

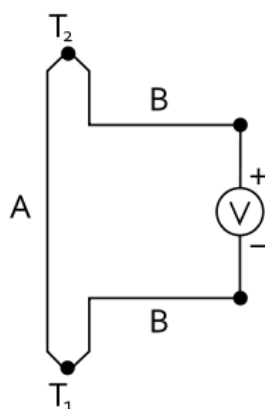
Лекц 16

ЦАХИЛГААН



16.1 Термо цахилгаан үзэгдэл

Хоёр өөр дамжуулагчаас тогтох битүү хэлхээг авч үзье. Хэлхээнд дамжуулагчдыг холбож гагнасан хоёр залгаас байна. Эдгээр залгаасны температур ялгаатай болоход хэлхээнд ЦХХ үүсдэг. Энэ үзэгдлийг термо цахилгаан үзэгдэл гэх бөгөөд анх 1821 онд Германы физикч Томас Зеебек нээжээ. ЦХХ-ний хэмжээ нь дамжуулагчдын төрөл болон үзүүрүүдийн температураас хамаарна.



Зураг 16.1. Хоёр өөр дамжуулагчаас тогтох термо хос.

16.1-р зурагт А болон В дамжуулагчаас тогтох битүү хүрээг харуулжээ. Хэлхээнд үүсэх ЦХХ-г хэмжихийн тулд V вольтметрийг холбосон байна. Хоёр дамжуулагчийн нэг залгаасыг нь T_1 хэмтэй, нөгөөг T_2 хэмтэй болгоход хэлхээнд \mathcal{E} хэмжээтэй ЦХХ үүснэ. Залгаасны хэм хэт өндөр биш бол ЦХХ нь температурын зөрөөтэй

$$\mathcal{E} = \alpha_{AB}(T_2 - T_1) \quad (16.1)$$

хамааралтай байна. α_{AB} –г *термо ЦХХ-ийн коэффициент* гэх бөгөөд дамжуулагчдын шинж чанараас хамаарна. Бүр нарийвчилбал α_{AB} нь ч мөн температураас хамаарах тул

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{AB}(T) dT$$

гэж болно.

Зеебекийн үзэгдэл ажиглагдах нь дараах хэдэн шалтгаантай:

1. Янз бүрийн материалуудын хувьд электроны дундаж энерги температураас хамаарах нь ялгаатай байна. Термо хосын дамжуулагч аль ч дамжуулагчийн дагууд температурын градиент байвал түүний халуун үзүүр дахь электронууд нь хүйтэн үзүүрт буй электронуудаас их энергитэй, илүү их хурдтай байна. Иймээс халуун үзүүрээс нь электронууд хүйтэн үзүүр рүү шилжиж, халуун үзүүр нь эерэг потенциалтай, хүйтэн үзүүр нь сөрөг потенциалтай болно. Аль ч дамжуулагчийн хувьд энэ үзэгдэл явагдах бөгөөд хүчдэл нь нэмэгдсээр тодорхой ΔU утгад хүрэхэд электронуудын урсгал зогсоно. Дамжуулагч дотор үүссэн цахилгаан орны хүчлэг нь $E = -\Delta U / \Delta x$ байна. Харин дамжуулагчийн L урттай хэсэгт үүсэх цахилгаан хөдөлгөгч хүч нь

$$\mathcal{E} = \int_L \vec{E} d\vec{l}$$

байна. Ийм механизмаар үүсэж байгаа ЦХХ-г эзлэхүүний ЦХХ гэдэг.

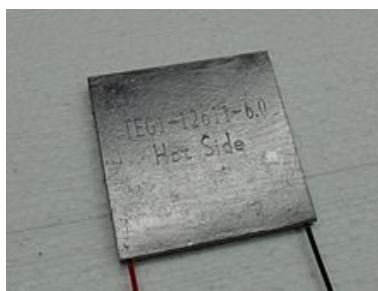
2. Янз бүрийн материалд контактын потенциалын ялгавар температураас хамаарах нь ялгаатай байдаг. Хоёр металлын гадаргуу нийлж байгаа хэсэгт *контактын потенциалын ялгавар* үүсдэг. Тэдгээр металлуудад Фермийн энерги ялгаатай байгаа нь контактын потенциалын ялгавар үүсэх нөхцөл болдог. Металлуудыг нийлүүлэхэд Фермийн түвшин нь адилхан болох бөгөөд

$$\Delta\varphi = \frac{1}{e}(F_1 - F_2)$$

хэмжээтэй потенциалын ялгавар залгаасны нимгэн үе дээр үүснэ. Энд e нь электроны цэнэг, F_1 , F_2 нь Фермийн энерги. Хэрэв битүү хүрээ нь хоёр өөр дамжуулагчаас тогтож байвал дамжуулагчийн хоёр залгаас дээр Фермийн энерги ихтэй дамжуулагчаас нь багатай дамжуулагч уруу чиглэсэн цахилгаан орон үүсгэнэ. Иймээс цэнэгийг хэлхээгээр бүтэн тойруулахад ажил хийгдэхгүй. Өөрөөр хэлбэл цахилгаан орны хүчлэгийн хуйлрал нь тэг болно. Хэрэв аль нэг контактын температурыг dT хэмжээгээр өөрчилбөл Фермийн энерги өөрчлөгдөж, потенциалын зөрөө нь мөн өөрчлөгдөнө. Өөрөөр хэлбэл тухайн контактын цахилгаан орны хүчлэг нь өөрчлөгдөж цахилгаан орны хуйлрал нь тэгээс ялгаатай болно. Ингэснээр битүү хэлхээнд ЦХХ үүснэ. Энэ ЦХХ-ийг контактын ЦХХ гэдэг. Хоёр залгаасыг ижил температуртай болгоход энэ ЦХХ алга болно.

3. Хэрэв хатуу биетэд температурын градиент байвал их температуртай талаас нь бага температуртай тал уруу шилжих фононы тоо их байна. Электрон болон фононы харилцан үйлчлэлийн дүнд хүйтэн үзүүр нь сөрөг, халуун үзүүр нь эерэг цэнэгтэй болдог. Нам температурын үед энэ нөлөө нь дээр өгүүлсэн хоёр ЦХХ-ээс хэдэн арваас хэдэн зуу дахин их болно.

Ийм үзэгдлүүдийн улмаас хоёр өөр металлын залгаасыг ялгаатай температуртай болгоход ЦХХ үүсдэг ажээ.



Зураг 16.2. Янз бүрийн температур дахь Вольт-Амперын характеристик

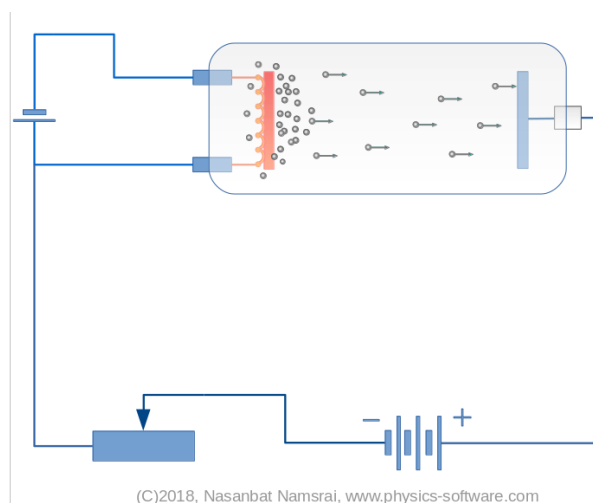
Нэг термо хосын үүсгэх ЦХХ өчүүхэн бага тул маш олон термо хосыг холбож хангалттай чадал бүхий цахилгааны үүсгүүрийг бүтээдэг. Зеебекийн үзэгдлийг ашиглан

хийсэн цахилгааны үүсгүүр нь хэдийгээр ашигт үйлийн коэффициент багатай, овор хэмжээ томтой ч гэсэн хөдлөх эд анги байхгүй тул маш найдвартай ажиллагаатай юм. Ийм үүсгүүрийг хиймэл дагуул, зуухны сэнс, биеийн дулаанаар ажиллах гэрэлтүүлэг гэх мэтэд хэрэглэнэ. Мөн температур хэмжихэд энэ үзэгдлийг ашигладаг.

Зеебекийн үзэгдлийн урвууг Пельтегийн үзэгдэл гэдэг. Өөрөөр хэлбэл энэ нь хоёр өөр дамжуулагчийн залгаасаар цахилгаан гүйдэл гүйхэд дулаан зөөгдөх үзэгдэл юм.

16.2 Термо цахилгаан эмисс. Электрон ламп

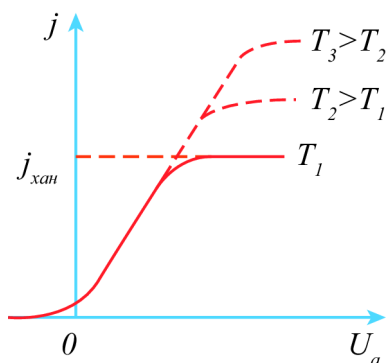
Металл болон зарим шингэн биетийг халаахад электрон сугаран гарах үзэгдлийг термо цахилгаан эмисс гэдэг. Металл дахь чөлөөт электронууд ялгаатай хурдтай, өөрөөр хэлбэл ялгаатай энергитэй. Халаахад зарим электроны хурд нь металлын хилийг орхин одоход хангалттай их энергитэй болно. Халаах тутам эмиссийн электроны тоо нэмэгдэнэ. Гэхдээ металл дахь бүх чөлөөт электронууд сугаран гардаг гэж ойлгож болохгүй. Электронууд гарах тутам металл эерэг цэнэгтэй болж, электронуудыг орчиндоо татаж байдаг. Энэ хоёр үзэгдэл тэнцвэржсэний дүнд тодорхой тооны электронууд халсан металлын орчимд үүл мэт байрладаг.



Зураг 16.3. Вакуумт диод

Энэ үзэгдлийг судлахын тулд вакуум дотор байрлуулсан хоёр электрод бүхий лампыг авч үзье. Энэ лампыг голдуу вакуумт диод гэж нэрлэнэ. Катоцыг тусдаа байрлах гүйдэл үүсгэгчийн тусламжтайгаар халаана. Гүйдлийг нь өөрчилж, катоцын температурыг тохируулж болно. Катоцыг халаахад түүнээс электронууд сугаран гарч эргэн тойронд нь хуралдана. Анод болон катоцын хооронд хүчдэл өгөхөд эдгээр электронууд анодын зүг нисэж, гүйдэл гүйнэ. Энэ гүйдлийн хүчдэлээс хамаарах хамаарлыг байгуулахын тулд катоцын температурыг тогтмол бариад, анод катоцын хүчдэлийг тэгээс эхлэн зугуухан нэмэгдүүлье. Катоцын янз бүрийн температурын үед гүйдэл хүчдэлийн хамаарлыг зурвал 16.4-р зурагт харуулсан график гарна. Графикийг сайтар ажваас анод катоцын хүчдэл тэг байхад өчүүхэн жаахан ч гэсэн гүйдэл байгаа нь харагдаж байна. Үүний шалтгаан нь катодоос хэт их хурдтай сугаран гарсан цөөн тооны электрон анод хүртэл нисэн хүрч байгаагаар холбоотой. Энэ гүйдлийг тэг болгохын тулд бага хэмжээний эсрэг хүчдэл өгөх хэрэгтэй. Хүчдэлийн бага утгад гүйдлийн хүч нь хүчдэлтэй

$$I \sim U^{3/2}$$



Зураг 16.4. Термо цахилгаан үзэгдэлд үндэслэн хийсэн гүйдлийн үүсгүүр.

хамааралтай. Үүнийг хоёрны гурвын хууль гэдэг. Металл болон ихэнх дамжуулагчдын хувьд гүйдэл хүчдэл хоёр шугаман хамааралтай байдагтай жишвэл энэ нь сонирхолтой үзэгдэл юм. Хүчдэлийг цаашид ихэсгэх тутам сугаран гарсан электронууд гүйдэлд татагдан орох нь ихэссээр хүчдэлийн тодорхой утгад гүйдлийн хүч нэмэгдэхээ болино. Учир нь эмиссээр гарсан бүх электронууд гүйдэлд оролцож байгаа тул хүчдэлийг цаашид нэмсэн ч дахин нэмэгдэх цэнэг зөөгч байхгүй тул гүйдлийн утга нь ханаж байна.

Ханасан гүйдлийн нягт нь катодын металл, температур зэргээс хамаарна:

$$j_{\text{хан}} = BT^2 e^{-\frac{A}{kT}} \quad (16.2)$$

Энд $B \approx 60 \text{ A}/(\text{см}^2 \cdot \text{K}^2)$ нь металлын төрлөөс үл хамаарах тогтмол, T нь катодын температур, A нь металлаас электрон гаргахад шаардагдах ажил, k нь Больцманы тогтмол. 16.2-г *Ричардсон-Дешманы* томьёо гэдэг.

16.3 Хий дахь цахилгаан гүйдэл

Цахилгаан гүйдэл хий дотуур нэвтрэх үзэгдлийг *хийн ниргэлэг* гэдэг. Металл, хагас дамжуулагч, электролиз нь ямагт цэнэг зөөгчтэй байдаг, цэнэг зөөгчдийн тоо нь гүйх гүйдлээс бараг хамаардаггүй бол хий дахь цэнэг зөөгчид нь тогтвортой биш, гүйж буй гүйдлийн хэмжээ, бусад үзэгдлээс хүчтэй хамаардаг. Ердийн нөхцөлд байгаа хий нь сайн тусгаарлагч болдог. Хэрэв хийг ямар нэгэн аргаар ионжуулбал дамжуулагч болно.

Гаднын ионжуулагчийн тусламжтайгаар хийг ионжуулан дамжуулагч болгож буй үеийн гүйдлийг *бие даагаагүй гүйдэл* гэдэг. Учир нь иончлогчийг зайлуулбал гүйдэл гүйхээ болино. Хийг халаах, хэт ягаан туяа, рентген туяа тусгах, цацраг идэвхт бөөмөөр бөмбөгдөх гэх мэт үйлчлэлээр ионжуулж болдог. Ямагт бидний эргэн тойронд байх сансрын цацраг буюу байгалийн цацраг идэвхт үүсгүүрээс гарах эгэл бөөмс нь мөн л иончлогч болно.

Цахилгаан орноор хурдассан цэнэгтэй бөөм тааралдсан саармаг атомыг иончилж чадахаар их энергитэй болсон үед бие *даасан гүйдэл* гүйнэ. Энэ үед гаднын ионжуулагчийн шаардлагагүйгээр гүйдэл гүйсээр байх болно.

16.3.1 Хийн иончлол ба ионуудын рекомбинаци

Хий нь иончлогчийн нөлөөнд байхад түүн дотор хоёр эсрэг процесс явагдана.

1. Саармаг молекулууд ион болох буюу ионжих
2. Ионууд нэгдэж саармаг молекулууд болох буюу рекомбинаци



Рекомбинацид орж байгаа молекулуудын тоо нь эерэг болон сөрөг ионы концентрацитай шууд хамааралтай байна.

$$\Delta n' = \gamma n_0^2$$

Энд n_0 нь эерэг болон сөрөг ионуудын тоо. Ижил цэнэгтэй ионуудын концентраци нь:

$$n_0 = \sqrt{\frac{\Delta n}{\gamma}}$$

Энд γ нь рекомбинацын коэффициент болно.

16.3.2 Ионуудын хөдлөц

Эерэг болон сөрөг ионы хурдууд харгалзан:

$$v_+ = u_+ \cdot E$$

$$v_- = u_- \cdot E$$

гэж бичигдэнэ. Энд байгаа u_+ , u_- -г ионуудын хөдлөц гэж нэрлэдэг. E нь ионуудыг хөдөлгөөнд оруулж байгаа цахилгаан орны хүчлэг юм. Рекомбинацид орж байгаа ионуудын тоог тооцохооргүй бол Омын хуулийг

$$j = en_0(v_+ + v_-)$$

эсвэл

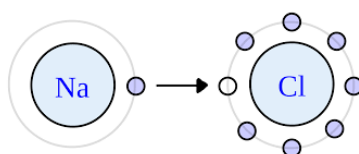
$$j = en_0(u_+ + u_-) \cdot E$$

гэсэн хэлбэрээр бичиж болно.

16.4 Шингэн дахь цахилгаан гүйдэл

Металл болон хагас дамжуулагчаар гүйдэл гүйхэд химийн ямар нэгэн урвал явагдаж, шинж чанар нь өөрчлөгддөггүй. Харин давсны, хүчил, шүлтийн уусмал мэтийн шингэн дундуур гүйдэл гүйхэд химийн урвал явагддаг. Ийм уусмалуудыг ерөнхийд нь *электролит* гэнэ. Электролит дахь цэнэг зөөгч нь уусгагчийн молекулын нөлөөгөөр диссоциацлагдсан ионууд юм.

Диссоциацлагдах процессыг хоолны давс усанд уусах үзэгдлээр жишээ болгон тайлбарлая. NaCl бол туйлт молекул юм. Na болон Cl-ын атомууд нэгдэж молекул болоход электрон дахин хуваарилагддаг. Тодруулбал Na-ын валентын электрон Cl-ын атомын электрон бүрхүүлд шилжинэ. Cl нь гадаад бүрхүүлдээ 7 электронтой байсан бол Na-аас нэг электрон авснаар гадаад бүрхүүлдээ 8 электронтой болно. Харин электроноо алдсан



Зураг 16.5. Хоолны давсны молекул. (Na ба Cl урвалд ороход Na атомын гадаад бүрхүүлийн электрон нь Cl атомд шилжинэ)



Na нь эерэг цэнэгтэй, электрон авсан Cl нь сөрөг цэнэгтэй болох тул хоорондоо таталцаж *ионы холбоо* бүхий молекул үүсгэнэ. Бусад туйлт молекулууд ч мөн ийм замаар үүсэх бөгөөд хоёр буюу хэд хэдэн ионоос бүрдэнэ. Ус ч бас туйлт молекултой.

Давсыг усанд уусгахад давсны молекулын эргэн тойронд усны олон молекулууд байрлана. Усны молекулууд сөрөг цэнэгтэй талаараа давсны молекулын эерэг цэнэгтэй талд, харин эерэг цэнэгтэй талаараа сөрөг цэнэгтэй талд “наалдана”. Ингэснээр Na болон Cl-ны холбоог сулруулах бөгөөд, усны молекулуудын дулааны хөдөлгөөнөөс болж энэ холбоо тасарна. Энэ үзэгдлийг диссоциац гэдэг. диссоциацын дүнд эерэг болон сөрөг цэнэг зөөгч-ионууд бий болж байна. Харин эдгээр эерэг сөрөг ионууд дулааны хөдөлгөөний улмаас хэт ойртвол дахин молекул болно. Энэ үзэгдлийг нь рекомбинац гэнэ. Диссоциац болон рекомбинацын процесс уусмал дотор нэгэн зэрэг явагдсаар байх бөгөөд тэнцвэр тогтоход тодорхой тооны ионууд уусмал дотор байна. Молекулын хэдэн хувь нь диссоциацлагдсаныг илэрхийлэх коэффициентыг диссоциацын коэффициент α гэдэг.

16.4.1 Электролиз

Электролит дотор хоёр электрод байрлуулж, хүчдэл өгвөл цахилгаан гүйдэл гүйнэ. Жишээ нь хоолны давсны уусмалын хувьд эерэг цэнэгтэй натрийн ион нь катод уруу, сөрөг цэнэгтэй хлорын ион нь анод уруу хөдөлнө. Ионууд нь электродод хүрээд электрон авч (Na), эсвэл электроноо өгөөд (Cl) саармаг атом болно. Саармаг атом нь электрод дээр наалдаж ялгарна, эсвэл уусмал дотор орно. Энд дурдсан бүх үзэгдлийг нийтэд нь *электролиз* хэмээдэг.

16.4.2 Фарадейн хуулиуд

Электролизын тухай хуулийг Майкл Фарадей 1836 онд нээж, томьёолжээ. Электролизын үед электрод дээр ялгарсан бодисын масс m нь түүгээр өнгөрсөн цэнэг q -тэй шууд хамааралтай байна. Өөрөөр хэлбэл

$$m = Kq = KIt$$

байна. Үүнийг *Фарадейн нэгдүгээр хууль* гэдэг. Хэрэв гүйдлийн хүч нь хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөж байвал

$$m = K \int_0^t i(t) dt$$

Энд буй K нь тухайн бодисын цахилгаан химийн эквивалент юм.

Харин өмнөх тэгшитгэлийн K нь

$$K = \frac{1}{F} \frac{A}{Z}$$

гэж илэрхийлэгдэнэ. Энэ нь *Фарадейн хоёрдугаар хууль* юм. I болон II хуулийг хамтатган бичвэл

$$m = \frac{1}{F} \frac{A}{Z} It$$

болно. A нь тухайн бодисын атом масс, Z нь валент. Фарадейн хоёрдугаар хууль ямар ч бодисын цахилгаан химийн эквивалент нь түүний химийн эквиваленттай шууд хамааралтай болохыг харуулж байна. Хамаарлын пропорционалын коэффициентыг $1/F$ гэж бичвэл тохиромжтой бөгөөд F -г Фарадейн тоо гэх бөгөөд $F = 96.497 \cdot 10^6 \text{ Кл}/(\text{кг-эквивалент})$ байна. Ямар ч бодисын килограмм-эквивалент нь Авогадрийн тоог валентад харьцуулсантай тэнцүү буюу N_0/Z ширхэг атом агуулна.



Электrolитоор гүйх гүйдлийн нягт

$$j = F\eta\alpha(u_+ + u_-)E$$

болно. Энд η нь эквивалентын концентрац, өөрөөр хэлбэл нэгж эзлэхүүн дахь ууссан бодисын грамм эквивалентын тоо, α нь диссоциацийн тогтмол, u нь ионуудын хөдлөц юм. $\Lambda = F\alpha(u_- + u_+)$ хэмжигдэхүүнийг эквивалент цахилгаан дамжуулалт гэж нэрлэнэ.