

Դոպլերի էֆեկտը և կիրառությունները

Ավստրիացի ֆիզիկոս Բրիստիան Իոհան Դոպլերը (1803-1853) դեռևս Պրահայում ուսուցանելու տարիներին հետաքրքրված էր մի երևույթի ուսումնասիրությամբ: Կանգնած լինելով կայարանի կառամատույցում՝ նա նկատեց, որ մոտեցող գնացքի ձայնը նույն հեռավորության վրա ավելի ուժեղ է, քան հեռացող գնացքինը: Հետագայում նա ցույց տվեց, որ լույսի աղբյուրի շարժումը պետք է ազդեցություն ունենա դիտողի կողմից գրանցվող լուսային ալիքների հաճախության վրա: Բայց այդ ժամանակ Դոպլերի տեսությունը ենթարկվեց խիստ քննադատության, և երկար տարիներ, ընդհուպ մինչև մահը, Դոպլերը չկարողացավ հասնել իր հայտնաբերած երևույթի համընդհանուր ճանաչման:

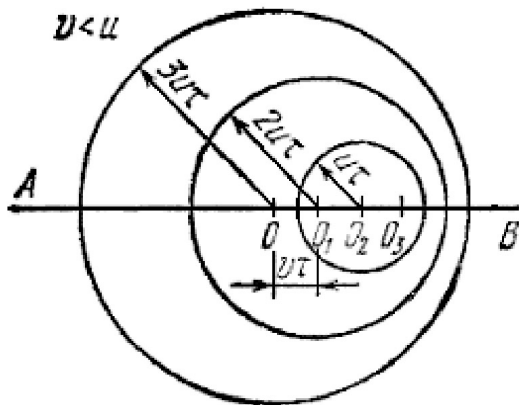
Մահմանում. Ալիքների ընդունված հաճախության փոփոխությունը, ալիքի աղբյուրի և ընդունիչի՝ շրջակա միջավայրի նկատմամբ շարժման դեպքում կոչվում է Դոպլերի էֆեկտ:

Դոպլերի էֆեկտը մի երևույթ է, որը հետագոտում է, թե ինչ է տեղի ունենում, երբ ալիքների աղբյուրը շարժվում է ընդունիչի նկատմամբ: Դոպլերի էֆեկտը կարելի է մեկնաբանել որպես ալիքների շարժվող աղբյուրից ստացված արդյունք: Շարժման ժամանակ, երբ ալիքների աղբյուրը և ընդունիչը մոտենում են միմյանց, ապա ընդունիչը արձանագրում է ալիքների հաճախության մեծացում, իսկ իրարից հեռանալիս տեղի է ունենում հաճախության փոքրացում: Դոպլերի էֆեկտը կարելի է հետագոտել ձայնային, լուսային, ջրային և այլ ալիքների համար:

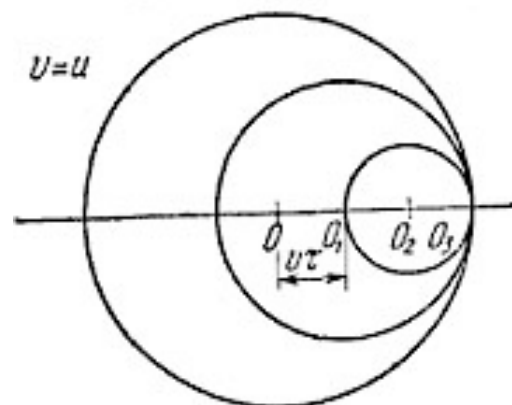
Հետագոտությունները սկսենք ջրային ալիքներից և դիտարկենք հետևյալ պարզ օրինակը: Ենթադրենք՝ նավակը անշարժ կանգնած է գետի մեջ: Միավոր ժամանակում նրան հարվածում են որոշակի թվով ալիքներ: Երբ նավակը սկսում է շարժվել գետի հոսանքին հակառակ ուղղությամբ, նրան միավոր ժամանակում հարվածող ալիքների թիվը մեծանում է: Իսկ երբ նավակը շարժվում է գետի հոսանքի ուղղությամբ, ապա կնկատենք, որ այս դեպքում ավելի քիչ ալիքներ են հարվածում նավակին:

Չայնային ալիքների պարզ օրինակներ են վերը նշված կայարան մտնող գնացքը, ձայնային ազդանշանը միացրած սուլացող շտապօգնության մեքենան:

Փորձենք մանրամասնորեն մեկնաբանել Դուպլերի տեսությունը ձայնային ալիքների համար: Դիցուք, ալիքներ արձակող աղբյուրը սկսում է հավասարաչափ շարժվել O կետից v արագությամբ՝ անընդհատ առաջացնելով տատանումներ: Ենթադրենք՝ աղբյուրի v արագությունը չի գերազանցում ալիքի u արագությունը: Այս դեպքում ալիքի ճակատը կունենա սֆերայի տեսք, իսկ ալիքի կենտրոնը կհամընկնի աղբյուրի շարժման սկզբնակետի հետ, քանի որ հետագա բոլոր գրգռումների հետքերը գտնվում են սֆերայի ներսում: Շարժվող աղբյուրի արձակած տատանումները դիտարկենք հավասար τ ժամանակահատվածների դեպքում: Դիցուք, O_1 , O_2 և O_3 կետերը համապատասխանում են աղբյուրի դիրքերին τ , 2τ և 3τ ժամանակի պահերին: Նշված կետերից յուրաքանչյուրը կարելի է դիտարկել որպես աղբյուրի կողմից արձակած ալիքի սֆերայի կենտրոն, երբ այն գտնվում է տվյալ կետում: Նկար 1-ում պատկերված են նկարագրված երեք սֆերիկ ալիքները 3τ պահին, երբ աղբյուրը գտնվում է O_3 կետում: Այսպիսով, քանի որ $v < u$, ապա յուրաքանչյուր հաջորդ արձակված ալիքի ճակատը ամբողջությամբ կգտնվի նախորդ ալիքի ներսում:



Նկար 1



Նկար 2

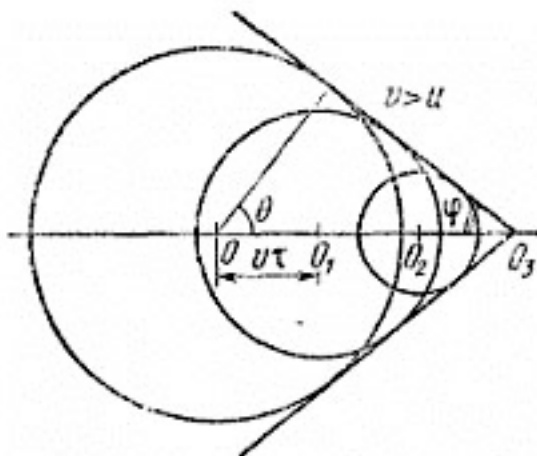
Երբ $v = u$, ապա ալիքների ճակատները, որոնք արձակվել են O , O_1 և O_2 կետերից, կշոշոփեն միմյանց O_3 կետում, որտեղ կգտնվի ալիքը 3τ պահին: Այն պատկերված է Նկար 2-ում:

Առավել հետաքրքիր է այն դեպքը, երբ $v > u$: Աղբյուրը առաջ է անցնում իր արձակած ալիքների ճակատներից, քանի որ աղբյուրի արագությունը ավելի մեծ է ալիքի

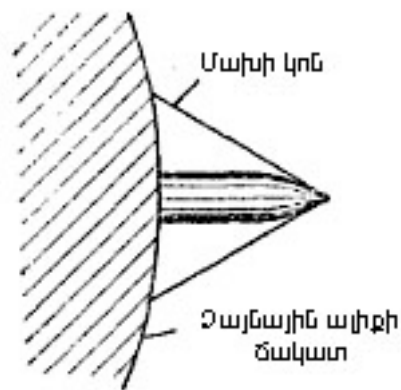
տարածման արագությունից: O , O_1 և O_2 կետերում արձակված ալիքների դիրքերը, երբ աղբյուրը գտնվում է O_3 կետում, պատկերված է նկար 3-ում: Արձակված ալիքների ճակատների ընդգրկողը հանդիսանում է շրջանային կոնի մակերևույթ, որի առանցքը համապատասխանում է աղբյուրի շարժման հետագծին, գագաթը աղբյուրի գտնվելու կետն է, իսկ ընդգրկողի և առանցքի կազմած φ անկյունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sin \varphi = \frac{u}{v} \quad (1)$$

Ալիքների այդպիսի ճակատը կոչվում է մախի կոն: Մախի կոնի տեսքի ալիքների ճակատի հանդիպում ենք հրթիռի, արկի, ռեակտիվ ինքնաթիռի և այլ օբյեկտների շարժման գերձայնային արագությունների դեպքում: Երբ ալիքների ճակատի խտացման աստիճանը բարձր է, ապա հնարավոր է այն նկարել: Նկար 4-ում պատկերված է հրազենի գնդակի՝ մախի կոնը գերձայնային արագության և ձայնային ալիքների ճակատը գերձայնային արագությունից փոքր արագության դեպքում: Նկարը պատկերված է այն պահին, երբ գնդակն անցնում է ձայնային ալիքների ճակատը:



Նկար 3

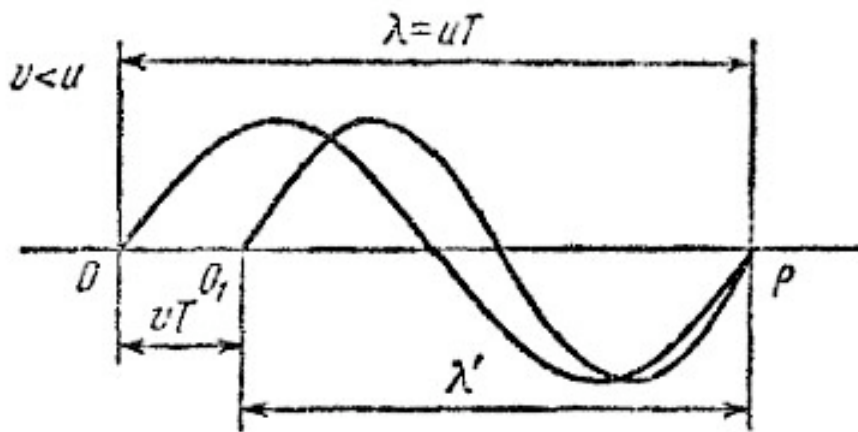


Նկար 4

Նմանատիպ երևույթ տեղի ունի նաև գերձայնային ինքնաթիռի շարժման ժամանակ: Ինքնաթիռն անցնում է ավելի արագ, քան մենք լսում ենք նրա ձայնը: Գերձայնային ինքնաթիռի անցման ժամանակ մախի կոնը առաջացնում է շոկային ալիք, որը հայտնի է որպես “sonic boom” ձայնային թնդյուն, որն էլ հենց լսվում է գերձայնային ինքնաթիռի անցման պահին: Շոկային ալիքը կառուցված է բոլոր ալիքների ճակատների

համախմբից, և լսվող ձայնը կլինի բավական ուժգին: Սովորաբար գերձայնային ինքնաթիռն առաջացնում է երկու ձայնային թնդյուն. մեկն ինքնաթիռի առջևից, իսկ մյուսը՝ պոչից՝ արդյունքում առաջացնելով կրկնակի ձայնային էֆեկտ:

Նկար 1-ից կարելի է նկատել, որ աղբյուրի շարժման դեպքում տարբեր ուղղությամբ արձակվող ալիքների երկարությունները անհավասար են և տարբերվում են անշարժ աղբյուրի կողմից արձակվող ալիքի երկարությունից: Եթե համարենք, որ $\tau = T = 2\pi/\omega$, ապա նկար 1-ում պատկերված սֆերաները նման կլինեն ալիքների հաջորդական կատարների, որոնց միջև եղած հեռավորությունը հավասար է ալիքի երկարությանը: Նկատենք, որ ալիքների երկարությունները աղբյուրին մոտենալիս փոքրանում են, իսկ հեռանալիս՝ մեծանում: Այդ հասկանալու համար դիտարկենք նկար 5-ը:



նկար 5

Երբ շարժվող աղբյուրի O կետում արձակված ալիքն ավարտում է պարբերությունը, աղբյուրը հայտնվում է O_1 կետում: Արդյունքում՝ O_1 կետում անշարժ աղբյուրի արձակված ալիքի երկարությունը՝ λ' -ը, փոքր է O կետից արձակված ալիքի երկարությունից՝ $\lambda = uT$, vT չափով:

$$\lambda' = \lambda - vT = (u - v)T = \frac{u - v}{v} \lambda \quad (2)$$

Անշարժ ընդունիչն արձանագրում է այդ ալիքները v' հաճախությունով, որը տարբեր է v -ից

$$v' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{u}{u - v} v \quad (3)$$

Այս բանաձևը ճիշտ է ընդունող սարքին մոտեցման և հեռացման դեպքում: Մոտեցման դեպքում աղբյուրի v արագությունը գումարվում է, իսկ հեռացման դեպքում՝ հանվում:

Երբ աղբյուրը շարժվում է ձայնային արագությունից փոքր արագությամբ, ապա մոտեցման դեպքում ընդունվող ձայնի հաճախությունը բարձր է, իսկ հեռացման դեպքում՝ ցածր:

Եթե աղբյուրի արագությունը հավասար է ձայնի արագությանը, ապա (2) բանաձևի համաձայն՝ ալիքի երկարությունը զրո է, իսկ հաճախությունը ձգտում է անսահմանության:

Եթե $v > u$, ապա ընդունող սարքի մոտով սկզբում կանցնի աղբյուրը, ապա հետո կլավի աղբյուրի կողմից արձակված ձայնը: Ալիքները ընդունիչի կողմից կարճանագրվեն արձակման հերթականության հակառակ հաջորդականությամբ: Դրանով է բացատրվում (3) բանաձևով ստացված v' հաճախության բացասական արժեքը, երբ $v > u$:

Տատանումների հաճախության փոփոխությունն նկատվում է նաև այն ժամանակ, երբ ալիքներ արձակող աղբյուր անշարժ է, իսկ ընդունիչը շարժվում է: Դիցուք, ընդունիչի արագությունը v_r է: Այս դեպքում նրա հարաբերական արագությունը ալիքի կատարի նկատմամբ կլինի $u + v_r$ և

$$v' = \frac{u + v_r}{\lambda} = \frac{u + v_r}{u} v \quad (4)$$

Այս բանաձևը ճիշտ է նաև հեռացող ընդունիչի դեպքում:

Դոպլերի էֆեկտի իմացությունը հնարավորություն տվեց որոշելու մոտեցող կամ հեռացող մոլորակների, աստղերի, գալակտիկաների տեսագծային արագությունը: Այս երևույթի պարզաբանումը հնարավորություն ընձեռեց ավելի լավ ուսումնասիրելու տիեզերքը՝ հայտնաբերելով նոր աստղեր և օբյեկտներ: Աստղագիտության մեջ հիմնականում կիրառվում է Դոպլերի էֆեկտի հետևյալ գրառումը.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{v}{c}, \quad (5)$$

որտեղ v -ն աղբյուրի՝ երկրին մոտենալու արագությունն է: Ենթադրվում է, որ $v \ll c$, իսկ $v \propto c$ արագությունների համար ճիշտ է հետևյալ բանաձևը՝

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \quad (6)$$

Այս բանաձևը կոչվում է նաև ռելյատիվիստիկ բանաձև, որով չափվում են հեռավոր գալակտիկաների՝ մեզանից հեռանալու արագությունը:

Եթե ուսումնասիրենք հեռավոր գալակտիկաներից ստացված սպեկտրների առանձնահատկությունները և դրանց ալիքների երկարությունները համեմատենք լաբորատոր ալիքների հետ, ապա կնկատենք, որ բոլոր գալակտիկաներից (չհաշված տեղական խմբի գալակտիկաները (օրինակ՝ Անդրոմեդի գալակտիկան)) եկող լույսը ունի կարմիր շեղում, այսինքն՝ այդ ալիքները ավելի երկար են, քան լաբորատոր ալիքները: Այսպիսով, այս գալակտիկաները հեռանում են մեզանից, որն էլ ապացուցում է տիեզերքի ընդլայնման գաղափարը: Բազմաթիվ հետազոտություններ ցույց են տվել, որ ինչքան հեռու է գալակտիկան, այնքան այն ավելի արագ է հեռանում մեզանից: Բացի այդ, հանճարեղ գիտնական Հաբլը ցույց է տվել, որ գալակտիկայի արագությունը համեմատական է երկրից ունեցած հեռավորությանը, այսինքն՝

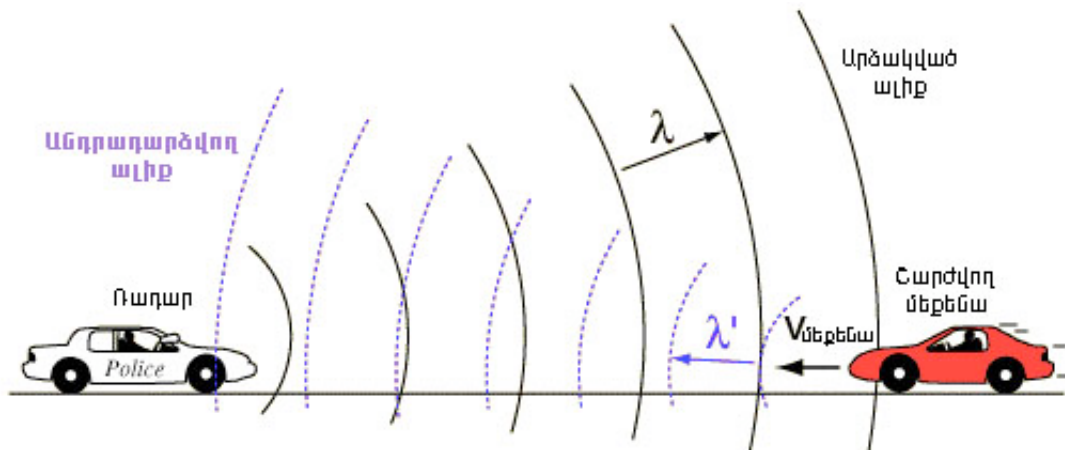
$$v = Hr, \quad (7)$$

որտեղ H -ը Հաբլի հաստատումն է, $1/H$ -ը տիեզերքի տարիքն է:

Այսպիսով, իմանալով Դոպլերի էֆեկտը, կարող ենք որոշել գալակտիկայի հեռավորությունը երկրից:

Դոպլերի էֆեկտի հիման վրա ստեղծվել է Դոպլերի ռադարը, որը լայնորեն կիրառվում է ֆիզիկայի, աստղագիտության, ռազմագիտության, բժշկության և այլ բնագավառներում: Դոպլերի ռադարը օգտագործվում է ձնաբքերի և քամիների կանխատեսումների ժամանակ: Երբ ռադարի անտենան արձակում է ռադիոալիքներ, օդում գտնվող մարմինները (օրինակ՝ ձյան բյուրեղներ, անձրևի կաթիլներ, տարբեր միջատներ և փոշու մասնիկներ) անդրադարձնում են ալիքները հետ դեպի անտենա: Ռադարը, ընդունելով ստացված ալիքները, դրանք վերափոխում է պատկերների, որոնք ցույց են տալիս տեղումների տեղն ու խտությունը: Ռադարին միացված համակարգիչը ռադիոալիքների հաճախության փոփոխությունների միջոցով հնարավորություն է տալիս որոշելու քամիների արագությունն ու ուղղությունը:

Պետավտոտեսչության աշխատակիցները Դոպլերի ռադարի օգնությամբ որոշում են ճանապարհներով սլացող մեքենաների արագությունը: Սլացող մեքենային ուղղած ռադարն արձակում և ընդունում է ձայնային ալիքներ, որոնց հաճախությունների փոփոխությունների գրանցման միջոցով ռադարի ցուցիչը ցույց է տալիս մեքենայի արագությունը (նկար 6):



նկար 6

Բժշկության մեջ հնարավորություն ստեղծվեց չափելու արյան հոսքի արագությունը, ստանալու սրտի իրական պատկերը: Դուպլերի ընդունիչը տեղադրում են մաշկի վրա: Այն արձակում է որոշակի հաճախության ուլտրաձայնային ալիքներ, որոնք, բախվելով երակներով հոսող արյան մասնիկներին (օրինակ՝ արյան կարմիր գնդիկներ), արձագանքում են այլ հաճախությամբ ալիքներ, որոնք էլ գրանցվում են ընդունիչի կողմից: Ստացված տեղեկատվության միջոցով որոշվում է երակով հոսող արյան հոսքի արագությունը: Նույն սկզբունքով աշխատում է սոնոգրաֆիայի սարքը: Ուլտրաձայնային ալիքները սարքի կողմից արձակվում են դեպի որևէ նեքին օրգան, օրինակ՝ սիրտը: Արձագանքած ալիքները հետ են ընդունվում սարքի կողմից՝ գրանցելով հաճախությունների փոփոխությունները, և սարքի էկրանին հայտնվում է տվյալ օրգանի պատկերը: