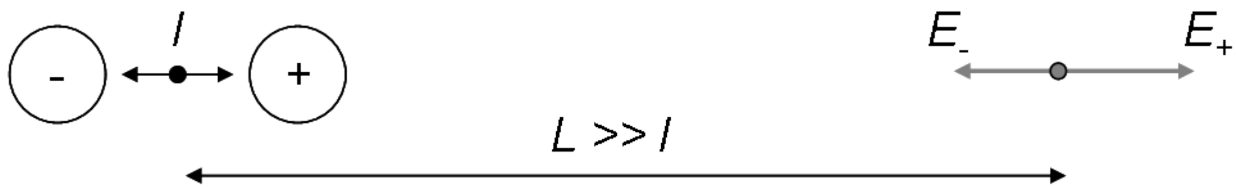
Praktiskā darba laikā jums bija iespēja novērot, ka magnētiskais lauks, spēks, ar kādu magnēts iedarbojas uz testa sistēmu, samazinās apgriezti proporcionāli attāluma kubam. Ja jūs pārcilāsiet prātā visu par spēkiem vidusskolas laikā stāstīto, jums varētu šķist, ka šāda sakarība ir visai jocīga. Jo kāda tad ir tipiska sakarība starp lauka intensitāti un attālumu līdz lauka avotam? Kāda tā ir elektriskā lauka gadījumā? Kāda tā ir smaguma spēka gadījumā? Visi šie lauki samazinās apgriezti proporcionāli attāluma kvadrātam! Ar ko tad magnētiskais lauks ir tāds īpašs? Kas magnētismā ir tik neparasts? Vismaz viena būtiska atšķirība starp elektriskām un magnētiskām parādībām ir skaidra uzreiz – elektriskais lādiņš var būt pozitīvs, var būt negatīvs, ķermeņus var uzlādēt kā ar vienas, tā ar otras zīmes lādiņiem, un pēc tam lādiņus nodalīt, šajā gadījumā ir iespējams runāt par mijiedarbību ar punktveida pozitīvo vai negatīvo lādiņu atsevišķi Magnētiskā lauka gadījumā arī ir kas līdzīgs – magnētam ir ziemeļpols un dienvidpols. Taču principiālā atšķirība ir tā, ka tie nav nodalāmi viens no otra. Ja magnētu pārgriež uz pusēm, iegūst vienkārši divus mazus magnētus, katram no tiem atkal ir savs dienvidpols un ziemeļpols. Tādējādi, ja mēs runājam par kāda ķermeņa mijiedarbību ar magnētu, jāņem vērā, ka mijiedarbība vienmēr notiks vienlaikus ar abiem magnēta poliem: viens magnēta gals mūsu sistēmu pievilks, otrs atgrūdīs, tādēļ nav brīnums, ka kopumā šāda mijiedarbība, attālumam pieaugot, dils ievērojam straujāk.

Lekcijas pirmajā daļā ir parādīšu, ka, ja mēs apskatām sistēmu, kas sastāv no **diviem** punktveida elektriskiem lādiņiem, mēs arī elektriskam laukam iegūsim to pašu atkarību no attāluma līdz avotam kā magnētiskā lauka gadījumā, proti, lauks būs apgriezti proporcionāls attāluma kubam.

Bet, pirms ķerties pie kuba, vispirms atgriezīsimies uz mirkli vēl pie kvadrāta. Kāpēc elektriskais lauks samazinās apgriezti proporcionāli attāluma kvadrātam? Kāpēc Kulona likumā attālums ieiet tieši otrajā pakāpē? Kāpēc tāda pati sakarība ir spēkā smaguma spēka laukam? Viena no iespējamām atbildēm – kvadrāts šajās sakarībās parādās tādēļ, ka mēs dzīvojam trīsdimensiju telpā. Uzzīmēsim punktveida lauka avotu, šobrīd nav svarīgi, kas tas par lauku. Uzzīmēsim lauka intensitātes līnijas. Redzam, līnijas ir biezākas pie lauka avota, un paliek arvien retākas, no lauka avota attālinoties, kas nozīmē, ka lauks šajā vietā kļūst vājāks. Iedomāsimies uz mirkli, ka dzīvojam divdimensiju telpā, uzvilksim vairākas riņķa līnijas. Redzam, ka bultu skaits, kas iziet caur katr riņķa līniju, ir viens un tas pats, taču riņķa līnijas garums palielinās proporcionāli riņķa līnijas rādiusam. Tādēļ bultu skaits, kas iziet caur vienu riņķa līnijas garuma vienību, samazinās apgriezti proporcionāli attāluma līdz lauka avotam pirmajai pakāpei, proti, lauka intensitāte samazinās apgriezti proporcionāli attāluma pirmajai pakāpei. Ja tagad atgriežamies 3D telpā, tad riņķa līnijas mums jāaizstāj ar sfērām, riņķa līniju garumi – ar sfēras laukumiem, kas ir proporcionāli rādiusa kvadrātiem. Tas nozīmē, ka 3D gadījuma caur lauka avotu iekļaujošo sfēru virsmas lauka vienību izejošo bultu skaits samazināsies apgriezti proporcionāli sfēras rādiusa kvadrātam. Tas nozīmē, ka 3D gadījumā punktveida avota radītais lauks samazināsies apgriezti proporcionāli attāluma līdz lauka avotam kvadrātam.

Tagad – kas notiks, ja mums ir nevis viens, bet divi punktveida lauka avoti? Piemēram, divi elektriskie lādiņi, viens pozitīvs, viens negatīvs (att. 1).



Att.1: Elektriskā dipola radītais lauks

Katrs no lādiņiem rada savu elektrisko lauku: E_+ un E_-. Pēc superpozīcijas principa lauks attālumā L no abu lādiņu veidotās sistēmas centra būs $E = E_+ + E_-$. Ievērojot Kulona likumu, varam uzrakstīt, $E = kq\left(\frac{1}{(L-l/2)^2} - \frac{1}{(L+l/2)^2}\right)$, kur l – attālums starp abiem lādiņiem. Atverot iekavas un pieņemot, ka $L >> l$ (kas nozīmē, ka varam atmest visus locekļus, kas satur l^2), mēs iegūstam $E = \frac{2kql}{L^3}$, kur $p = q\,l$ – tā sauktais elektriskais dipola moments.

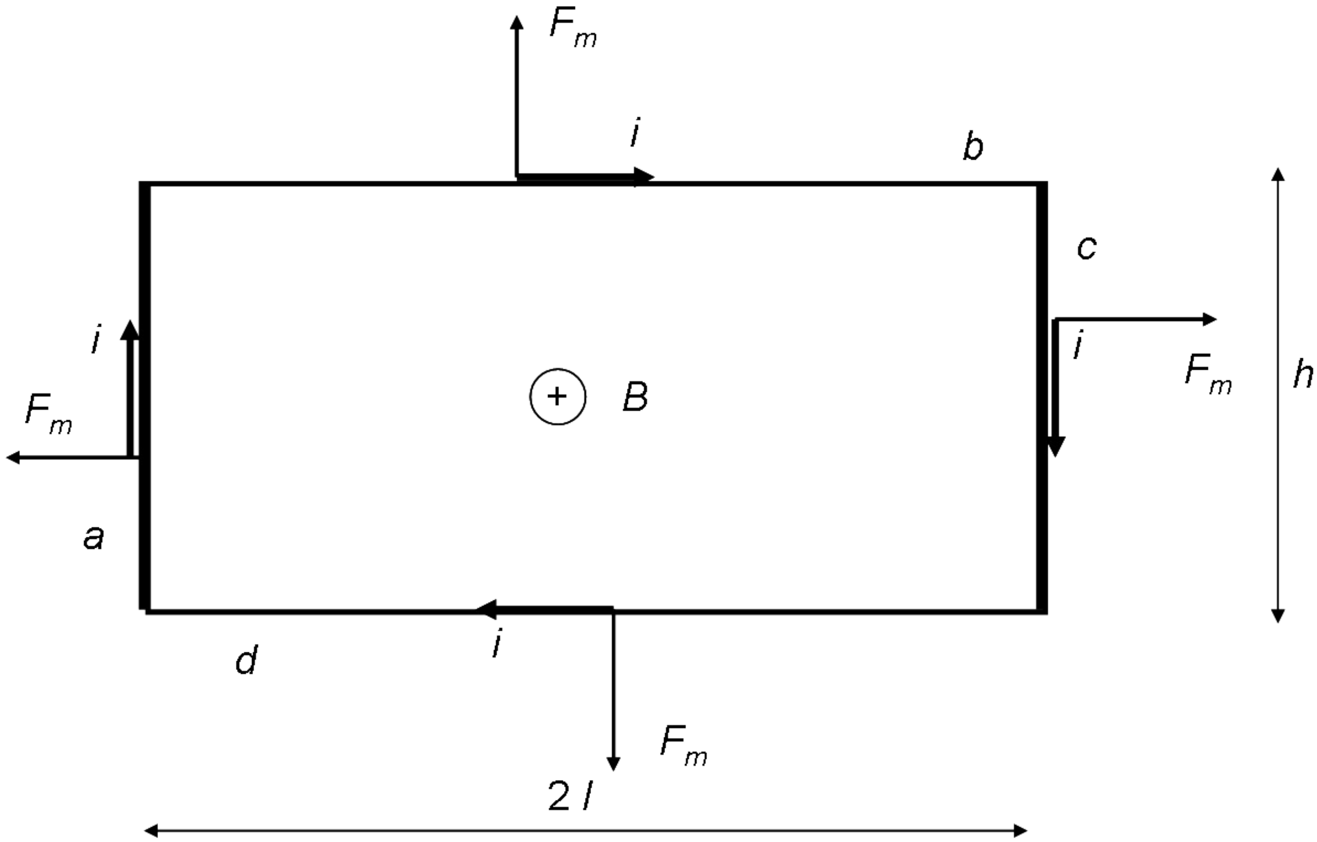
Vai šāds elektriskais lauks, kas samazinās apgriezti proporcionāli attāluma līdz lauka avotam kubam, ir kaut kas eksotisks? No vienas puses – skaidrs, ja vienlaikus pastāv gan dipola, gan parastais punktveida lādiņa radītie lauki, tad dipola radītais lauks nodils daudz straujāk un praktiski nebūs novērojams. Taču ir daudzi gadījumi, kad šādi dipolu radītie lauki ir ļoti nozīmīgi. Piemēram, dipolu lauki nosaka mijiedarbību starp molekulām, kas kopumā ir elektriski neitrālas, taču tām var būt ievērojams dipola moments. Šādus spēkus sauc arī par Van-der-Vaalsa spēkiem. Ja jūs atdzesēsiet gāzi, piemēram, skābekli, līdz ļoti zemām temperatūrām, tā sasals, izveidos kristālu, un vienīgie elektriskie lauki, kas šādu ledu saturēs kopā, būs vien tie paši dipolu radītie lauki. Tāpat arī, piemēram, grafīts, tā pelēkā viela, kas ir zīmuļos iekšā – iespējams, jūs zināt, ka tas sastāv no daudziem – daudziem oglekļa slānīšiem, un šos slānīšus kopā satur tie paši Van-der-Vaalsa spēki. Parakstīt ar zīmuli ir iespējams tādēļ, ka šie spēki ir tik vāji, ka slāņi atdalās cits no cita, pieliekot visniecīgāko piepūli.

Bet atgriezīsimies pie magnētisma. Mēs varētu atkārtot to pašu stāstu, ko nupat izveidojām elektriskajam laukam: no fizikas viedokļa stāsts būtu tāds pats, un tā būtiskāka komponente – superpozīcijas princips – ir, protams, spēkā kā magnētiskam, tā arī elektriskam laukam. Taču magnētisma gadījumā šis stāsts būtu ķepīgāks no matemātikas viedokļa, jo neizbēgami ietvertu sevī vektorus un vektoriālos reizinājumus. Bet atbilde galu galā sanāk ļoti līdzīga: magnētiskā dipola radītais magnētiskais lauks ir $B=\frac{\mu_0 B M}{2\pi L^3}$. Kas šajā gadījumā ir magnētiskais dipola moments *M*? Atbilde jau izskanēja populārajā šīs skolas daļā. Ja mēs iedomāsimies kontūru ar kontūru *S*, pa kuru plūst strāva *I*, tad šādas sistēmas magnētiskais dipola moments ir $M = I\ S$. Ja magnētisko lauku rada pastāvīgais magnēts, tad mēs varam iedomāties, ka arī tas patiesībā sastāv no daudzām, daudzām strāvas cilpiņām, kurai katrai ir savs dipola moments, un visa lielā magnēta kopējais moments ir vienkārši visu šo mazo dipolu summa. Kamēr visi mazie dipoli ir orientēti vienā virzienā, nav pat svarīgi, kā tie ir izvietoti, kāda ir visa lielā magnēta forma – katrā gadījumā jebkuru magnētu mēs varam efektīvi aizstāt ar strāvas kontūru ar atbilstošo magnētisko dipola momentu, un tā uzvedība un radītais lauks būs tieši tādi paši.

Tātad – esam ieguvuši, magnētiskā dipola lauks samazinās apgriezti proporcionāli attāluma trešajai pakāpei. Bet šīs lekcijas daļas noslēgumā – vai mēs tomēr nevarētu saskatīt kaut kur magnētisma fizikā to pašu mīļo un pazīstamo kvadrātisko atkarību no attāluma? Ja mēs apskatīsim kādu lauku rada mazs, īss vada, pa kuru plūst strāva, posms, tad izrādās, ka šāda vada radītā magnētiskā lauka lielums ir tik tiešām apgriezti proporcionāls attāluma līdz vadam kvadrātam – to sauc par Bio-Savāra likumu. Problēma ir tikai tāda, ka, protams, šāds mazs un īss vada posms nevar eksistēt pats no sevis, lai radītu strāvu, mums vajag noslēgtu kontūru, garu, noslēgtu vadu, kura katrs posms radīs savu magnētisko lauku, kuri saskaitīsies, atbilstoši superpozīcijas principam, un mēs atkal nonāksim līdz jau augstāk minētai formulai.

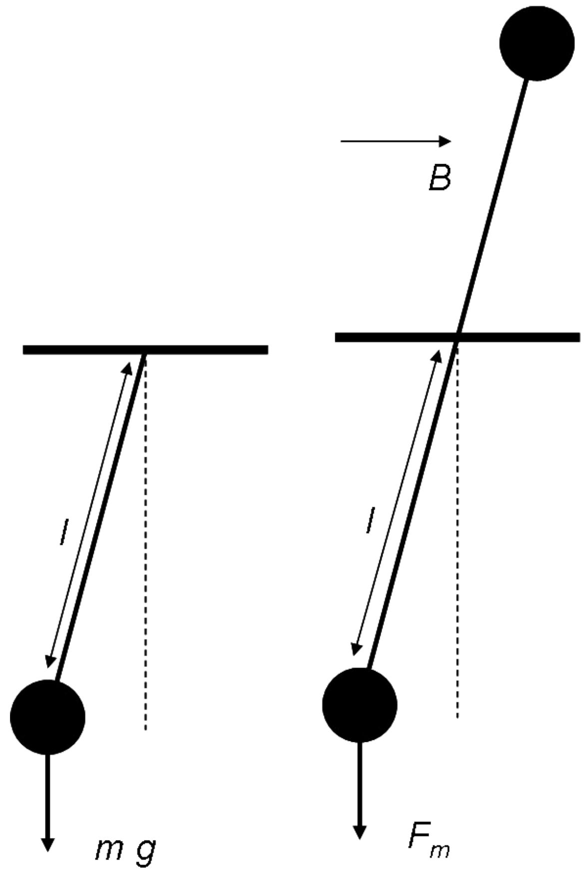
Un nu šis daļas pašās, pašās beigās priekš tiem, kas izsekoja visam iepriekš teiktajam – ja nu mēs tagad paņemsim bezgalīgi garu, bezgalīgi taisnu vadu. Kāds būs magnētiskais lauks ap to? Tas samazināsies apgriezti proporcionāli attālumam līdz vadam **pirmajā** pakāpē! Jo šajā gadījumā, ja mēs skatāmies virzienā, kas ir paralēls vadam, nekas interesants nenotiek, visi punkti ir ekvivalenti, un tas nozīmē, ka no šīs dimensijas patiesībā nav nekādas jēgas; tas nozīmē, ka mēs šajā gadījumā efektīvi atrodamies 2D telpā, un ir spēkā jau pieminētais fakts – 2D telpā lauka intensitāte samazinās apgriezti proporcionāli attālumam līdz lauka avotam.

Otrajā lekcijas daļā mēs aplūkosim, kā var iegūt sakarību, ko jūs izmantojāt magnētiskā lauka vērtības noteikšanai: magnētiskajā laukā iekārts magnēts sāk svārstīties ar periodu $T=2\pi\sqrt{\frac{I}{M\,B}}$, kur *I* šajā gadījumā ir inerces moments, *M* – magnēta magnētiskais dipola moments un *B* – magnētiskā lauka indukcija. Risinot uzdevumu, atkal aizstāsim magnētu ar strāvas kontūru (att. 2), turklāt šoreiz pieņemsim, ka visa kontūra masa ir koncentrēta malās *a* un *c*. Uz visām četrām kontūra malām darbojas Ampēra spēki F_m , kas savstarpēji kompensējas, taču uz malām *a* un *c* darbojošies spēki rada spēka momentu, kas cenšas kontūru atgriezt līdzsvara stāvoklī un rada tā svārstības.



Att.2: Strāvas kontūrs magnētiskajā laukā

Iegūt formulu svārstību periodam ir vienkārši, atceroties visiem pazīstamo matemātisko svārstu: diegā ar garumu *L* iekārtas lodītes svārstību periods ir $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Kas nodrošina šādas lodītes svārstības? Tās smaguma spēks *m g,* kas piespiež lodīti atkal un atkal iziet līdzsvara stāvoklim cauri. No att. 3 ir redzams, ka šī situācija ir pilnībā ekvivalenta magnētiskā kontūra svārstībām magnētiskajā laukā, tikai smaguma spēka vietā tagad strādā Ampēra spēks $F_m=B\,i\,h$ (*i* – kontūrā plūstošās strāvas stiprums).



Att.3: Analoģija starp matemātiskā svārsta svārstībām smaguma spēka laukā un strāvas kontūra svārstībām magnētiskajā laukā

Līdz ar to izsakām, ka *g* vietā tagad svārstību perioda formulā rakstāms *B i h / m*: $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ pārvēršas par $T=2\pi\sqrt{\frac{m\,l}{B\,i\,h}}$. Pareizinot daļas skaitītāju un saucēju ar 2 *l*, iegūstam $T=2\pi\sqrt{\frac{2\,m\,l^2}{B\,i\,2\,h\,l}}$, kur 2 *m* l^2, ir kontūra inerces moments, bet 2 *h l* – kontūra laukums, līdz ar to 2 *i h l* ir kontūra magnētiskais moments *M*: esam ieguvuši meklēto sakarību $T=2\pi\sqrt{\frac{I}{M\,B}}$! Šo formulu esam izveduši specifiskam kontūram ar specifisku masas sadalījumu, taču tā ir spēkā arī vispārīgā gadījumā – jāievieto tikai pareizas izteiksmes masas sadalījumu raksturojošā inerces momenta un magnēta magnētiskās īpašības raksturojošā magnētiskā momenta aprēķinam.