

# ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРІСТЕГІ ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ

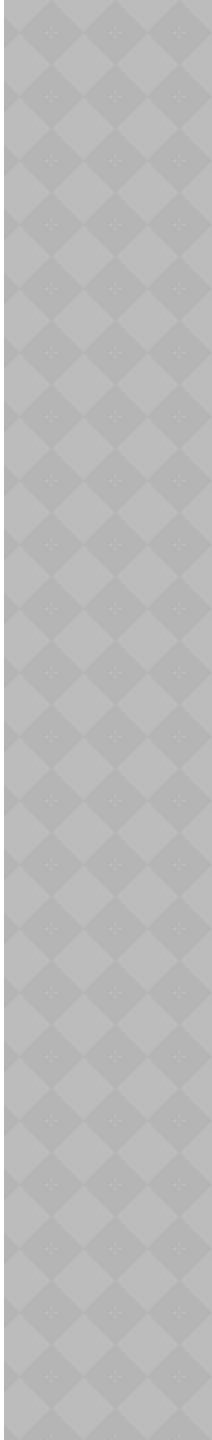
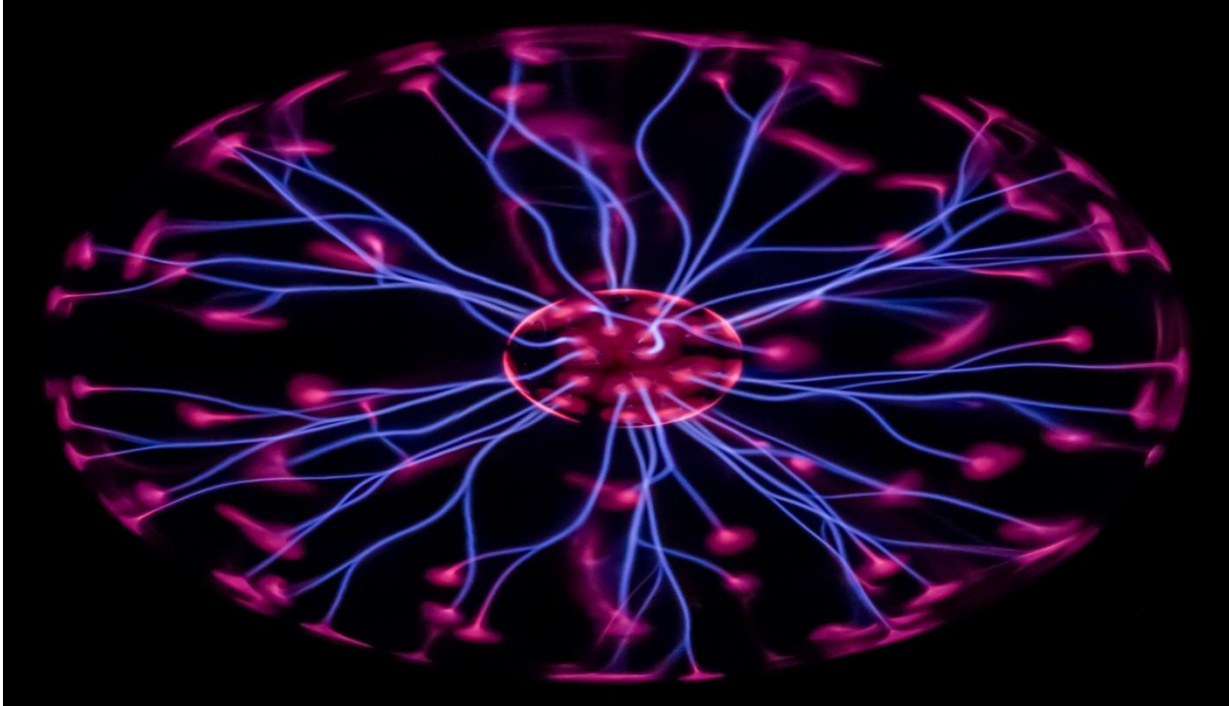
Орындаған: Тоқтауғалиева Самға

# МАҚСАТЫ:

- ◎ Зарядталған бөлшектердің біртекті магнит, біртекті электромагниттік, біртекті емес магнит өрістеріндегі қозғалыстарын зерттеу.

- ⊙ Плазма космоста кеңінен таралған және өзіне тән қасиеттері бар, қазіргі заманғы техникада маңызды мәселелерге арналған, өндірістерде кең қолдануын тапқан заттың күйі болып табылады.
- ⊙ Қазіргі кезде плазманы зерттеуде қолданылатын жаңа әдістер үлкен техникалық мәселелермен байланысты. Сол мәселелердің негізгілері басқарылатын термоядролық синтез (БТС), жылулық энергияны электр энергиясына магнитті– гидродинамикалық түрлендіру болып табылады.
- ⊙ Басқарылатын термоядролық синтез проблемасы – термоядролық плазманы қыздыру және оны ұстап тұру.
- ⊙ Бұл облыста магнит өрісі плазманың күш сызықтары бойымен плазманың еркін жайылуына мүмкіндік беріп, бірақ оның перпендикуляр бағытта қозғалуына кедергі жасау арқылы магнит өрісімен ұстау идеясы ұсынылған.
- ⊙ Осы арқылы плазманы камера қабырғаларынан тұйықтау (оңашалау) мүмкіндігі ашылды. Жоғарғы температурадағы плазманы біртіндеп қыздыру және ұзақ квазистационар күйде ұстауға арналған магнитті тордың бірнеше түрлері бар. Олардың қатарына тұйықталған тороидальды қондырғылар (токамак, стеллаторлар) және магнитті тығыны бар ашық торлар жатады. Әр түрлі қондырғылардағы эксперименттер бұл мәселенің (проблеманың) соншалықты өте күрделі екенін көрсетті.

- Плазманы газды қоспаның қандай да бір жеке түрі деп қарастыруға болғанымен, бірнеше негізгі физикалық қасиеттеріне байланысты плазма жай газдан көп ерекшеленеді. Ол айырмашалық көбіне плазманың электр және магнит өрістеріндегі қозғалысында байқалады. Жай нейтралды газға электр және магнит өрістері елеулі әсер бермесе, оған керісінше плазма мұндай өрістердің әсерінен өзінің қасиеттерін күшті өзгерте алады. **Электр өрісінің әсерінен (өте аз болса да) плазмада электр тогы пайда болады. Магнит өрісінде плазма өзіне тән (өзгеше) диамагнитті зат ретінде көрсетеді.**
- Плазмалық процестердің барлық ерекше белгілері бөлшектердің қозғалыс заңдарымен анықталатын болғандықтан, плазманың магниттік қасиеттерін қарастырмас бұрын, жеке зарядталған бөлшектердің берілген электр және магнит өрістерінде қозғалысын қарастырған дұрыс



ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕККЕ  
ӘСЕР ЕТЕТІН КҮШ.  
ҚОЗҒАЛЫС ТЕНДЕУІ.

- ⊙ Егер кеңістіктің қандай да бір аумағында тұрақты электр өрісі мен магнит өрісі бар болса, онда зарядталған бөлшекке әсер ететін  $F$  күші (1) формуламен анықталады :

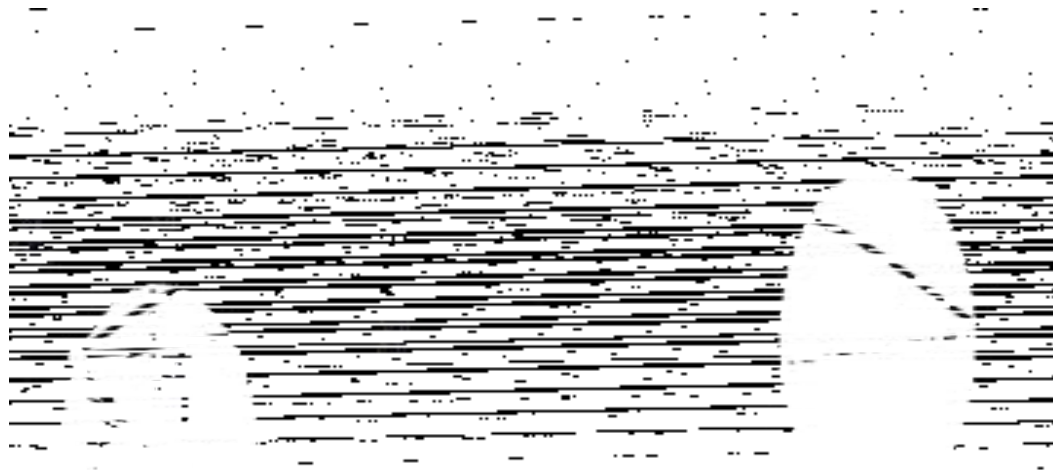
- ⊙ 
$$F = q\vec{E} + q\left[\vec{v}\vec{B}\right]$$

мұндағы  $q$  - бөлшектің заряды,  $v$  - оның жылдамдығы.

Берілген өрістегі бөлшектің қозғалысы төмендегі теңдеумен сипатталады:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}]$$

# ТҰРАҚТЫ МАГНИТ ӨРІСІНДЕГІ БӨЛШЕКТІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ





- Бөлшек  $\vec{v}$  бастапқы жылдамдықпен
- $\vec{B}$  векторға қарағанда  $\alpha$  бұрыш жасайтын болсын.  $\vec{v}$  жылдамдықты екі құраушыға жіктейміз:
- магнит өрісіне параллель  $v_{\parallel}$
- магнит өрісіне перпендикуляр  $v_{\perp}$
- $v_{\parallel}$  шамасы қозғалыс кезінде өзгеріссіз қалады. Лоренц күші магнит өрісіне перпендикуляр жазықтықта жатады:

$$F = qv_{\perp}B$$

$$F = m\vartheta_{\perp}^2/r_l$$

$$qv_{\perp}B = m\vartheta_{\perp}^2/r_l$$

- Бөлшек Лармор радиусы бойынша айнала қозғалады:

Лармор радиусы

$$r_l = m v_{\perp} / qB$$

- Айналу периоды

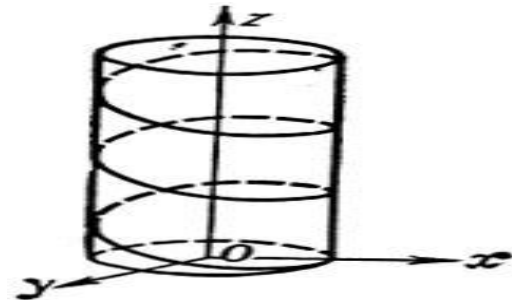
$$T = 2\pi m / qB$$

- Ларморлық жиілік

$$\omega = qB / m$$

- Бұранда сызықтың қадамы мынаған тең:

- $$h = 2\pi m v \sin \alpha_0 / qB$$



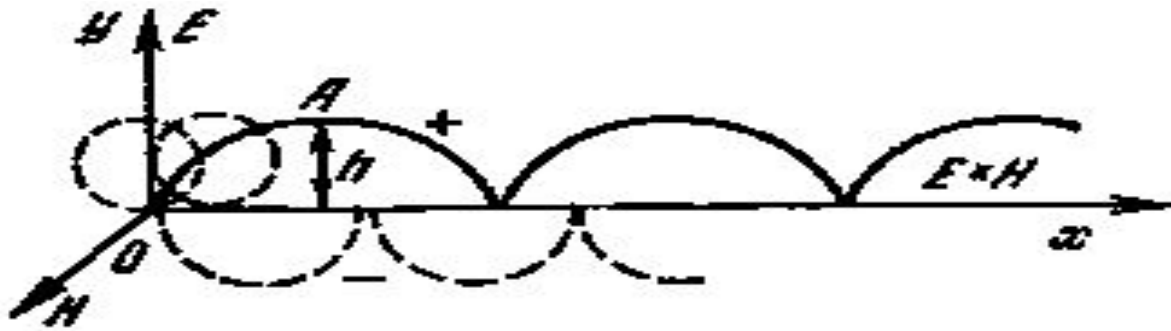
- Зарядталған бөлшек магнит өрісі бар кеңістікте жалпы жағдайда бұранда түрінде болатын траекториямен қозғалады.

# ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ӨРІСІ МЕН МАГНИТ ӨРІСІНДЕГІ ҚОЗҒАЛЫСЫ ( $E \neq 0$ , $B \neq 0$ БОЛҒАНДА)

- Зарядталған бөлшектерге біруақытта магнит өрісі мен электр өрістері қатар әсер ететін жағдайды қарастырамыз. Алдымен, магнит және электр өрістері тұрақты болсын.
- Егер электр өрісі магнит өрісіне параллель бағытталса, онда ол бөлшекті өзінің бағыты бойымен магнит өрісі жоқ сияқты үдемелі немесе кемімелі қозғалысқа келтіреді. Сонымен қатар  $\vec{B}$ -ға перпендикуляр жазықтықта бөлшектердің қозғалысы өзгермейді. Сондықтан бұл жағдайда бөлшектердің траекториясы біртіндеп созылатын орамдық сызық болады (электр өрісінің бағыты мен жылдамдықтың көлденең компонентінің бастапқы шамасына байланысты) .



- Егер магнит өрісі электр өрісіне перпендикуляр болса, мүлдем басқа көріністі аламыз.
- Бастапқы уақытта оң бөлшек  $O$  нүктесінде тұрсын делік және оның жылдамдығы  $0$ -ге тең болсын. Ол  $y$  осі бойымен электр өрісінің әсерінен үдейді. Бөлшектердің жылдамдығы артқанына қарай оған магнит өрісі тарапынан әсер ететін күш те артады, себебі бұл күш те жылдамдыққа пропорционал. Күш бөлшекті ауытқытады және оның жолы  $x$  осіне қарай қисаяды.

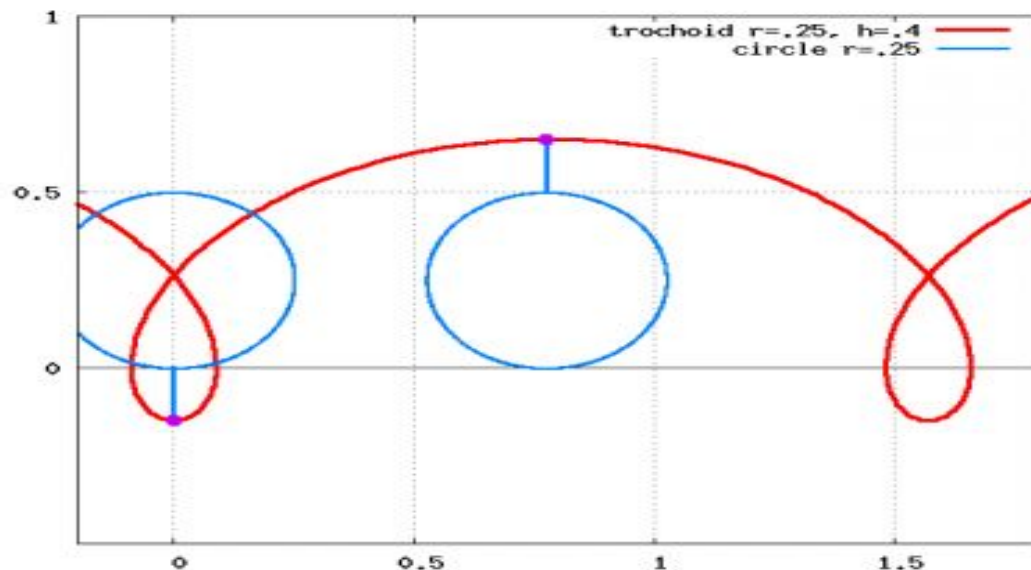


Зарядталған бөлшектердің айқас өрістерде циклоид бойынша қозғалысы. Магнит өрісі сурет жазықтығына перпендикуляр. Электр өрісі төменнен жоғарыға қарай бағытталған.

Бөлшектің траекториясы периодты түрде қайталанатын бірдей жарты шеңберлерден тұрады. Әр жеке жарты шеңбер геометриялық түрде белгілі қисықты- циклоидты береді, оның биіктігі  $h=2mE/qV^2$ , ал бөлшек циклоид бойымен қозғалған кездегі уақыт  $6.28m/qV^2$ , яғни шамасы жағынан лармор шеңбері бойымен айналыс периодына сәйкес келеді. Осындай аралас өрістер әсерінен теріс зарядты бөлшек те қайталанатын циклоидтан тұратын жолмен қозғалады. Мұндай траектория суретте үзік сызықтармен көрсетілген.

- Қарап отырсақ, әр таңбадағы бөлшектер үшін өстің бойымен орын ауыстыру бағыттары бірдей екенін байқаймыз. Ион немесе электронның циклоид бойынша қозғалысы  $1/2h$  радиусты шеңбер бойымен айналу мен  $x$  осінің бойымен  $E / B$  жылдамдықпен ілгерлемелі орын ауыстырудың қосындысына тең. Бұл ілгерлемелі қозғалыстың жылдамдығы  $\vartheta$  барлық бөлшектер үшін заряды мен массасына тәуелсіз бірдей болады. Ол электр өрісіне де магнит өрісіне де перпендикуляр және  $[\vec{E}\vec{B}]$  бағытына бағыттас болады.

- Қандай-да бір  $90$  бастапқы жылдамдығы бар бөлшектің қозғалысын қарастырайық.



Мұндай траекториялар трохоидтар деп аталады.

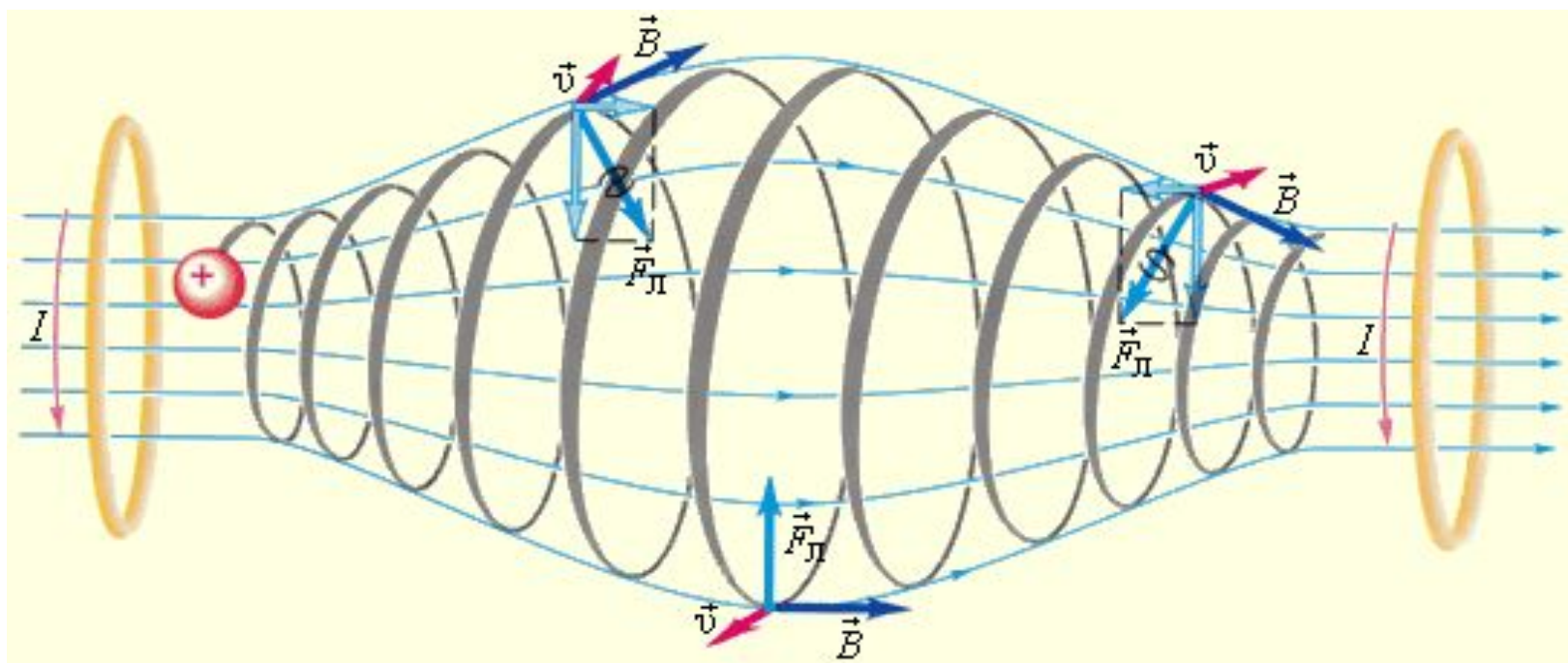
- Трохоид бойынша қозғалысты айналу және  $x$  өсі бойымен орын ауыстыруға жіктеуге болады. Ілгерлемелі қозғалыс жылдамдығы кез-келген жағдайда  $E / B$  - ға тең. Сондықтан  $E$  мен  $B$  айқас (өзара перпендикуляр) өрістерде зарядталған бөлшектер  $B$  бағытымен бұранда сызық бойынша қозғалыстан басқа қосымша электрлік дрейфке ұшырап, ол магнит өрісінің күш сызықтарына көлденең бағытта қозғалады.

$$\vec{v}_d = 1/B^2 [\vec{E} \vec{B}]$$

- Жылдамдығы  $\vec{v}_d$  анықталатын  $E$  және  $B$  векторларына перпендикуляр бағытта ығысу - электрлік дрейф деп аталады.



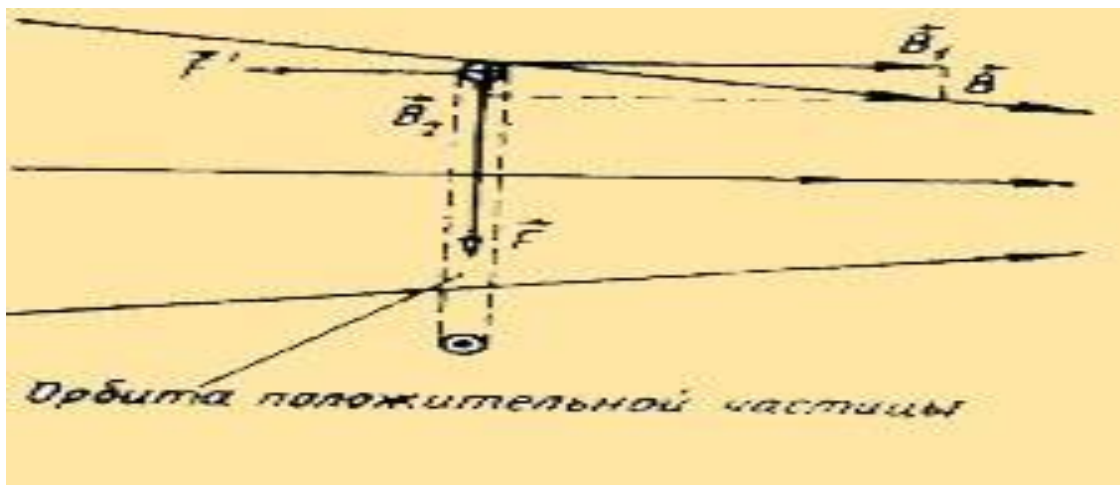
# БІРТЕКТІ ЕМЕС МАГНИТ ӨРІСІНДЕГІ БӨЛШЕКТІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ.



- Табиғатта, сонымен қатар ғылыми немесе техникалық мақсаттарда қолданылатын әр түрлі құрылғыларда зарядталған бөлшектің қозғалысы көбіне біртекті емес магнит өрістерінде болады. Мұндай өрістерде  $B$  -ның шамасы мен бағыты кеңістіктің әр нүктесінде өзгереді.
- Баяу өзгертін магнит өрісінің аз аумағында бөлшектің траекториясы бұранда сызықты құрайды. Егер осы траектория бойында  $B$  шамасы өзгерсе, онда біруақытта бұранда сызық орамдарының радиустарының өзгеруі болуы керек. Сонымен қатар, бұрандалы сызықтың тіктілігі өзгертін болады немесе траекторияның күш сызықтарымен жасайтын бұрышы өзгереді.
- Күшті магнит өрісі аймағына жақындағанда, бұрандалы сызық сығылады, ал әлсіз өріс аймағында созылады. Егер бөлшек әлсіз өрістен шығып, күшті өріс аймағына жақындағанда және оның бастапқы жылдамдығы күш сызықтары бағыты өте аз емес бұрыш құраса, онда бөлшектің күшті өріс аймағынан шағылуы болады.

- Бөлшектің мұндай қимылын біртекті емес магнит өрісінде қозғалғанда пайда болатын күштерді қарастыру арқылы түсіндіруге болады. Өріс тек арақашықтық траектория тіктілігінің радиусынан бірнеше есе үлкен болғанда ғана айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Сондықтан бірнеше орамы бар бөліктегі бөлшектің жүрген жолы бұранданың тұрақты радиусы және тұрақты қадамымен бұрандалы сызықтың түрін сақтайды. Бірақ кернеулігі өсетін немесе кемитін өрісте жолдың үлкен бөлігін қарастырғанда, траекторияны сипаттайтын параметрлер айтарлықтай өзгереді. Бұрандалы сызықтың орам радиусы ғана емес, сонымен қатар  $\alpha$  бұрышы да өзгереді, яғни жылдамдықтың көлденең және қума құраушылары арасындағы қатынас өзгереді.

- Оның болу себебі, өрістің кернеулігі  $B$  векторы бағытында өзгергендіктен күш сызықтары паралель болмайды да, жинақталатын немесе шашырайтын шоқтар құрайды. Соның әсерінен жылдамдықтың **көлденең құраушысы бағытында бөлшекке әсер ететін күш пайда болады**. Егер бөлшек  $B$  -ның **өсу бағытында қозғалса**, онда ол күш бойлық қозғалысты **тежейді**, керісінше жағдайда ол өріс сызықтары бойындағы бөлшектерді үдетеді. Негізінде бұл күш үдеткіштерде бөлшектердің күш сызықтары бойынан кетіп қалуға мүмкіндік бермеу үшін фокустауды қамтамасыз етеді.



- Магнит моментінің инвариантылығына плазманы ұстап тұрудың схемаларының бірі – магниттік айна (магнитті тығын) негізделген. Әдіс идеясы келесіден тұрады. Жылулық қозғалыс әсерінен бөлшек  $V$  әлсіз өріс аймағынан күшті аймаққа қозғалсын делік. Егер бөлшектің қозғалыс бағытында  $V$  артатын болса,  $\mu$  сақталу үшін  $\vartheta \perp$  көлденең жылдамдық та өсу керек. Бөлшектің толық энергиясы сақталу үшін,  $\vartheta //$  кемуі керек. Егер  $V$  өрісі өсе беретін болса, оның белгілі бір  $V_m$  мәнінде  $\vartheta // = 0$ ,  $\vartheta \perp = \vartheta$  болып бөлшек өрістің аз аймағына қарай «шағылады».

