

ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖОҚАРЫ ҲӘМ ОРТА АРНАЎЛЫ
БИЛИМ МИНИСТРЛИГИ

БЕРДАҚ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҚАЛПАҚ МӘМЛЕКЕТЛИК
УНИВЕРСИТЕТИ

УЛЫЎМА ФИЗИКА КАФЕДРАСЫ

Б. Жоллыбеков ҳәм И. Гулимбетов

Тема: Холл эффекти

Нөкис - 2010

Керекли әсбап үскенелер: Холл есаплағышы, тұрақлы ток дереги, батарея, потенциометр, электромагнит хәм тағы басқа.

Жұмыстың мақсети: Ярым өткізгіштеги Холл э.қ.к. тиң магнит майданы шамасына ғәрзилигин үйрениў, ярым өткізгіштин электр өткізгішлиги анықланады, ток тасыўшылар концентрациясы хәм басқада параметрлерин анықлаў.

Металларда да, ярым өткізгішлерде де Холл эффектін изретлеў электр зарядларының қозғалысын үйрениўдин эффектив (нәтийжели) усылы болып есапланады. Холл эффекти өткізгішлердин әҳмийетли характеристикалары болған ток тасыўшылардың концентрациясы, ток тасыўшылардың белгиси ҳаққында хабар береді. Ол ярым өткізгішлердин n -типли (электронлық өткізгішлик) ямаса p -типли (тегислик өткізгішлик) екенлигин анықлаўға имканият береді, сонлықтан ярым өткізгішлерди изретлеўдин әҳмийетли усылы болып есапланады.

Холл эффектиниң мәниси төмендегиден ибарат. Мейли ярым өткізгіш үлги узынлығы l , ени d , қалыңлығы b болған туўры мүйешли пластинка формасында болсын (1-сүүрет). Егер үлгиниң узынлығы бойынша (Y көшери бағыты) $\vec{I}$ тогын жиберсек, пластинка тегислигине перпендикуляр бағытта (X көшери бағытында) $\vec{B}$ магнит майданын түсирсек, онда $\vec{I}$ хәм $\vec{B}$ ға перпендикуляр бағытта (Z көшери бағытында) кернеўлиги $\vec{E}_{\text{холл}}$ болған Холл майданы деп аталатуғын электр майданы пайда болады. Холл майданы үлгиниң қаптал бетлериндеги симметриялы C хәм D точкалары арасындағы потенциаллар айырмасы менен характерленеди. Бул потенциаллар айырмасы Холл э.қ.к. $\epsilon_{\text{холл}}$ деп аталады.

Холл эффекти тәбияты магнит майданында қозғалыўшы электр зарядларына тәсир етиўши Лоренц күши менен түсиндириледі. Лоренц күшиниң шамасы хәм бағыты төмендеги теңлеме менен анықланады.

$$\vec{F} = e[\vec{v} \vec{B}]$$

бунда $\vec{B}$ - магнит майданы индукциясы, $\vec{v}$ - зарядтың қозғалыс теңлемеси, e -ток тасыўшылар заряды, “+e” – тегислик өткізгішлик ушын, “-e” – электронлық өткізгішлик ушын.

Холл электр майданы

$$E_{\text{холл}} = vB \quad (2)$$

менен Холл э.қ.к. $\epsilon_{\text{холл}}$ төмендегише байланысқан

$$\epsilon_{\text{холл}} = U_{\text{холл}} = E_{\text{холл}}d = vBd \quad (3)$$

үлгиниң бирлик бетинен өтип атырған ток күши, яғный ток тығызлығы

$$j = env \quad (4)$$

болғанлықтан, ток күши

$$I = jbd = envbd \quad (5)$$

бунда n – үлгиниң бирлик көлеминдеги ток тасыўшылар саны (ток тасыўшылар концентрациясы).

Олай болса

$$\vartheta = \frac{I}{enbd} \quad (6)$$

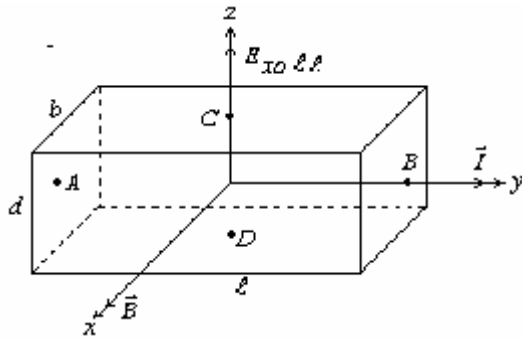
хәм

$$\varepsilon_{xoll} = \frac{IB}{enb} \quad (7)$$

Солай етип Холл э.қ.к. үлгіден өтетұғын ток күшіне I ге пропорционал, ал үлгі қалыңдығы b ға кері пропорциональ болады.

Тәжірибеде Холл э.қ.к. қалыңдығы b белгилі болған, хәм үлгіден өтетұғын I токтың э.қ.к. ұсылайынша алынған мәнісін үлгі қалыңдығының бір бірлігі хәм ток күшінің бір бірлігі үшін есаплайды, яғнай

$$\varepsilon_{xoll}^* = \frac{\varepsilon_{xoll} b}{I} \quad (8)$$



1-сүрөт

шамасын есаплайды, бул шама салыстырмалы ямаса келтирилген Холл э.қ.к. деп аталады. Келтирилген Холл э.қ.к. магнит майданы индукциясы B ға пропорционал болады:

$$\varepsilon_{xoll}^* = RB \quad (9)$$

бундағы

$$R = \frac{1}{en} \quad (10)$$

пропорционаллық коэффициенті изертленип атырған заттың характеристикасы хәм Холл коэффициенті ямаса Холл тұрақлысы деп аталады. (10) аңлатпа классикалық Холл тұрақлысы үшін алынған, яғнай бірлік ток тасыўшылар теңдей қозғалыс тезлигине ийе хәм ол өзгермейди деп есапланған. Ал реаль затларда ток тасыўшылар қоспа атомлар, пәнжере тербелісі менен соқлығысып, шашырайды. Сонлықтан R мәнісіне дүзетиў киргизиў керек. Мысалы меншикли өткізгішлікке ийе болған таза ярым өткізгішлерде Холл тұрақлысы үшін төмендегі аңлатпа орынлы болады:

$$R = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{en} \quad (11)$$

Холл тұрақлысынан ток тасыўшылар концентрациясына ғәрезлилігінен (11), тәжірибеде ток тасыўшылар тәбиятын анықлаўға болады.

Қалыңдығы b болған үлгіден электр тоқын жиберіп магнит майданының хәр қыйлы B мәніслері үшін Холл э.қ.к. өлшейди. (8) формула бойынша салыстырмалы Холл э.қ.к. есаплап, $\varepsilon^*(B)$ ғәрезлилігінің графигін сызады, ол сызықлы болыўы керек. $\varepsilon^*(B)$ туўрысының қыялық мүйешинен тангенсі бойынша Холл тұрақлысы R ди анықлайды. (11) формуладан пайдаланып хәм $e=1,6 \cdot 10^{19}$ Кл екенлігін есапқа алып ток тасыўшылар концентрациясын анықлайды.

$$n = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{Re} = 7,4 \cdot 10^{-18} \frac{1}{R} \quad (12)$$

ε_{coll} ди тәжірийбеде анықлағанда төмендегилерге итибар беріу керек: Холл эффектинен басқа гальваномагнит эффекти, термомагнит эффект хәм басқаларда болыуы мүмкін. Қосымша эффектлердің тәсірін болдырмау үшін бул эффектлердің жуплық қасиетлеринен, яғнай магнит майданы бағытына ғәрезсиз екенлигинен пайдаланады. Ал Холл эффекти магнит майданы бағыты өзгериуине байланыслы өзиниң белгисин өзгертеди, яғнай тақ эффект.

Қосымша эффектлердің тәсірін болдырмау хәм ε_{coll} ҳақыйқый мәнисин анықлау үшін Холл контактлери арасындағы кернеуди магнит майданының еки бағыты ушын өлшейди хәм олардың

$$\varepsilon_{coll} = \frac{|U_1| + |U_2|}{2} \quad (13)$$

мәнисин алады, бунда U_1, U_2 - магнит майданының қарама-қарсы бағытлары ушын өлшенген Холл контактлери арасындағы потенциаллар.

Холл турақлысы менен бирге ярым өткизгиштин салыстырмалы электр қарсылығын анықласақ, онда тағы бир әҳмийетли характеристика болған тоқ тасыушылардың қозғалғышлығын анықлауға болады.

Кернеулиги 1В/м болған электр майданындағы тоқ тасыушылардың дрейфлик тезлиги олардың қозғалғышлығы деп аталады. Егерде тоқ тасыушылар кернеулиги E болған майданда қозғалатуғын болса, онда олардың дрейфлик тезлиги

$$g = \mu E \quad (14)$$

олай болса

$$j = en g = en \mu E \quad (15)$$

Ом нызамы бойынша

$$j = \sigma E \quad (16)$$

бунда σ - затлардың салыстырмалы электр өткизгишлиги, ол (15) хәм (16) бойынша

$$\sigma = en \mu \quad (17)$$

Салыстырмалы электр қарсылығы

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{en \mu} \quad (18)$$

буннан

$$\mu = \frac{1}{\rho en} \quad (19)$$

Егерде (11) ди есапқа алсақ, онда

$$\mu = \frac{8}{3\pi} \frac{R}{\rho} = 0,85 \frac{R}{\rho} \quad (20)$$

үлгиниң салыстырмалы электр қарсылығын анықлау үшін, үлгиниң узын бетиндеги $\Delta \ell$ қашықтықтағы еки контакт арасындағы электр қарсылығын өлшейди. Буның ушын үлгиниң узынлығы бойлап I тоқ жибереди хәм көрсетилген контактлер арасындағы кернеу түсиріп U_ρ өлшенеди. Онда салыстырмалы қарсылық төмендегише анықланады.

$$\rho = \frac{U_\rho}{I} \frac{bd}{\Delta \ell} \quad (21)$$

бунда bd үлгинің кесе кесими. Есаплауға киритілген барлық шамалар СИ бирліклер системасында аңлатылады.

Ярым өткізгіштің типін анықлау үшін яғнай тоқ тасыушылардың белгисін анықлау үшін тоқтың хәм магнит майданының берілген бағытындағы Холл э.к.к. белгисін анықлау керек.

Холл эффектін хәм салыстырмалы қарсылықты өлшеу схемасы 2-сүүретте көрсетілген. Изертленип атырған үлги ярым өткізгіш заттан тууры мүйешли пластинка түрінде таярланған, өлшемлери үскенеде көрсетілген. Бунда

- | | |
|-----|--|
| 1-1 | Үлгиден электр ток жиберіу үшін ток контактлери; |
| 2-2 | Қарсылықты өлшеу үшін контактлер; |
| 3-3 | Холл эффектін өлшеу үшін контактлер. |

Үлгиге тоқ ε_1 батареядан алып бериледи. Тоқ күши қарсылықлар жыйнағы R менен ретленеди хәм мА миллиамперметр менен өлшенеди.

Үлгидеги магнит майданы SN электромагнит жәрдемінде пайда етиледи, ол тураклы тоқ дереги U ден тоқ алады. Электромагниттеги тоқ күши Im амперметр жәрдемінде өлшенеди. Электромагнит саңлағы арасындағы магнит майданының индукциясы тоқ күшинің Im хәр қыйлы мәнисіндеги градуировка иймеклиги ямаса кестеден анықланады. Электромагнит пролюслери арасына үлги тегислиги магнит майданына перпердикуляр етип орналастырылады. Магнит майданы бағытын өзгертиу арқалы S_2 қайта қосқыш жәрдемінде орынланады. 2-2 контактлери арасындағы үлгиге түсип атырған кернеу U_ρ хәм 3-3 Холл контактлери арасындағы кернеу U_{xoll} компенсациялық усыл менен өлшенеди. Компенсациялық схема ретінде жоқары омлық Р37-1 потенциометри пайдаланылады. Потенциометр еки хәр қыйлы кернеуді өлшеу үшін еки X_1 хәм X_2 қысқышларына ийе. X_1 ге U_ρ кернеуі, ал X_2 ге U_{xoll} кернеуі бериледи.

Потенциометрдеги жұмысшы тоқты ε_2 хәм ε_3 батареялары береди, олар потенциометрдің B_A хәм B_V қысқышларына бериледи. Жұмысшы тоқ шамасы нормаль элемент НЭ беретугын эталон кернеу бойынша бериледи.

Потенциометрдің нуль-индикаторы ретінде Г гальванометри алынады. Гальванометр нольди көрсетсе, демек өлшеу схемасында теппе-теңлик халы алынады. Бул өлшенип атырған кернеу потенциометрдеги теппе-теңлик кернеуге ийе дегенди аңлатады.

Гальванометрдің сезгирлигин өзгертиу үшін шамасы “10 Мом-0” қайта қосыуы менен өзгертилетуғын шунтлық қарсылық пайдаланылады. “10 МОм” халы минималь сезгирликти, ал “0” халы – гальванометрдің максималь сезгирлигине сәйкес келеди. өлшеулерди бәрқулла ең төмен сезгирликтен баслайды хәм кернеуді избе-из теңлестиріу барысында избе-из гальванометрдің максималь сезгирликке өтеди.

Тапсырма 1. Салыстырмалы қарсылықты өлшеу.

Дәслепки потенциометрдің ислеуі менен танысың. “Измерение” түймесін басып хәм үлкен болмаған мүйешке бурып усы халда бекитиледи.

I_A жұмысшы тогы бериледи. Буның үшін жұмыс түри қайта қосыу I_A халына қойылып, “среднее” хәм “точно” тутқалары менен (I_A тогине тийисли) гальванометрдеги көрсеткіш нольге қойылады.

Жұмыс түри қайта қосыуы X_1 халына қойылады. Гальванометр сезгирлиги ең аз “10 МОм” халына қойылады.

R қарсылық декадалары халы тексерилсин (қарсылық толығы менен қосылыуы керек). S_1 гилтти тутастырып $I = 0,5 mA$ тогы орнатылады. Пайда болған кернеу U_ρ өлшенсин. Бул кернеу төмендегіше өлшенеди. Индикатордың көрсеткіші нольді көрсеткенше тепе-теңлік кернеу өлшеуші декадалар жәрдемінде арттырылады. Бул жағдайда гальванометр сезгірлігінде бір уақытта арттырылап барылады. Гальванометрдің максимал сезгірлігінде теңлестіріу іслеп кернеу мәнісі өлшенеди.

Гальванометр ең киші сезгірлікке қайта қойылып үлгіден өшетуғын ток I дің басқа мәнісі ушында U_ρ өлшенеди. Токтың $I = 1, 2$ хәм $3 mA$ шамаларында U_ρ ди өлшеп (21) формула жәрдемінде салыстырмалы қарсылық ρ өлшенеди.

Тапсырма 2. Холл эффектин үйреніу.

Жумыс түрі қайта қосыуы I_B халына қойылып усы токқа тийисли “*среднее*” хәм “*точно*” тутқалары жәрдемінде гальванометр корсеткіші нольге келтириледі.

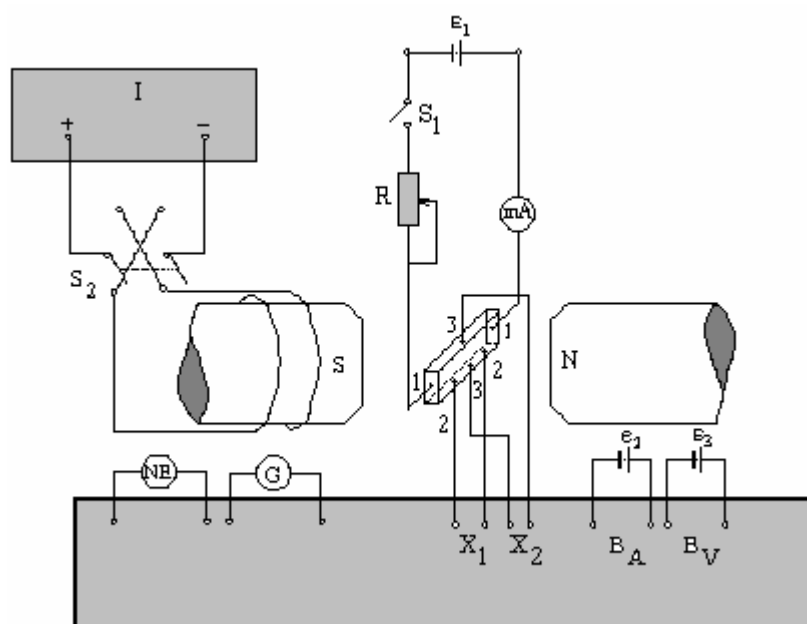
Жумыс түрі қайта қосыуы X_2 халына қойылады. Үлгиге $I = 1 mA$ ток бериледи. Турақлы ток көзине электромагнит орамларына $I_M = 0,1 A$ ток бериледи. Жоқарыда көрсетілген U_ρ өлшеу усылы менен U_{xoll} шамасы өлшенсин.

Өлшеулер электромагниттен өтип атырған ток I_M хәр қыйлы мәніслери ушын яғный магнит майданының хәр қыйлы мәніслери ушын орынлансын.

Электромагниттеги ток бағыты S_2 гилти жәрдемінде өзгертилип хәм потенциометрдің X_2 қысқышларындағы полярлық өзгертилип электромагниттен өтип атырған токтың усы мәніслеріндеги U_{xoll} шамасы өлшенсин. Майданның еки бағыты ушын анықланған ε_{xoll} шамаларының орташа арифметикалық шамасы (13) формула бойынша анықлансын. Салыстырмалы Холл э.к.к. ε_{xoll}^* (8) формуладан анықланып ε_{xoll}^* (13) ғәрезилигиниң графиги сызылсын хәм усы ғәрезиликтиң қыялық мүйешиниң тангенс бойынша Холл турақлысы R анықлансын.

Үлгиге $I = 3 mA$ ток берип өлшеулер қайталансын. Салыстырмалы қарсылық ρ хәм Холл турақлысы R мәніслериниң табылған шамалары бойынша изертленип атырған ярым өткізгіштен ток тасыушылар концентрациясы n анықлансын, ток тасыушылардың қозғалғышлығы μ (12) хәм (20) формулалар жәрдемінде анықлансын.

Ток тасыушылардың типин анықлау ушын ε_1 ток дерегиниң полюслери бойынша үлгідеги ток I бағыты, магнит майданы $\vec{B}$ бағыты (магнит көрсеткіші жәрдемінде) хәм потенциометрдің X_2 қысқышлары полюслери бойынша Холл э.к.к. ε_{xoll} белгисин табыу керек.



2-сүрөт

Баклаў ушын сораўлар

1. Холл эффекти деген не?
2. Холл э.к.к. ушын аңлатпаны келтирип шығарың.
3. Холл тураклысы ушын аңлатпасын жазың. Оны тәжірийбеде қалай анықлайды?
4. Тоқ тасыўшылар концентрациясын қалай есаплайды?
5. Ярым өткизгишлерде электр өткизгишликтің қандай түрлери болады?
6. Потенциометрде кернеўди өлшеў операцияларының избе-излигин айтып берің.