

Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցություն: Էլեկտրական լիցք: Տարրական լիցք, կետային լիցք: Լիցքի քվանտային բնույթը: Լիցքի ինվարիանտությունը, լիցքի պահպանման օրենքը:

Դժվար է թերագնահատել «Էլեկտրականություն» կոչվող երևույթի կարևորությունը ժամանակակից հասարակության կյանքում: Ի՞նչ է «Էլեկտրականությունը» հարցին պատասխանելու համար պետք է ծանոթանալ այն երևույթների մեծ շրջանին, որոնք անվանվում են էլեկտրական: Այդ նպատակով դիտարկենք մի քանի պարզ փորձեր: Եթե մեկուսիչ թելից կախված ապակե *ձող* շփենք մետաքսով և նրան մոտեցնենք նույն ձևով մետաքսով շփված մեկ այլ ապակե *ձող*, ապա կնկատենք, որ նրանք միմյանց վանում են: Եթե կատարենք նույն գործողությունները բրդով շփված երփնիտե ձողի հետ, ապա կդիտվի նաև երփնիտե ձողիկների վանողություն: Իսկ եթե ապակե ձողի և երփնիտե ձողի փոխազդեցությունը դիտենք, ապա կգրանցենք ձգողականության երևույթ:

Այսպիսով, շփելով *ձող*՝ նրան հաղորդեցինք այլ մարմինների հետ փոխազդելու *ընդունակություն*, որը պայմանավորված է մարմինների կողմից շփման հետևանքով ձողի ձեռք բերած նոր, լրացուցիչ *հատկությամբ*: Այս՝ վերը նշված նոր տիպի փոխազդեցությունը, որը տարբերվում է մեզ լավ հայտնի, օրինակ, գրավիտացիոն փոխազդեցությունից, անվանում են **էլեկտրամագնիսական**: Այս անվանումը գալիս է խոր հնադարից, երբ դեռևս հույն գիտնականները նկատել էին, որ սաթը (Երկրի վրա հարյուր հազարավոր տարիներ առաջ աճած փշատերև ծառերի քարացած խեժը) բրդով շփելիս ձեռք է բերում փոշեհատիկների, թելիկների և այլ մանր առարկաների հետ փոխազդելու հատկություն: Սաթը հունարեն կոչվում է «էլեկտրոն», որից էլ առաջացել է «սաթային» փոխազդեցություն, կամ **էլեկտրական** փոխազդեցություն անվանումը:

Այսպիսով, շփման հետևանքով մարմինները ձեռք են բերում նոր, լրացուցիչ *հատկություն*, որը պատասխանատու է **էլեկտրական** փոխազդեցության համար և որը ընդունված է բնութագրել **էլեկտրական լիցք** հասկացությամբ:

Ուրեմն, շփման հետևանքով մարմինները ձեռք են բերում **էլեկտրական լիցք**, այլ բառերով՝ մարմինները *էլեկտրականանում* են, կամ *լիցքավորվում*: Որպեսզի բացատրելի լինի լիցքավորված մարմինների ձգողությամբ կամ վանողությամբ փոխազդելու հատկությունը, առաջարկվել է լիցքերին պայմանականորեն վերագրել *դրական* և *բացասական* նշաններ: Այդ պարագայում կարող ենք ասել, որ նույնանուն լիցքերը միմյանց վանում են, իսկ տարանունները՝ ձգում:

Էլեկտրականացած կամ լիցքավորված մարմինների ձեռք բերած լիցքը ընդունված է քանակապես բնութագրել մի ֆիզիկական մեծությամբ, որն անվանում են **լիցքի քանակ** կամ պարզապես **լիցք** (նշանակվում է *q*-ով): Միավորների չափման ՄՀ համակարգում լիցքի չափման միավոր է *կուլոնը* (*Կլ*), որը սահմանվում է ՄՀ-ի հիմնական միավորի՝ *ամպերի* (*Ա*) միջոցով: Բանն այն է, որ էլեկտրական և մագնիսական միավորների սահմանման համար ելնում են ոչ թե լիցքերի, այլ հոսանքակիր հաղորդիչների փոխազդման օրենքից (երբ հաղորդիչներում լիցքերը կատարում են ուղղորդված շարժում): Մեր օրերում լիցքի միավորը սահմանվում է հետևյալ կերպ: 1 Կուլոնը այն լիցքն է, որն անցնելով հաղորդիչով 1 վայրկյանում, առաջացնում է 1 Ամպեր հոսանք:

Մարմինների էլեկտրականացումը կարելի է իրագործել նաև նրանց հպման միջոցով: Հարց է ծագում, թե ինչպիսի՞ն է էլեկտրականացման մեխանիզմը: Մեզ հայտնի է, որ բոլոր մարմինները կազմված են ատոմներից և մոլեկուլներից, որոնք իրենց հերթին ունեն բարդ կառուցվածք: Ատոմի միջուկի կազմի մեջ մտնում են պրոտոններ, որոնք օժտված են դրական լիցքով, իսկ միջուկը շրջապատող և միջուկից մեծ հեռավորության վրա գտնվող էլեկտրոնները կրում են բացասական լիցք: Էլեկտրականացման ժամանակ (հպման հաշվին, շփելիս և այլն) մարմիններից ոմանք կորցնում են թույլ կապված էլեկտրոններ, մյուսները՝ ձեռք բերում դրանք: Արդյունքում մարմիններից մեկը լիցքավորվում է դրական, մյուսը՝ բացասական լիցքով, էլեկտրաչեզոք մարմնում էլեկտրոնների պակասեցման կամ ավելացման միջոցով:

Էլեկտրական լիցքը կարող է ընդունել միայն *ընդհատ արժեքներ*: Բնության մեջ գոյություն ունի լիցքի որոշակի *նվազագույն քանակություն*, որը չի մասնատվում է՛լ ավելի փոքր քանակների:

Լիցքի այդ նվազագույն քանակն անվանում են **տարրական լիցք** : Տարրական լիցքը նշանակում են e տառով: Կամայական մարմնի լիցք տարրական լիցքի բազմապատիկն է: Տարրական դրական լիցք է կրում պրոտոնը $q_p = e$, իսկ մոդուլով այդ լիցքին հավասար, սակայն բացասական տարրական լիցքի կրող է էլեկտրոնը ($q_e = -e$): Մարմինն էլեկտրականապես չեզոք է, այսինքն՝ նրա լիցքը հավասար է զրոյի, եթե նրանում էլեկտրոնների թիվը (N_e) հավասար է պրոտոնների թվին (N_p): Եթե պրոտոնների թիվը մեծ է էլեկտրոնների թվից, ապա մարմնի լիցքը դրական է, իսկ եթե էլեկտրոնների թիվն է մեծ պրոտոնների թվից՝ բացասական: Ընդհանուր դեպքում մարմնի լիցքը

$$q = (N_p - N_e)e \quad (1)$$

Էլեկտրական լիցքի մյուս կարևոր հատկությունն այն է, որ **փակ համակարգում տեղի ունեցող ցանկացած պրոցեսում համակարգը կազմող բոլոր մարմինների (մասնիկների) լիցքերի** (q_1, q_2, \dots, q_n) **հանրահաշվական գումարը մնում է անփոփոխ**:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}$$

Բազմաթիվ փորձնական փաստերի հիման վրա ստացված այս պնդումը հայտնի է որպես **էլեկտրական լիցքի պահպանման օրենք**:

Լիցքի պահպանման օրենքը ճիշտ է բոլոր հաշվարկման համակարգերում, այսինքն էլեկտրական լիցքը **ինվարիանտ** մեծություն է: Դա նշանակում է, որ լիցքավորված մասնիկների փակ համակարգի ընդհանուր լիցքը չի փոխվում այդ մասնիկների շարժման արագությունները փոփոխվելիս: Ուրեմն՝ տարբեր հաշվարկման համակարգերում դիտողները, չափելով նույն լիցքը, միշտ ստանում են միևնույն արժեքը:

Էլեկտրական երևույթների օրինաչափությունների ուսումնասիրման ժամանակ լայնորեն օգտագործվում է **կետային լիցք** հասկացությունը: Լիցքավորված մարմինն անվանում են **կետային լիցք**, եթե տվյալ խնդրի պայմաններում այն կարելի է համարել նյութական կետ: Հասկանալի է, որ սա աբստրակցիա է: Բայց եթե խնդրի պայմաններն այնպիսին են, որ լիցքավորված մարմինների չափերն ու ձևը էական ազդեցություն չեն թողնում նրանց փոխազդեցության վրա, ապա այդ մարմինները կարող ենք պատկերացնել որպես կետային լիցքեր: Կետային լիցք են, մասնավորապես, այն լիցքավորված գնդիկները, որոնք իրարից բավականաչափ հեռու են, այնպես որ նրանցից յուրաքանչյուրի տրամագիծը կարելի է անտեսել նրանց հեռավորության համեմատ:

Կուլոնի օրենքը սկալյար և վեկտորական տեսքով

Էլեկտրական փոխազդեցության օրինաչափությունների ուսումնասիրությունը սկսենք առավել պարզ դադարի վիճակում գտնվող լիցքերի փոխազդեցության դիտարկումից: Էլեկտրադինամիկայի այդ բաժինը կոչվում է **էլեկտրաստատիկա**: Էլեկտրաստատիկայի հիմնական օրենքը կրում է ֆրանսիացի ֆիզիկոս Շ.Կուլոնի անունը, որը փորձնական ճանապարհով գտել է q_1 և q_2 կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժի կախվածության օրենքը մարմինների լիցքերից և նրանց միջև եղած r հեռավորությունից: Իր փորձերն իրականացնելու համար Կուլոնը օգտագործեց ոլորակշեռք կոչվող սարքը:

Կուլոնը նախ հետազոտել է լիցքավորված գնդիկների փոխազդեցության ուժի կախումն այդ գնդիկների q_1 և q_2 լիցքերից՝ թողնելով նրանց միջև r հեռավորությունն անփոփոխ: Նա q_1 կամ q_2 գնդիկը հպում էր նույնպիսի չլիցքավորված հաղորդիչ գնդիկի, որին անցնում էր սկզբնական լիցքի կեսը: Նման եղանակով նա կարողանում էր լիցքը փոքրացնել 2, 4 և ավելի անգամ: Փոփոխելով q_1 կամ q_2 գնդիկների լիցքերը՝ Կուլոնը եկել է այն եզրահանգման, որ փոխազդեցության ուժերի մոդուլն ուղիղ համեմատական է լիցքերի մոդուլների արտադրյալին՝ $F \sim |q_1||q_2|$:

Հաջորդ քայլում Կուլոնը, անփոփոխ թողնելով գնդիկների q_1 և q_2 լիցքերը, հետազոտել է նրանց փոխազդեցության F ուժի մոդուլի կախումը գնդիկների միջև եղած r հեռավորությունից: Փորձով գրանցվել է, որ գնդիկների փոխազդեցության ուժի մոդուլը հակադարձ համեմատական է r հեռավորության քառակուսուն՝ $F \sim \frac{1}{r^2}$: Միավորելով փորձերից բխող այս երկու արդյունքները՝

Կուլոնը ստացել է՝ $F \sim \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ կապը: Այս արտահայտության մեջ համեմատականության նշանը կարող ենք փոխարինել հավասարման նշանով՝ ներմուծելով համեմատականության k գործակից՝

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

k գործակիցը թվապես հավասար է միավոր հեռավորության վրա գտվող միավոր կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժերի մոդուլին: k գործակցի արժեքը կախված է միավորների ընտրությունից և որոշվում է փորձնական եղանակով: Փորձը ցույց է տալիս, որ $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Ն.մ}^2/\text{Կլ}^2$:

Կուլոնի օրենքից բխող մի շարք առնչություններ առավել պարզ տեսք են ընդունում, երբ k հաստատունը ներկայացվում է հետևյալ կերպ՝ $k = 1/4\pi\epsilon_0$:

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Կլ}^2/\text{Ն.մ}^2$ մեծությունը կոչվում է էլեկտրական հաստատուն: Այն հիմնարար ֆիզիկական հաստատուն է: Այսպիսով, Կուլոնի օրենքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$F = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Կուլոնի փորձերից կարելի է եզրակացնել նաև, որ էլեկտրական փոխազդեցության ուժերն ուղղված են կետային լիցքերը միացնող ուղղի երկայնքով, ընդ որում, նույնանուն լիցքերով մարմիններն իրար վանում են, տարանուն լիցքերով մարմինները՝ ձգում: Կուլոնի բանաձևի դիտարկումից կարելի է եզրակացնել, որ վանողական ուժերը դրական նշանի են ($F > 0$), իսկ ձգողականները՝ բացասական ($F < 0$):

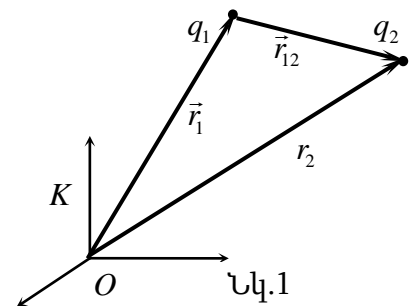
Կուլոնի օրենքը արտահայտող բանաձևին կարելի է տալ վեկտորական տեսք: Դիցուք, K հաշվարկման համակարգում q_1 և q_2 լիցքերի դիրքերը որոշվում են \vec{r}_1 և \vec{r}_2 շառավիղ-վեկտորներով (տես նկ.1): Այդ դեպքում, նկատի ունենալով, որ $\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, իսկ $r = |\vec{r}| = |\vec{r}_2 - \vec{r}_1|$, q_1 լիցքի վրա q_2 -ի կողմից ազդող \vec{F}_{12} ուժը կընդունի՝

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^2} \cdot \frac{(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad \text{տեսքը:}$$

Այստեղից հետևում է, որ Կուլոնյան ուժերը կենտրոնական են և, հետևաբար, կոնսերվատիվ (պոտենցիալային):

Կուլոնի օրենքը ճիշտ է ոչ միայն կետային լիցքերի, այլև լիցքավորված գնդաձև մարմինների համար, որոնց լիցքերը հավասարաչափ բաշխված են նրանց ամբողջ ծավալով կամ մակերևույթով: Այդ դեպքում որպես մարմինների հեռավորություն պետք է ընդունել գնդերի կենտրոնների միջև եղած հեռավորությունը:

Գիտենալով կետային լիցքերի փոխազդեցության օրենքը՝ կարելի է հաշվել վերջավոր չափեր ունեցող լիցքավորված մարմինների փոխազդեցության ուժը: Այդ ուժի որոշման համար մարմիններից յուրաքանչյուրը պետք է դիտել որպես կետային լիցքերի համակարգ, գտնել տարբեր մարմիններին պատկանող կետային լիցքերի յուրաքանչյուր զույգի փոխազդեցության ուժը և հաշվել այդ բոլոր ուժերի համագործը, որն, իհարկե, բավական բարդ գործընթաց է:



Էլեկտրական դաշտ: Էլեկտրական դաշտի լարվածություն: Կետային լիցքի դաշտի լարվածության բանաձևը վեկտորական տեսքով:

Էլեկտրական դաշտ: Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, Էլեկտրականացված մարմինները փոխազդում են միմյանց հետ հեռավորության վրա՝ ձգում են կամ վանվում: Ինչպես է հաղորդվում ազդեցությունը մի էլեկտրականացված մարմնից մյուսին: Ֆիզիկայի զարգացման ընթացքում այս հարցերին պատասխանելիս երկու հակադիր մոտեցումներ են եղել:

Համաձայն առաջին մոտեցման՝ մի մարմինը մեկ այլ մարմնի հետ կարող է փոխազդել հեռավորության վրա առանց միջանկյալ միջնորդի մասնակցության ակնթարթորեն՝ անվերջ մեծ արագությամբ: Փոխազդեցության բացատրության նման մոտեցումը կազմում է, այսպես կոչված, **հեռազդեցության** տեսության էությունը:

Համաձայն երկրորդ մոտեցման՝ մի մարմինը մյուսի վրա ազդում է որոշակի միջնորդի միջոցով, ընդ որում՝ ազդեցությունը տարածվում է վերջավոր արագությամբ: Այսպիսի մոտեցումը հայտնի է որպես **մերձազդեցություն:**

Ժամանակակից ֆիզիկան կառուցված է **մերձազդեցության** տեսության հիման վրա: Համաձայն այդ տեսության՝ նույնիսկ տարրական լիցքը շրջակա տարածության մեջ առաջացնում է որոշակի փոփոխություն: Յուրաքանչյուր լիցք իր շրջակա տարածությունն օժտում է յուրահատուկ ֆիզիկական հատկություններով, այլ խոսքով, ասում ենք, որ լիցքն իր շուրջ ստեղծում է **ուժային դաշտ (էլեկտրական դաշտ)**, որն էլ ազդում է դաշտում տեղադրված ցանկացած այլ լիցքի վրա: Այսպիսով, երկու լիցքեր միմյանց վրա անմիջականորեն չեն ազդում: Նրանցից յուրաքանչյուրն իր շուրջը ստեղծում է էլեկտրական դաշտ, և մի լիցքի դաշտն ազդում է մյուս լիցքի վրա և հակառակը:

Էլեկտրական դաշտը մատերիայի մի տեսակ է, որը տարբերվում է նյութից: Մենք մեր զգայարանների միջոցով չենք կարող ուղղակիորեն ընկալել էլեկտրական դաշտը: Էլեկտրական դաշտի գոյության մասին կարելի է դատել միայն ըստ նրա ազդեցությունների: Լիցքի էլեկտրական դաշտը որոշ ուժով ազդում է այդ լիցքի դաշտում գտնվող ցանկացած այլ լիցքի վրա:

Էլեկտրական դաշտի լարվածություն: Լիցքի վրա էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը քանակապես բնութագրելու համար էլեկտրադինամիկայում ներմուծվում է **էլեկտրական դաշտի լարվածություն** գաղափարը (\vec{E}): Այն էլեկտրական դաշտի ուժային բնութագիրն է և թույլ է տալիս որոշել դաշտի յուրաքանչյուր կետում տեղադրված կամայական լիցքի վրա ազդող ուժի մեծությունն ու ուղղությունը: Էլեկտրաստատիկայում սովորաբար փոխազդող լիցքավորված մարմիններից մեկը համարում են **էլեկտրական դաշտի աղբյուր**, իսկ մյուսը, որպես կանոն, կետային մարմինը՝ **փորձնական** լիցք: Ենթադրվում է նաև, որ փորձնական լիցքն այնքան փոքր է, որ նրա առկայությունը զորձնականորեն չի ազդում դաշտը առաջացնող աղբյուրի լիցքերի բաշխման վրա: Եթե q_0 ընդհանուր լիցքով օժտված որևէ լիցքերի համակարգի կողմից ստեղծած էլեկտրական դաշտի որոշակի տվյալ կետում հերթականությամբ տարբեր՝ q_1, q_2, \dots, q_n փորձնական կետային լիցքեր և յուրաքանչյուրի դեպքում չափենք համապատասխան ազդող $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ ուժերը, ապա կհամոզվենք, որ բոլոր լիցքերի համար ազդող ուժի և լիցքի հարաբերությունը կախված չէ լիցքի մեծությունից և այդ կետում ունի հաստատուն ուղղություն և մեծություն՝ $\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \dots = \frac{\vec{F}_n}{q_n} = const$: Հետևաբար՝ այն կարող է ծառայել որպես էլեկտրական

դաշտի բնութագիր, որն էլ անվանում են էլեկտրական դաշտի \vec{E} լարվածություն: Այն որոշվում է $\vec{E} = \vec{F}/q$ բանաձևով: Այս բանաձևից հետևում է, որ տրված \vec{E} լարվածությամբ էլեկտրական

դաշտի կողմից կամայական q լիցքի վրա ազդող ուժը որոշվում է հետևյալ կերպ՝ $\vec{F} = q\vec{E}$: \vec{E} -ն էլեկտրական դաշտի ուժային բնութագիրն է, քանի որ այն որոշում է q լիցքի վրա ազդող ուժը:

\vec{E} վեկտորի ուղղությունը համընկնում է դաշտի տվյալ կետում տեղադրված **դրական լիցքի** վրա ազդող ուժի ուղղության հետ: Քանի որ միավորների ՄՀ-ում ուժի միավորը՝ Ն-ն է, լիցքի միավորը՝ Կլ-ը, ապա լարվածության միավորը կլինի՝ Ն/Կլ: Դաշտը կոչվում է համասեռ, եթե նրա բոլոր կետերում լարվածությունը (**վեկտորը**) նույնն է:

Կետային լիցքի դաշտի լարվածությունը: q կետային լիցքից կամայական r հեռավորության վրա գտնվող կետում տեղադրված փորձական q_0 լիցքի վրա ազդող \vec{F} ուժը, ըստ Կուլոնի օրենքի, որոշվում է $\vec{F} = k \frac{q_0 q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$ բանաձևով: Մյուս կողմից, q կետային լիցքի ստեղծած էլեկտրական դաշտի լարվածությունը փորձական q_0 լիցքի տեղադրման կետում, որոշվում է $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ բանաձևով: Տեղադրելով \vec{F} -ը \vec{E} -ի մեջ ստանում ենք, որ դաշտի լարվածության վեկտորը

այդ կետում կարելի է որոշել $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{k q_0 q}{q_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r} = \boxed{\frac{k q \vec{r}}{r^2 r}}$ բանաձևով, իսկ նրա մոդուլը՝ $E = \frac{k |q|}{r^2}$ բանաձևով:

Դաշտերի վերադրման սկզբունքը:

Գործնականում էլեկտրաստատիկ դաշտը պայմանավորված է լինում ոչ թե մեկ, այլ՝ մեկից ավելի անշարժ լիցքերով: Այդ դեպքում էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության սահմանման համաձայն \vec{E} -ն կորոշվի հետևյալ բանաձևով.

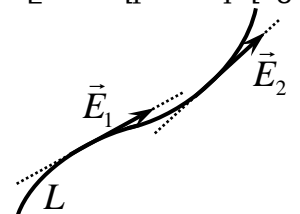
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{q} = \frac{\vec{F}_1}{q} + \frac{\vec{F}_2}{q} + \dots + \frac{\vec{F}_n}{q} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \Rightarrow \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i,$$

որտեղ \vec{E}_i -ն i -րդ լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածությունն է դաշտի դիտարկվող կետում:

Այսպիսով, տարածության տվյալ կետում լիցքերի համակարգի ստեղծած արդյունաբար դաշտի լարվածությունը հավասար է առանձին լիցքերի ստեղծած դաշտերի լարվածությունների վեկտորական գումարին: Այս փաստը ֆիզիկայում ընդունված է անվանել էլեկտրաստատիկ դաշտերի **վերադրման սկզբունք**: (Նշենք, որ վերադրման սկզբունքը փորձերի ընդհանրացման արդյունք է և, հնարավոր է՝ խախտվում է շատ փոքր հեռավորությունների (10^{-15} մ) վրա):

Էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծեր (լարվածության գծեր), դրանց հատկությունները:

Էլեկտրական դաշտը գրաֆիկորեն՝ լարվածության վեկտորներով, պատկերելը կբերեր վեկտորների խայտաբղետ դասավորված հավաքածուի: Այդ դժվարությունը հաղթահարվեց Ֆարադեյի կողմից, որն առաջարկեց դաշտը պատկերել **լարվածության գծերի (ուժագծերի)** միջոցով: Լարվածության գիծը (ուժագիծը) այն երևակայական L գիծն է (տես նկ.), որի ցանկացած կետում տարած շոշափողը համընկնում է այդ նույն կետում լարվածության վեկտորի հետ: Իսկ ուժագծերի խտությունը որոշում է դաշտի լարվածության թվային արժեքը:

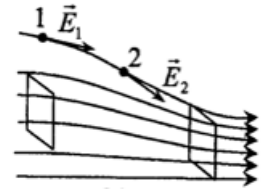


Եթե էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը տարբեր կետերում տարբեր է, դաշտը կոչվում է **անհամասեռ**: Եթե էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության վեկտորը **հաստատուն է դաշտի բոլոր կետերի համար**, ապա այդպիսի դաշտը կոչվում է **համասեռ**: Համասեռ դաշտի օրինակ է միմյանց գուգահեռ, մեծությամբ հավասար, նշանով հակառակ լիցքերով հավասարաչափ լիցքավորված հարթությունների ստեղծած դաշտը եզրերից հեռու տիրույթում: Համասեռ դաշտը գրաֆիկորեն պատկերվում է միմյանց գուգահեռ և միմյանցից հավասարահեռ լարվածության գծերի տեսքով: Նշենք լարվածության գծերի հատկություններից մի

քանիսը. *ա*) Լարվածության գծերը սկիզբ են առնում դրական լիցքերից և վերջանում կամ բացասական լիցքերի վրա, կամ՝ անվերջությունում (կամ սկիզբ առնելով անվերջությունում՝ վերջանում են բացասական լիցքերի վրա): *բ*) Քանի որ լարվածության վեկտորը տարածության յուրաքանչյուր կետում ունի որոշակի ուղղություն (բացառությամբ այն կետերի, որտեղ լարվածությունը հավասար է զրոյի), ապա այդ կետով կարող է անցնել միայն մեկ ուժագիծ: Այստեղից հետևում է, որ ուժագծերը չեն հատվում, նրանք միայն զուգամիտում են լիցքերի վրա:

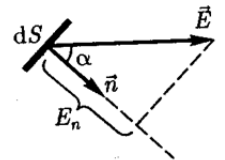
Էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորի հոսք: Գաուսի թեորեմն ինտեգրալ տեսքով:

Ակնհայտ է, որ էլեկտրական լիցքերի համակարգի ստեղծած արդյունաբար դաշտի լարվածությունը կարելի է հաշվել՝ կիրառելով էլեկտրաստատիկ դաշտերի վերադրման սկզբունքը: Մինչդեռ, որոշ դեպքերում էլեկտրական լիցքերի համակարգի դաշտի լարվածության հաշվարկը կարելի է էականորեն պարզեցնել՝ կիրառելով գերմանացի գիտնական Կ. Գաուսի (1777-1855) կողմից արտածված թեորեմը: Մինչ այդ թեորեմի հետ ծանոթանալը, ներմուծենք էլեկտրաստատիկ դաշտի \vec{E} լարվածության վեկտորի **հոսքի** գաղափարը, որի օգնությամբ հնարավոր լինի բնութագրել ոչ միայն դաշտի \vec{E} լարվածության ուղղությունը, այլ նաև մեծությունը: Դրա համար պայմանավորվում են լարվածության գծերը դաշտի տարբեր տիրույթներում տանել տարբեր խտությամբ (տես նկ.):



Լարվածության գծերի թիվը, որոնք հատում են գծերին ուղղահայաց մակերևույթի միավոր մակերեսը, պետք է հավասար լինի \vec{E} վեկտորի մոդուլին: Այդ դեպքում լարվածության գծերի պատկերի միջոցով կարելի է դատել տարածության տարբեր կետերում \vec{E} վեկտորի ուղղության և մեծության մասին:

Լարվածության այն գծերի թիվը, որոնք հատում են տարրական dS մակերեսով մակերեւույթը, որին տարված \vec{n} նորմալը \vec{E} վեկտորի հետ կազմում է α անկյուն, որոշվում է $\vec{E}d\vec{S} = E dS \cos \alpha = E_n dS$ բանաձևով: Այստեղ E_n -ը \vec{E} վեկտորի պրոյեկցիան է \vec{n} նորմալի ուղղությամբ (տես նկ.):



Հղունված է $d\Phi = \vec{E}d\vec{S} = E_n dS$ մեծությունը անվանել **լարվածության վեկտորի հոսք dS մակերեւույթով**: Այստեղ $d\vec{S} = dS\vec{n}$ -ը վեկտոր է, որի մոդուլը հավասար է dS -ի, իսկ ուղղությունը համընկնում է մակերեւույթի \vec{n} նորմալի ուղղության հետ: \vec{n} վեկտորի (հետևաբար և $d\vec{S}$ -ի) ուղղության ընտրությունը պայմանական է, քանի որ այն կարելի է ուղղել ցանկացած կողմ: Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության վեկտորի հոսքի միավորը *Վոլտ·մետրն* է (**Վ·մ**), որն արնդունված է անվանել Վեբեր:

Կամայական փակ S մակերեւույթի համար լարվածության \vec{E} վեկտորի հոսքը այդ մակերևույթով կլինի՝ $\Phi = \oint_S d\Phi = \oint_S E_n dS = \oint_S \vec{E}d\vec{S}$, որտեղ ինտեգրալը վերցվում է S փակ մակերևույթով:

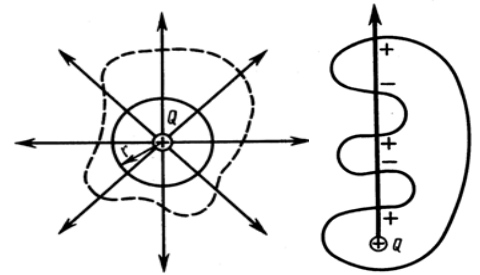
Որևէ մակերևույթով \vec{E} վեկտորի հոսքը թվապես հավասար է այդ մակերևույթը հատող \vec{E} -ի գծերի թվին: \vec{E} վեկտորի հոսքը հանրահաշվական մեծություն է. կախված է ոչ միայն \vec{E} դաշտի կոնֆիգուրացիայից, այլ նաև \vec{n} -ի ($d\vec{S}$ -ի) ուղղության ընտրությունից: Փակ մակերևույթների համար նորմալի դրական ուղղություն է ընտրվում արտաքին նորմալը, այսինքն այն նորմալը, որն ուղղված S մակերևույթով ընդգրկված տիրույթից դուրս: Այդ պատճառով այն դեպքերում, երբ E վեկտորն ուղղված է դուրս (այսինքն՝ E գիծը դուրս է գալիս մակերևույթով սահմանափակված ծավալից), E_n -ը և, համապատասխանաբար Φ -ը, կլինեն դրական, իսկ այն դեպքերում, երբ \vec{E} վեկտորն ուղղված է ներս (այսինքն՝ E գիծը մտնում է մակերևույթով սահմանափակված ծավալի մեջ), E_n -ը և Φ -ը, կլինեն բացասական:

Գաուսի թեորեմը մաթեմատիկական կապ է հաստատում փակ մակերևույթով՝ լարվածության վեկտորի հոսքի և այդ մակերևույթում ընդգրկված ծավալում գտնվող գումարային լիցքի միջև: Ստանանք այդ կապը: Սկզբում դիտարկենք Q կետային լիցքի ստեղծած $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r}$

լարվածությամբ դաշտի վեկտորի հոսքը այն ընդգրկող՝ r շառավիղ ունեցող սֆերիկ մակերևույթով: Պարզության համար Q -ն գտնվում է սֆերայի կենտրոնում (նկ.).

$$\Phi = \oint_S d\Phi = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r} d\vec{S} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}:$$

Կարելի է հասկանալ, որ այս արդյունքը ճիշտ է նաև կամայական ձև ունեցող փակ մակերևույթի դեպքում: Իրոք, եթե սֆերան շրջափակենք կամայական փակ մակերևույթով (նկ.), ապա սֆերա թափանցող լարվածության յուրաքանչյուր գիծ անցնում է նաև այդ մակերևույթի միջով: Կնճիռներ ունեցող մակերևույթի միջով անցնող հոսքը հաշվելիս (նկ.), պետք է հաշվի առնել, որ քննարկվող դեպքում \vec{E} -ի տվյալ գծի հատումների թիվը մակերևույթի հետ կարող է միայն կենտ լինել, ընդ որում այդ հատումները ընդհանուր հոսքի մեջ հաջորդաբար կունենան մերթ դրական, մերթ բացասական ներդրում: Մասնավորապես, եթե մակերևույթի ներսում լիցքեր չկան, հոսքը հավասար է զրոյի: Այսպիսով, ինչպիսին էլ լինի կետային լիցք պարունակող փակ մակերևույթի ձևը, E վեկտորի հոսքը այդ մակերևույթով հավասար է $\frac{Q}{\epsilon_0}$ -ի, այսինքն՝



$$\Phi = \oint_S d\Phi = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}:$$

Այսպիսով, փակ մակերևույթով էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորի հոսքը վակուումում հավասար է այդ մակերևույթով ընդգրկված Q լիցքի և ϵ_0 -ի հարաբերությանը: Դժվար չէ ցույց տալ, որ ընդհանուր դեպքում, եթե փակ մակերևույթով ընդգրկված են n թվով լիցքեր, համաձայն դաշտերի վերադրման սկզբունքի, բոլոր լիցքերով ստեղծված արդյունաբար դաշտի \vec{E} լարվածությունը հավասար է յուրաքանչյուր առանձին լիցքով ստեղծված \vec{E}_i դաշտերի լարվածությունների վեկտորական գումարին: Ուստի

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S \left(\sum_i \vec{E}_i \right) d\vec{S} = \sum_i \left(\oint_S \vec{E}_i d\vec{S} \right) = \sum_i \frac{Q_i}{\epsilon_0} = \frac{\sum_i Q_i}{\epsilon_0}:$$

Ստացված բանաձևն արտահայտում է **Գաուսի թեորեմը** ինտեգրալային տեսքով վակուումում **էլեկտրաստատիկ դաշտի** համար. *էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության վեկտորի հոսքը վակուումում կամայական փակ մակերևույթով հավասար է այդ մակերևույթի ներսում գտնվող լիցքերի հանրահաշվական գումարին՝ բաժանած ϵ_0 -ի*: Եթե համակարգում լիցքերը բաշխված են ոչ թե դիսկրետ (ընդհատ), այլ անընդհատորեն՝ $\rho = \frac{dq}{dV}$ ծավալային խտությամբ, ապա S մակերևույթով սահմանափակված V ծավալում գտնվող գումարային լիցքը կլինի $\int_V \rho dV$:

Օգտագործելով այս արդյունքը՝ Գաուսի թեորեմը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով՝

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV:$$

Մի շարք դեպքերում Գաուսի թեորեմի կիրառումը թույլ է տալիս լիցքերի համակարգի ստեղծած դաշտի լարվածությունը գտնել շատ ավելի պարզ եղանակով, քան դաշտերի վերադրման

սկզբունքի և կետային լիցքի դաշտի լարվածության համար ստացված բանաձևի օգնությամբ: Այդպիսի համակարգեր են համաչափությամբ օժտված հավասարաչափ լիցքավորված մարմինների համակարգերը: