունքը մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի համար:

§ 29. Մագնիսական դաշտի ազդեցությունը շարժվող լիցքերի վրա: Լորենցի ուժ: Ամպերի օրենքը: Էլեկտրամագնիսական մակածում

Մենք սովորեցինք, թե հաստատուն հոսանքի ուղղագիծ կտորը ինչպիսի ինդուկցիայով մագնիսական դաշտ է ստեղծում: Այժմ ուսումնասիրենք դաշտի ազդեցությունը հոսանքի կտորի վրա: Այդ նպատակով կատարենք մի շարք փորձեր: $B_\perp$ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում ուժագծերին ուղղահայաց տեղադրենք $I\Delta\vec{l}$ հոսանքի կտոր և կտեսնենք, որ դաշտը ազդում է հոսանքի կտորի վրա: Փոփոխելով $B_\perp$, I և Δl մեծությունները և ամեն անգամ չափելով ազդող ուժի F մոդուլը՝ կհամոզվենք, որ

$$F = B_\perp I\,\Delta l: \qquad (1)$$



Նկար 1

Եթե $\vec{B} \parallel I\Delta\vec{l}$, այսինքն, հոսանքի տարրը լինի զուգահեռ ինդուկցիային, ապա ուժը կլինի 0: Հիմա դիտարկենք ընդհանուր դեպք, երբ դաշտի և հոսանքի կազմած անկյունը α է, այսինքն, $\vec{B} = (B_\parallel,\ B_\perp)$, ինչպես ցույց է տրված նկ.1-ում:

Չափումները ցույց կտան, որ, անկախ $B_\parallel$-ի արժեքից, հաղորդիչի վրա ազդող ուժը որոշվում է

$$F_{\text{Ա}} = B_\perp I\,\Delta l = BI\Delta l\sin\alpha, \qquad (2)$$

բանաձևով, որն արտահայտում է Ամպերի օրենքը. **Համասեռ մագնիսական դաշտը ուղիղ հաղորդիչի Δl տեղամասի վրա ազդում է այնպիսի ուժով, որի մոդուլը հավասար է ինդուկցիայի մոդուլի, հոսանքի ուժի, Δl -ի և նրանցով կազմված անկյան սինուսի արտադրյալին**: Ամպերի ուժի ուղղությունը որոշվում է ձախ ձեռքի կանոնով. **եթե ձախ ձեռքը պահենք այնպես, որ ինդուկցիայի գծերը մտնեն ձեռքի ափը, իսկ մատները ուղղենք**

հոսանքով, ապա բացված բութ մատը ցույց կտա Ամպերի ուժի ուղղությունը (նկ. 1):

Այս երկու չնակերպումը հակիրճ ներկայացվում են վեկտորական տեսքով.

$\vec{F}_U = I\Delta\vec{l} \times \vec{B}$: (3)

Որոշենք երկու հոսանքակիր հաղորդիչների փոխազդեցության ուժը: Հոսանքի $I_1\Delta\vec{l}_1$ տարրը իր նկատմամբ $\vec{R}$ կետում ստեղծում է $\vec{B}$ ըստ §28-ի (3) բանաձևի, որն այդ կետում գտնվող մյուս հոսանքի $I_2\Delta\vec{l}_2$ տարրի վրա ազդում է $\vec{F}_{12}$ ուժով ըստ (3)-ի: Ուստի երկու հոսանքակիր հաղորդիչ տարրերի փոխազդեցության ուժը կլինի.

$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{I_2\Delta\vec{l}_2 \times (I_1\Delta\vec{l}_1 \times \vec{R}_{12})}{{R_{12}}^3}$: (4)

(3) և (4) բանաձևերը բերված են համեմատելու համար Կուլոնի (ինչպես և գրավիտացիայի ձգողության) օրենքը Ամպերի օրենքի հետ: Այդ համեմատումից տեսնում ենք, որ մագնիսական փոխազդեցության դեպքում լիցքի և զանգվածի դերում հանդես է գալիս (ուղղորդված) հոսանքի կտորը, իսկ սկալյար արտադրյալի փոխարեն՝ վեկտորական արտադրյալը: Մնացած առումներով նշված օրենքները չնականորեն միանման են:

(4)-ից ընդհանուր դեպքում բխում է $\vec{F}_{12} \neq -\vec{F}_{21}$: Դա նշանակում է, որ մագնիսական դաշտն օժտված է նաև իմպուլսով:

Դիցուք q լիցքով N հատ լիցքակիր կատարում են $\vec{v}$ արագությամբ կարգավորված շարժում՝ առաջացնելով I հոսանք: Այդ հոսանքի վրա մագնիսական դաշտը ազդում է F_U ուժով: Մեկ լիցքակիրի վրա ազդող ուժը կլինի F_U/N, որը կոչվում է **Լորենցի ուժ**: Ոչ բարդ հաշվումները ցույց են տալիս, որ Լորենցի ուժի մոդուլը հավասար է.

$F_L = qvB\sin\alpha$, (5)

որտեղ α -ն $\vec{v}$-ի և $\vec{B}$-ի կազմած անկյունն է:

Քանի որ դրական լիցքի առաջացրած հոսանքն ունի լիցքի շարժման ուղղությունը, ապա նրա վրա ազդող Լորենցի ուժն ունի Ամպերի ուժի ուղղությունը, իսկ բացասական լիցքի դեպքում՝ հակառակ ուղղությունը:

Լորենցի ուժն ազդում է միայն շարժվող լիցքի վրա, այն էլ նրա շարժմանը ուղղահայաց ուղղությամբ, ուստի աշխատանք չի կատարում և կինետիկ էներգիա չի հաղորդում լիցքավորված մասնիկին: Սակայն Լորենցի ուժը կարող է հանդես գալ որպես կենտրոնաձիգ ուժ և մասնիկին հաղորդել պտտական շարժում, այնպես, ինչպես Արեգակը մոլորակներին:

Մաքսվել Ջեյմս Քլարկ (1831 - 1879)

Անգլիացի ֆիզիկոս, դասական էլեկտրադինամիկայի ստեղծող: Ցույց է տվել, որ լույսն ունի էլեկտրամագնիսական բնույթ և որ էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունը վակուումում հավասար է լույսի արագությանը: Մաքսվելը նաև վիճակագրական ֆիզիկայի հիմնադիրներից է: Հայտնաբերել է իդեալական գազի մոլեկուլների ըստ արագությունների բաշխման օրենքը:

§27-§28-ում սովորեցինք, որ ԷլՇՈՒ-ն առաջացնում է հոսանք, որն էլ իր հերթին՝ մագնիսական դաշտ: Իսկ հակառակը հնարավո՞ր է, այսինքն, մագնիսական դաշտը կարո՞ղ է առաջացնել ԷլՇՈՒ: ԷլՇՈՒ ստանալու համար պետք են կողմնակի ուժեր և մրրիկային դաշտ: Քանի որ մագնիսական դաշտը մրրիկային է, ապա կողմնակի ուժերի առկայությամբ հնարավոր կլինի ստանալ ԷլՇՈՒ: Այդ նպատակով անվանի ֆիզիկոս Մ. Ֆարադեյը կատարեց փորձեր և 1831 թ. բացահայտեց էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի՝ մակածման երևույթը: Նա հայտնաբերեց, որ մագնիսական ինդուկցիայի հոսքի փոփոխությունն է մակածում ԷլՇՈՒ: Համասեռ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորի Φ հոսքը $\vec{B}$-ին ուղղահայաց S մակերեսով դա $\Phi=BS$ արտադրյալն է, իսկ $\vec{B}$-ին զուգահեռ S մակերեսով 0 է: Փորձով հաստատվեց, որ Φ հոսքի $\Delta\Phi$ փոփոխությունը S մակերեսը պարուրող կոնտուրում մակածում է ε մեծությամբ ԷլՇՈՒ.

$$\mathcal{E}=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}: \qquad (6)$$

(5)-ում (–) նշանը որոշում է մակածված ԷլՇՈՒ-ի ուղղությունը, որը փորձով պարզեց Լենցը: Նա ուղղաձիգ ասեղի ծայրին տեղադրեց իրար համակշռող օղակներով ձող (նկ. 2): Օղակներից մեկի վրա արված էր փոքր կտրվածք, ուստի նրանով հոսանք չէր կարող անցնել: Երբ Լենցը լրիվ օղակին մոտեցրեց մագնիսը, օղակը հեռացավ մագնիսից, իսկ երբ մագնիսը հեռացրեց օղակից՝ օղակը հետևեց մագնիսին: Օղակը ձգտում է որպեսզի իր մեջ ինդուկցիայի հոսքի փոփոխություն չլինի, այսինքն օղակում մակածված ԷլՇՈՒ-ի առաջացրած հոսանքն իր մագնիսական ինդուկցիայի հոսքով ձգտում է համակշռել մակածող հոսքի փոփոխությունը:

Նկար 2

Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի նշանակությունը հիմնարար էր ոչ միայն ֆիզիկայի, այլև ողջ քաղաքակրթության համար: Այդ պատճառով այս երևույթն ու նրա որոշ կիրառություններ ավելի հանգամանորեն կուսումնասիրենք Ֆիզիկա-11-ում:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: *Համասեռ մագնիսական դաշտի $\vec{B}$- ինդուկցիային ուղղահայաց ձախ կողմից դաշտ են մտնում դրական լիցքավորված երկու մասնիկ՝ պրոտոն (q, m) և α -մասնիկ (2q, 4m), իսկ աջ կողմից՝ էլեկտրոն $(-q, m_e)$: Ինչպիսի՞սի շարժում կկատարեն մասնիկները, եթե նրանց՝* ***ա.*** *արագության մոդուլները հավասար են,* ***բ.*** *կինետիկ էներգիաներն են հավասար:*

Լուծում: *Այդ մասնիկների վրա կազդի Լորենցի ուժը, որի $F=qvB$ մոդուլը հաստատուն է, իսկ ուղղությունը որոշվում է ձախ ձեռքի կանոնով և միշտ ուղղահայաց է նրանց արագությանը, ուստի կենտրոնաձիգ ուժ է: Մեխանիկայից գիտենք, որ կենտրոնաձիգ ուժի* *ազդեցությամբ m զանգվածով մասնիկը կկատարի հավասարաչափ շարժում շրջանագծով, մեր դեպքում ժամսլաքի ուղղությամբ: Գրենք շարժման հավասարումը.*

$$ma_n = m\omega^2 R = mv^2/R = F = qvB, \qquad (7)$$

որտեղ R-ը պտտման շառավիղն է, իսկ ω անկյունային արագության, գծային v արագության ու E կինետիկ էներգիայի կապը հետևյալն է.

$$v = \omega R = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{2E}{m}}: \qquad (8)$$

որտեղ T-ն պտտման պարբերությունն է: (7)-ից և (8)-ից հետևում են առնչությունները.

$$\omega = \frac{q}{m} B, \ R = \frac{m}{q}\frac{v}{B}: \qquad (9)$$

(9) բանաձևերը, չնայած կամայական (q, m) մասնիկների համար են ստացված, բայց մեր խնդրում վերաբերում են պրոտոնին, քանի որ նրա պարամետրերը նշանակել ենք հենց (q, m): (8)-ից և (9)-ից հետևում է՝ ա. դեպքում α -մասնիկի շառավիղն ու պարբերությունը 2 անգամ մեծ է, իսկ էլեկտրոնինն էլ m_e/m անգամ փոքր է, քան պրոտոնինը, բ. դեպքում ω -ն և T-ն կլինեն նույնը, ինչ ա. դեպքում, α -մասնիկի և պրոտոնի շառավիղները կհավասարվեն, իսկ էլեկտրոնի շառավիղը կկազմի պրոտոնի շառավղի $\sqrt{m_e/m}$ մասը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք Ամպերի օրենքը:
2. Ըմբռնե՞լ եք Լորենցի և Ամպերի ուժերի կապը:
3. Յուրացրե՞լ եք երկու հոսանքների փոխազդեցությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՛ք Ամպերի օրենքը և ձախ ձեռքի կանոնը:
2. Նկարագրե՛ք Լորենցի ուժը և նրա ուղղությունը որոշելու ձևը:
3. Բացատրե՛ք երկու հոսանքների փոխազդեցությունը:

4. Ցույց տվե՛ք, որ ձախ ձեռքի կանոնը համարժեք է վեկտորական արտադրյալի ուղղության որոշելուն, նաև «աջ ձեռքի բութ մատի» կանոնին:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. Որքա՞ն է այն համասեռ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մոդուլը, որում 0,05 մ երկարությամբ ուղղագիծ հաղորդիչի վրա ազդող առավելագույն ուժը 0,05 Ն է: Հոսանքի ուժը հաղորդիչում 25 Ա է:
2. Ուղիղ հոսանքակիր հաղորդիչը տեղադրված է համասեռ մագնիսական դաշտում այնպես, որ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորն ուղղահայաց է հաղորդալարին: Քանի՞ անգամ կփոքրանա մագնիսական դաշտի կողմից հոսանքակիր հաղորդիչի վրա ազդող ուժը, եթե հաղորդալարը պտտենք այնպես, որ այն մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի հետ կազմի 30՛ անկյուն:
3. Հորիզոնական դիրքում գտնվող 2 մ երկարությամբ ուղիղ հոսանքակիր հաղորդալարով, որի զանգվածը 4 կգ է, անցնում է 2 Ա հոսանք: Հաղորդալարը գտնվում է հորիզոնական ուղղված համասեռ մագնիսական դաշտում, որի ինդուկցիայի գծերն ուղղահայաց են հաղորդալարին: Որքա՞ն պետք է լինի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը, որպեսզի հաղորդալարը գտնվի կախված վիճակում:
4. Հորիզոնական հարթության մեջ գտնվող ուղղանկյունաձև կոնտուրի մի կողմը կարող է շարժվել: Շարժական կողմի երկարությունը 0,2 մ է, զանգվածը՝ 0,5 կգ, շփման գործակիցը՝ 0,2: Կոնտուրով անցնում է 5 Ա հոսանք: Կոնտուրը գտնվում է իր հարթությանն ուղղահայաց 5 Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում:
   ա. Որքա՞ն է շարժական կողմի վրա ազդող Ամպերի ուժը:
   բ. Որքա՞ն է մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի այն փոքրագույն արժեքը, որի դեպքում այդ կողմը կշարժվի:

5. Ի՞նչ ուժով է ազդում $6 \cdot 10^{-3}$ Տլ ինդուկցիայով մագնիսական դաշտը $3 \cdot 10^{-5}$ Կլ լիցքով մասնիկի վրա, որի արագությունը 10^{5} մ/վ է և ինդուկցիայի վեկտորի ուղղության հետ կազմում է 30՛ անկյուն:

6. Էլեկտրական դաշտի կողմից լիցքավորված մասնիկի վրա ազդող ուժը քանի՞ անգամ է մեծ մագնիսական դաշտի կողմից ազդող ուժից, եթե էլեկտրական դաշտի լարվածությունը $1{,}5 \cdot 10^{3}$ Վ/մ է, իսկ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան՝ 0,1 Տլ: Լիցքավորված մասնիկի շարժման արագությունը 200 մ/վ է և ուղղահայաց է մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերին:

7. Ինդուկցիայի գծերին ուղղահայաց համասեռ մագնիսական դաշտ են մտնում պրոտոնը և ալֆա մասնիկը: Քանի՞ անգամ է ալֆա մասնիկի շարժման արագությունը մեծ պրոտոնի շարժման արագությունից, եթե մագնիսական դաշտի կողմից ալֆա մասնիկի վրա ազդող ուժը 8 անգամ մեծ է պրոտոնի վրա ազդող ուժից: α մասնիկի լիցքը $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Կլ է:

8. Որքա՞ն է $3 \cdot 10^{-3}$ Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում շարժվող պրոտոնի արագացումը, եթե այն մագնիսական դաշտ է մտնում ինդուկցիայի գծերին ուղղահայաց 2 մ/վ արագությամբ: Պրոտոնի լիցքի հարաբերությունը զանգվածին ընդունել 10^{8} Կլ/կգ:

9. Էլեկտրոնը $1{,}6 \cdot 10^{7}$ մ/վ արագությամբ շարժվում է 0,01 Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում, ինդուկցիայի գծերին ուղղահայաց ուղղությամբ:

ա. Որքա՞ն է էլեկտրոնի վրա մագնիսական դաշտի կողմից ազդող ուժը:

բ. Որքա՞ն է էլեկտրոնի հետագծի շառավիղը:

10. Էլեկտրոնը 0,02 Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում շարժվում է շրջանագծով՝ ունենալով $14{,}4 \cdot 10^{-21}$ կգ.մ/վ իմպուլս:

ա. Որքա՞ն է էլեկտրոնի վրա մագնիսական դաշտի կողմից ազդող ուժը:

բ. Որքա՞ն է էլեկտրոնի հետագծի շառավիղը:

Ամփոփում

Միջին դպրոցի ֆիզիկայի դասընթացներում ծանոթացել եք բնության մի շարք հետաքրքիր երևույթների և էմպիրիկ օրենքների հետ, նաև ֆիզիկայի հիմնական հասկացությունների, գաղափարների և մեծությունների հետ: Սակայն դա արվել է փաստարկման մակարդակով՝ չհամակարգված ու չմեկնաբանված կերպով:

Ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի 10-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասագրքում մենք ներկայացրեցինք մեխանիկայի տարրերը և էլեկտրադինամիկայի մի մասը՝ էլեկտրաստատիկան ու մագնիսաստատիկան: Մեր նպատակն է եղել հաղորդել աշակերտին ոչ թե ֆիզիկա գիտությունն, այլ այն մտածելակերպն ու մեթոդները, որոնցով ստեղծվել է ֆիզիկան և որոնք կիրառելի են բոլոր գիտությունները, այդ թվում հումանիտար, մշակելիս ու զարգացնելիս:

Բնականաբար, այդօրինակ նպատակը պահանջել է շարադրանքի որոշակի խորություն, հետևողականություն և լրիվություն: Նույնիսկ եթե աշակերտը նյութը կամ ֆիզիկական արդյունքները չյուրացնի, միևնույն է, կծանոթանա և կիմանա ֆիզիկայի հիմնական օրենքները, երևույթները, հասկացություններն ու մեծությունները: Նա նաև կկարողանա վերլուծել ֆիզիկական պարզագույն երևույթներ ու լուծել խնդիրներ, մտածել փորձեր և նրանցից հետևություններ անել:

Այնուհանդերձ, 21-րդ դարում դա բավարար չէ, քանի որ օրըստօրե աճում է բնական ու ճշգրիտ գիտությունների, հատկապես ֆիզիկայի ներթափանցումը հումանիտար գիտությունների ոլորտ: Այսօր հնագիտությունը, տնտեսագիտությունը, սոցիոլոգիան, լեզվագիտությունը և շատ այլ հումանիտար գիտություններ իրենց նորույթները ստանում են կամ մեկնաբանում են ֆիզիկայում զարգացված մեթոդների օգտագործմամբ: Եվ արդի մարդը, նախ և առաջ աշակերտը, պետք է պատրաստ լինի դրան՝ ունենալով լայն մտահորիզոն ու հստակ մտածելակերպ: Սույն դասագիրքը մասամբ ծառայում է նաև այդ նպատակին: Այս առումով խորհուրդ ենք տալիս, որպես լրացուցիչ նյութ, կարդալ Լ. Ս. Ասլանյան, Հ. Ս. Կարայան «Ժամանակակից բնագիտության հայեցակարգերը» դասագիրքը (Երևան, ԵՊՀ հրատ.

2011) և «Գիտության Աշխարհում» գիտահանրամատչելի հանդեսը (գլխ. խմբագիր՝ Է.Մ. Ղազարյան):

Վերջապես, 10-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասագիրքը նաև հիմք է ստեղծում 11-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասագրքում ներկայացնելու աշխարհի մասին արդի պատկերացումները, գիտատեխնիկական զարգացման հեռանկարները ու հիմնական ուղղությունները: Այդ հարցերում զգալի դերակատարում կարող են ունենալ այս դասագրքից ձեռք բերված մտածելակերպային ու մեթոդական որոշակի գիտելիքները ու հմտությունները:

Բարի երթ ու զարգանալու նոր հնարավորություններ մատաղ սերնդին 21-րդ դարում:

Խնդիրների պատասխանները.

Գլուխ 2.

1. սինուսոիդ: **2.** 5մ: **3.** 2R մ: **4.** 3մ: **5.** չեն հանդիպի: **6.** 80կմ/ժ, երկրորդ մարմնի արագության ուղղությամբ: **7.** $(v_1 + v_2)/2$: **8.** $S_X=2t-3t^2/2$: **9.** 7մ: **10.** 3ռադ/վ, 0.6 մ/վ: **11.** $5\sqrt{2}$ մ/վ: **12.** կմեծանա 4 անգամ:

Գլուխ 3.

1. $(\rho_1V_1+ \rho_2V_2)/V$: **2.** 5 մ/վ^2: **3.** կմեծանա 4 անգամ: **4.** 1.6 Ն: **5.** 0.05 կգ: **6.** $F_{առ} = mg + mg$: **7.** ուղղաձիգ դեպի վեր: **8.** 5 Ն: **9.** 20Ն: **10.** $a_1 = 8a_2$: **11.** 0.49Ն: **12.** 2R: **13.** երեք մարմիններն էլ շարժվում են նույն արագացումով: **14.** 40: **15.** 0.98Ն, 1.697Ն : **16.** 8մ/վ^2, 2մ/վ2: **17.** 20 սմ 400Ն: **18.** 20 սմ

Գլուխ 4.

1. $5\sqrt{2}$ կգմ/վ, 0: **2.** 96 կՋ: **3.** 345.7 Ջ: **4.** 1.7 մ/վ^2: **5.** 1.8 Ն, 100 Ջ: **6.** 6 կգմ/վ: **7.** 4: **8.** 576.24 Ջ, 1055.46 Ջ: **9.** 25.51 կգ: **10.** 21.5 Վտ: **11.** 10 մ/վ: **12.** 40մ: **13.** 78.4 Ջ, 8.4 մ/վ : **14.** 18.75 Ջ: **15.** 2.5 մ/վ: **16.** 50 կգ մ/վ, 625 Ջ: **17.** 12.348 Ջ, 1.4 կգ մ/վ:

Գլուխ 5.

1. 36.000 : **2.** 300: **3.** 0.02 ռադ/վ: **4.** 0.8 մ: **5.** 1.265 մ: **6.** 0.98 մ: **7.** 2.25: 8. 0.09 մ: **9.** 26 մ/վ^2: **10.** 0.098 Ջ: **11.** 4.5: **12.** 495 մ:

Գլուխ 6.

1. 10^{10} : **2.** 10^{-6} Կլ: **3.** $18\cdot10^3$ Ն: **4.** $3.92\cdot10^{-6}$ Կլ: **5.** 4: **6.** 25 Ն/Կլ: **7.** 0.02 մ: **8.** 10^{-3} Ն, $18\cdot10^{-3}$ մ: **9.** $42\cdot10^{-4}$ Ջ : **10.** 18 Ջ:

Գլուխ 7.

1. 0.4 Կլ: 2. 25 Կլ: **3.** 2·1017: **4.** 6: **5.** 4, 320 օմ: **6.** 5 օմ: **7.** 3 օմ, 2 օմ: **8.** 240 օմ: **9.** 11: **10.** 50%:

Գլուխ 8.

1. 0.04 Տլ: **2.** 2: **3.** 10 Տլ: **4.** 5 Ն, 1 Տլ: **5.** $9\cdot10^{-3}$ Ն: **6.** 75: **7.** 4: **8.** 6·105 մ/վ^2: **9.** $2.56\cdot10^{-14}$ Ն, $9\cdot10^{-3}$ մ: **10.** $5.12\cdot10^{-11}$ Ն, 4.5 մ:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Գլուխ 8. Մագնիսաստատիկա

ԿԱՐԱՅԱՆ ՀԱՄԼԵՏ ՍՈՒՐԵՆԻ
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ

ՖԻԶԻԿԱ 10
Ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար

Ընդհանուր խմբագրությամբ՝
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ռ. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆԻ

Հրատարակիչ-տնօրեն՝ Ս. Զունգուրյան
Սրբագրիչ՝ Ծ. Հովհաննիսյան
Համակարգչային ձևավորող՝ Հ. Աբելյան

Չափսը՝ 70x100 1/16:
Թուղթը՝ օֆսոր: Տպագրությունը՝ օֆսեթ:
11 տպ. մամուլ: Պատվեր՝ 1306:

«ԱՍՏՂԻԿ ԳՐԱՏՈՒՆ» հրատարակչություն
0009, Երևան, Գևորգ Քոչարի փ. 21
Հեռ.՝(+374 10) 52-88-00, E-mail: ast_gratun@yahoo.com

Տպագրված է «ՏԻԳՐԱՆ ՄԵԾ» ՓԲԸ տպարանում