

ШУГАМАН БУС ИЛТЭС ДОТОРХИ ГЭРЛИЙН
ДОЛГИОНЫ ОРОН, АНАЛИТИК ШИНЖИЛГЭЭНЭЭС

Г.Очирбат О. Нямсүрэн
МУИС, Физик – Электроникийн сургууль

Түлхүүр үг : Керр илтэс, ТМ ба ТЕ долгио

Керр илтэс дотор гэрлийн ТМ ба ТЕ долгио тодорхойлох Максвеллийн тэгшитгэлийн формаль шийд бий[1]. Уг шийдийг ашиглан илтсээс гэрлэсний үзэгдлийн тооцоо хийхдээ суурь орчны илтэстэй хиллэсн хавтгай дээр оронгийн хэвтээ байгуулагчуудын утгыг анхны нөхцөл болгож өгдөг байсан. Хавтгай байгуулагчийн утгууд хоёр орчны зааг дээр тасралтгүй байх нөхцөлийг ашиглан илтсийн суурьтай хиллэсэн хавтгай дээрх оронгийн утгыг тодорхойлсны үндсэн дээр формаль шийдийн бүх параметрийн утгыг тооцож тогтоодог. Параметр нь тодорхой болчихсон аналитик шийдээр тооцоо үйлдэж илтэс доторхи оронгийн зураглалыг үйлдсэний эцэст илтсийн шугаман давхарга орчинтой хиллэсэн хавтгай дээрх оронгийн утгуудыг ашиглан тасралтгүйн нөхцөлөөс илтэс дээр туссан ба ойсон гэрлийн долгиог тус бүр тодорхойлдог. Тоон тооцоо ямарч нарийвчлалтай үйлдэж болох боловч аналитик шинжилгээг тэд бүр орлож чаддаггүй.

Дор бид формаль шийдэд хийсэн зарим аналитик шинжилгээг толилуулах гэсэн юм. Шинжилгээ илтэс доторхи ТМ ба ТЕ долгион оронгийн амплитуд ба диэлектрикийн функцийн утгын мужийг нарийвчлан тогтооход чиглэнэ.

ТМ долгио.

1. Тодорхойлолтын муж. Бид [2]-д хэрэглэсэн геометр ба тэмдэглэлийг хэвээр үлдээв. Товчлохын үүднээс

$Q = \epsilon^2 - \epsilon'^2 - 2 \text{ cnst}$, $R = 2\epsilon(\epsilon - \epsilon')(2\beta^2 - \epsilon) - \beta^2 Q$
гэсэн томъёогоор Q , R хэмжигдүүн авъя. Тэхэд

$$|e_y|^2 = \frac{\beta^2}{2\epsilon} \cdot \frac{Q}{2\beta^2 - \epsilon}, \quad (1)$$

$$A^2 = \frac{R}{2\epsilon(2\beta^2 - \epsilon)} \quad (2)$$

гэж бичигдэнэ. Энэ хоёр илэрхийлэл ϵ , β^2 , cnst гэсэн гурван параметртэй байна. $\epsilon^2 > 0$ ба $A^2 > 0$ тэнцэл бишийг зэрэг хангах ϵ -ийн утгыг

муж буюу, өөрөөр хэлбэл, $e^2(\epsilon)$, $A^2(\epsilon)$ хоёр функц тодорхойлогдох муж эдгээр параметрын утгаас хамаарна. Хамаарлыг хүснэгтээр үзүүлэв. Хүснэгтийн 3-р баганад хос дугуй хаалт дотор e^2 , A^2 -ийн тодорхойлолтын мужийн зүүн ба баруун хилийг тэмдэглэжээ. Тэнд $\theta = (\epsilon^2 + 2 \cdot \text{cnst})^{1/2}$, cnst - анхны интегралын тогтмол. ξ бол R куб илэрхийллийн $\xi \geq \epsilon$ шаардлага хангах язгуур. Хүснэгтийн 5-р мөрний эцсийн нүдэнд бичигдсэн тэнцэл бишийн ξ_1, ξ_2 бол R илэрхийллийн $\epsilon \leq \xi_1 \leq \beta^2 \leq \xi_2$ нөхцөл хангах хоёр язгуур. Зөвхөн $\beta^2 > \epsilon$ тохиолд cnst дороосоо $-0.5(\beta^2 - \epsilon)^{1/2}$ -ээр хязгаарлагдсан сөрөг утгатай байж болох бөгөөд тэр үед e^2 , A^2 -ийн тодорхойлогдох муж нь тэрхүү (ξ_1, ξ_2) болно.

1-р хүснэгт

β^2 -ийн хязгаарлалт	cnst - ийн хязгаарлалт	Тодорхойлолтын муж
$\beta^2 > 0.5\epsilon$	$0 < \text{cnst} < 2\beta^2 - 0.5\epsilon$	$(\theta, \xi), \xi < 2\beta^2$
	$2\beta^2 - 0.5\epsilon < \text{cnst}$	$(\xi, \theta), 2\beta^2 < \xi$
$\beta^2 < 0.5\epsilon$	$\text{cnst} \geq 0$	(ξ, θ)
$\beta^2 > \epsilon$	$-0.5(\beta^2 - \epsilon)^{1/2} \leq \text{cnst} \leq 0$	(ξ_1, ξ_2)

Хүснэгтээс үзэхэд $\text{cnst} \geq 0$ байвал e^2 , A^2 -ийн тодорхойлолтын мужийн нэг хязгаар нь e^2 тэг утга авах цэг, нөгөө хязгаар нь A^2 тэг утга авах цэг байна.

Шугаман бус ТМ (ТЕ) долгио ϵ , β^2 , cnst - ээс гадна энергийн урсгалын хэмжээ хэмээх өөр нэг co_1 (co_2) - параметрээс хамаарна. e^2 , A^2 нь бас

$$\frac{\epsilon^2}{\beta^2} A^2 e^2 = A^2 h^2 \geq 4(\text{co}_1)^2 \quad (3)$$

гэсэн тэнцэл бишийг хангах ёстой байдаг. Энэ тэнцэл бишийг хангах ϵ -ийн утгын муж 1-р хүснэгтэд дурдсан зохих мужийнхаа дотор бүхлээрээ багтдаг. Ийнхүү энэ тэнцэл бишийг хангах ϵ -ийн утгын муж нь $e^2 > 0$, $A^2 > 0$ гэсэн хоёр тэнцэл бишийг бас хангах учраас тухайн горимд ϵ -ийн авах утгуудын муж болж өгнө. Энэ мужийн зүүн хязгаарыг ϵ_1 -ээр баруун хязгаарыг ϵ_r -ээр тус тус тэмдэглэе. (ϵ_1, ϵ_r) завсар дээр $A^2 h^2$ -функц хамгийн их утгадаа хүрдэг. Тэрхүү максимум нь $\epsilon = \epsilon_m$ цэг дээр тохиодог гээ. ϵ_m -утга e^2 , A^2 -ийн cnst параметрээр илэрхийлэгдэх ёстой. Тэгэхлээр бас, урвуугаар, cnst -ийн утгыг ϵ_m -ээр идэрхийлж болох ёстой.

2. cnst -ийн утгыг ϵ_m -ээр илэрхийлэх. $\epsilon = \epsilon_m$ цэг дээрээ e^2 , A^2 ь

$$e^2 = \frac{\beta^2 (\epsilon_m - \epsilon)}{\epsilon_m}, \quad (4)$$

$$A^2 = \frac{(\epsilon_m - \epsilon)(\epsilon_m - \beta^2)}{\epsilon_m}. \quad (5)$$

гэсэн хялбар илэрхийлэлтэй байх ёстой гэдгийг тооцоогоор мэдэж болно. Эндээс үзэхэд $\beta^2 < \epsilon$ горимд $\epsilon_m > \epsilon$, харин $\beta^2 > \epsilon$ горимд $\epsilon_m > \beta^2$ байна. (1) илэрхийл -элд $\epsilon = \epsilon_m$ гэж тавьсны дараа (4) -тэй тэнцүүлж $2 \cdot \text{cnst}$ -г олбол

$$2 \cdot \text{cnst} = (\epsilon_m - \epsilon)(3\epsilon_m - 4\beta^2 + \epsilon). \quad (6)$$

болно. Ийнхүү $2 \cdot \text{cnst}$ нь $A^2 h^2$ -ын максимум утга авах ϵ_m -ээр илэрхийлэгдэв. Энэ илэрхийлэлээс $\beta^2 < \epsilon$ горимд $\text{cnst} \geq 0$, харин $\beta^2 \geq \epsilon$ горимд $\text{cnst} \geq -0.5(\beta^2 - \epsilon)^{1/2}$ гэж мэдэгдэнэ.

3. cnst , co_1 -тогтмолуудыг илтсийн суурьтай хиллэсэн хавтгай дээрх ϵ -ийн утгаар илэрхийлэх. ϵ , A , h хэмжигдүүний тэр хавтгай дээрх утгуудыг

$\epsilon = \epsilon_d$, $A = A_d$, $h = h_d$
гэж тус тус тэмдэглэе. Тэгвэл

$$\epsilon_d = \epsilon + A_d^2 + \frac{\beta^2 h^2}{\epsilon_d^2}. \quad (7)$$

Эрвээ суурь орчныг шугаман гэж үзвэл суурийн илтэстэй хиллэсэн хавтгай дээр орон -гийн A^2 , h^2 -ийн утгууд, тасралтгүйн нөхцөл ёсоор, хоорондоо дараах томъёогоор холбогдоно.

$$A_d^2 = \frac{\eta_c^2}{\epsilon_c^2} h_d^2, \quad \eta_c^2 = \epsilon_c - \beta^2. \quad (8)$$

Үүнд ϵ_c - суурийн диэлектрикийн тогтмол. Үүнийг (7) - д орлуулан тавихад ϵ_d нь дан h_d^2 -ээр илэрхийлэгдэнэ. Ингэсний дараа h_d^2 ийг ϵ_d -ийг илэрхийлбэл

$$h_d^2 = \frac{(\epsilon_d - \epsilon) \epsilon_d^2 \epsilon_c^2}{\eta_c^2 \epsilon_d^2 + \epsilon_c^2 \beta^2}, \quad \eta_c^2 = \epsilon_c - \beta^2 \quad (9)$$

Одоо e_d^2 -ийг нэг талаас h_d^2 -ээр илэрхийлж бас нөгөө талаас (1) -д $\epsilon = \epsilon_d$ гэж орлуулан тавьж илэрхийлбээс

$$e_d^2 = \frac{\beta^2}{\epsilon_d^2} h_d^2 = \frac{\beta^2}{2\beta^2 - \epsilon_d} \frac{\epsilon_d^2 - \epsilon^2 - 2 \cdot \text{cnst}}{2 \epsilon_d}. \quad (10)$$

Эндээс

$$2 \cdot \text{cnst} = \frac{2(2\beta^2 - \epsilon_d)\epsilon_d - (\epsilon_d + \epsilon)(\mu_c^2 \epsilon_d^2 + \beta^2)}{\mu_c^2 \epsilon_d^2 + \beta^2} (\epsilon - \epsilon_d) \quad (11)$$

ҮҮНД $\mu_c^2 = \eta_c^2 / \epsilon_c^2$. Бас

$$\text{co}_1^2 = A_d^2 h_d^2 = \mu_c^2 \frac{\epsilon_d^2 (\epsilon_d - \epsilon)^2}{\epsilon_d^2 \mu_c^2 + \beta^2} \quad (12)$$

(8)-(10) томъёонууд ϵ_d -ээр суурь орчны оронгийн амплитудыг тодорхойлно. (11)-(12) томъёонууд ϵ_d - ээр $2 \cdot \text{cnst}$, co_1 - параметруудыг тодорхойлно. Бид $2 \cdot \text{cnst}$ параметрийг бас дан ϵ_d - ээр тодорхойлсон билээ. Энэ хоёр илэрхийлэл хоорондоо тохирч байхын тулд

$$(\epsilon_m - \epsilon)(3\epsilon_m - 4\beta^2 + \epsilon) = \frac{2(2\beta^2 - \epsilon_d)\epsilon_d - (\epsilon_d + \epsilon)(\epsilon_d^2 + \beta^2)}{\epsilon_d^2 + \beta^2} (\epsilon - \epsilon_d) \quad (13)$$

Товчийг бодолцож энэ тэгшитгэлд, мөн үүнээс хойш

$$\mu_c^2 \epsilon_d \rightarrow \epsilon_d, \quad \mu_c^2 \epsilon \rightarrow \epsilon, \quad \mu_c^2 \beta^2 \rightarrow \beta^2, \quad \mu_c^2 \epsilon_m \rightarrow \epsilon_m.$$

гэж тэмдэглэн харьцангуй масштаб хэрэглэсэн болно. (13) - ийн зүүн тал ϵ_m -ийн хувьд квадратлаг гурван гишүүнт байна. Баруун тал нь ϵ_d - ээс нилээд төвөгтэй хамаарч байна. $\epsilon_d (> \epsilon)$ -ийн утга бүрд ϵ_m - ийн нэг утга харгалзах эсэх нь сонирхолтой байна. Энэ асуудалд хариулахыг хичээе. (13) -ийн баруун талыг дараах хэлбэртэй бичиж болно.

$$(\epsilon_d - \epsilon)(3(\epsilon_d - \epsilon) + 4(\epsilon - \beta^2)) + \frac{2(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - 2\beta^2)(\epsilon_d - \epsilon)}{\epsilon_d^2 + \epsilon^2}$$

ҮҮНД

$$\epsilon = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4\beta^2}, \quad (14)$$

$$\epsilon = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4\beta^2}. \quad (15)$$

Хэрвээ, харьцангуй масштабаар, $\beta^2 < 0.25$ байвал энэ хоёр хэмжигдүүн бодтой бөгөөд хоёулаа эсвэл ганц ϵ нь параметруудын зарим горимд илтэс дотуур ганц хавтгай долгио тарах боломжит илектрикийн функцийн утгуудыг илэрхийлдэг. Дор бид илтсийн дээд доод хоёр гадаргуу- хавтгайгаас ээлжлэн олон

9дахин ойдоггүй энэ сонирхолтой долгиог тодорхой авч үзэх болно. (13)
аас ϵ_m -ийг олбоос

$$(\epsilon_m)_{1,2} = \epsilon + \frac{2}{3}(\beta^2 - \epsilon) \pm \frac{1}{6} \sqrt{(6\epsilon_d - 2\epsilon - 4\beta^2)^2 - 24 \frac{(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - 2\beta^2)(\epsilon_d - \epsilon)}{\epsilon_d^2 + \beta^2}} \quad (16)$$

Энэ формаль илэрхийлэл $\beta^2, \epsilon, \epsilon_d$ -гурван параметртай. Нарийвчла шинжилье.

Эхлээд $\beta^2 < \epsilon$ тохиол авч үзье. Ямарч байсан $\epsilon_m > \epsilon$ байх ёстой. (тэмдэгийг авахад энэ нөхцөл биелэхгүй учир $(\epsilon_m)_2$ язгуур утгагүй. Харин $(\epsilon_m)_1 > \epsilon$ гэдгийг шалгая. $\epsilon_d = \epsilon + \delta$ гэвэл уг тэнцэл биш нь

$$2(\epsilon - \beta^2) + \epsilon^3 \delta + (5\epsilon^2 + 3(\epsilon - \beta^2) + \epsilon) \delta^2 + (4\epsilon + 2) \delta^3 + \delta^4 \geq 0. \quad (17)$$

гэсэн хэлбэрт орно. Аль ч $\delta (>0)$ -д зүүн талын бүх гишүүд эерэг тул эн тэнцэл биш зөв ажээ.

Одоо $\beta^2 > \epsilon$ тохиол үзье. Энэ тохиолд дээр тэмдэглэсэн ёсоор $\epsilon_m \leq \beta^2$. (16) -д (-) тэмдэг авбал энэ нөхцөл биелэхгүй гэдэг нь даруй мэдэгдэнэ. Харин $(\epsilon_m)_1 \geq \beta^2$ гэдгийг үнэмшихэд зохих чармайл шаардана. Энэ удаа $\epsilon_d - \epsilon = \Delta$ -ээс бус, $\beta^2 - \epsilon$ -ээс эхлэн тоолъё. Үүний тул $\epsilon_d = \beta^2 + \Delta$ гэе. Тэгвэл уг тэнцэл бишийг

$$\Delta^4 + (4\beta^2 + 2)\Delta^3 + (5\beta^4 + 2(\beta^2 + 1)(\beta^2 - \epsilon) + \beta^2)\Delta^2 + (2\beta^6 + 4\beta^4(\beta^2 - \epsilon))\Delta + 2\beta^6(\beta^2 - \epsilon) > 0 \quad (18)$$

хэлбэрт оруулж болно. Зүүн талын олон гишүүнтийн коэффициент бүгд эерэг тул $\Delta > 0$ үед энэ тэнцэл биш зөв байна. Δ -нь бас $0 > \Delta \geq -(\beta^2 - \epsilon)$ нөхцөлийг хангах сөрөг утгууд авч болох бөгөөд тэр үед уг тэнцэл биш зөв гэдгийг харуулъя.

Δ сөрөг утга авах завсар эвч үзье. Тэгээд $q = -\Delta > 0$ гэе. Тэхэд q -ийн утга авах муж $[0, \beta^2 - \epsilon]$ болно. Бас $x = \beta^2 - \epsilon$ гэе. Тэгэхлээр $0 \leq q \leq x \leq \beta^2$ нөхцөлд (18) тэнцэл бишийн зүүн тал болох

$$g(q, x, \beta^2) = q^4 - (4\beta^2 + 2)q^3 + (5\beta^4 + \beta^2)q^2 + ((2\beta^2 + 2)q^2 - 4\beta^4q + 2\beta^6)x - 2\beta^6q.$$

илэрхийллийг шинжлэх болж байна. x -ийн хувьд шугаман энэхүү функц (өгөгдсөн q бүрт) $x = q$ цэг дээр

$$g(q, q, \beta^2) = q^2(\beta^2 + (\beta^2 - q)^2) \geq 0.$$

гэсэн эерэг утга авна. $x = \beta^2$ цэг дээр

$$g(q, \beta^2, \beta^2) = g(q, q, \beta^2) + ((2\beta^2 + 2)q^2 - 4\beta^4 q + 2\beta^6)(\beta^2 - q) \geq 0.$$

гэсэн бас эерэг утга авна. Тэгэхлээр $q \leq x \leq \beta^2$ завсар дээр шугаман функц тэмдэгээ хувиргаж сөрөг утга авч чадахгүй. Ийнхүү $\epsilon_d (\geq \epsilon)$ утга бүрт ϵ_r нь (17)-ийн $(\epsilon_r)_1$ - ээр нэгэн утгатай тодорхойлогдох нээ.

$\epsilon = \epsilon_d$ утга бол илтэс дотор ϵ - ийн авч болох боломжит утгуудын дотроос эсвэл хамгийн бага нь, эсвэл хамгийн их нь байх ёстой гэдэг нь мэдэгддэг байсан. Тэгвэл одоо чухам аль нь вэ гэдгийг тогтоох боломжтой. Энэ тухай өгүүлье. $4\beta^2 < 1$ тохиолд $(\epsilon_m)_1 \geq \epsilon_d$ байх ϵ_d нь

$$(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - 2\beta^2)(\epsilon_d - \epsilon) < 0. \quad (19.1)$$

гэсэн тэнцэл бишийг, харин $(\epsilon_m)_1 \leq \epsilon_d$ байх ϵ_d нь үүний эсрэг тэнцэл бишийг хангана. Тооцооноос үзэхэд $\epsilon, \beta^2, \epsilon$ гурван хэмжигдүүний хоорондын харьцаа

$$\epsilon \leq 2\beta^2 \leq \epsilon. \quad (20)$$

гэсэн тэнцэл бишээр илэрхийлэгдэнэ. Харин ϵ нь энэ гурвын хаана ч байршиж болно. Түүний байршилаас асуудлын хариу хамаарна. Тухайлбал:

- Хэрвээ $\epsilon < \epsilon$ байвал (ϵ, ϵ) завсраас эсвэл $(2\beta^2, \epsilon)$ завсраас авсан ϵ_d нь илтэс дотор ϵ -ийн авах боломжит утгуудлын дотроос хамгийн бага нь байх болно. Харин $(\epsilon, 2\beta^2)$ завсраас, эсвэл (ϵ, ∞) завсраас авсан ϵ_d нь ϵ -ийн авах утгуудын дотроос хамгийн их нь байж таарна.
- Хэрвээ $\epsilon < \epsilon < 2\beta^2$ байвал ϵ_d -г $(\epsilon, 2\beta^2)$ буюу (ϵ, ∞) завсраас авбал тэрээр ϵ -ийн хамгийн их, $(2\beta^2, \epsilon)$ завсраас авбал хамгийн бага утга болж чадна.
- Хэрвээ $2\beta^2 < \epsilon < \epsilon$ байвал ϵ_d -г (ϵ, ϵ) завсраас авбал тэрээр ϵ -ийн хамгийн бага, $(2\beta^2 < \epsilon)$ буюу $(2\beta^2, \epsilon)$ завсраас авбал хамгийн их утга болно.
- Хэрвээ $\epsilon > \epsilon$ байвал ϵ_d -г зөвхөн (ϵ, ∞) завсраас авбал тэрээр хамгийн их утга болно.

$4\beta^2 > 1$ тохиолд $(\epsilon_m)_1 \geq \epsilon_d$ байх ϵ_d нь

$$(\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon_d - 2\beta^2) < 0. \quad (19.2)$$

гэсэн тэнцэл бишийг, харин $(\epsilon_m)_1 \leq \epsilon_d$ байх ϵ_d нь үүний эсрэг тэнцэл бишийг хангана.

- Хэрвээ $\epsilon < 2\beta^2$ байвал ϵ_d -нь $(\epsilon, 2\beta^2)$ завсраас авагдсан бол тэрээр ϵ -ийн хамгийн бага, $(2\beta^2, \infty)$ завсраас авагдсан бол хамгийн их утга болно
- Хэрвээ $\epsilon > 2\beta^2$ байвал ϵ_d -нь $(2\beta^2, \epsilon)$ завсраас авагдсан бол тэрээр ϵ -ийн хамгийн бага, (ϵ, ∞) завсраас авагдсан бол хамгийн их утга болно

4. Брюстерийн долгио. Хэрвээ

$$\epsilon_i = \epsilon_r = \epsilon_m.$$

нөхцөл бүрддэг юм бол илтэс дотор долгионы амплитуд тогтмол байх учир долгио нь хавтгай долгионоос өөр зүйл байж таарахгүй. Нөгөө талаас $\epsilon = \epsilon_d$ цэг нь ϵ -ийн илтэс дотор авах утгуудын мужийн баруун зүүн хязгааруудын аль нэг байх ёстой тул энэ тохиолд $\epsilon_d = \epsilon_m$ байх болно. Тэгэхлээр (13) тэгшитгэл нь

$$2\epsilon_m^3 - (4\beta^2 + \epsilon_i)\epsilon_m^2 + 6\beta^2\epsilon_m - 4\beta^2 = 0.$$

болж хялбаршина. Энэ тэгшитгэл гурван бодит язгууртай. Эдгээр нь

$$(\epsilon)_1 = \epsilon_i, \quad (\epsilon)_2 = \epsilon_i, \quad (\epsilon)_3 = 2\beta^2. \quad (21)$$

Гурав дахь язгуур нь утгагүй. Учир нь $\epsilon_m = 2\beta^2$ байх юм бол (6) ёсоор

$$2 \cdot \text{cnst} = 4\beta^2 - \epsilon_i^2 \quad (22)$$

$2 \cdot \text{cnst}$ -ын энэ утгад (1) ёсоор ϵ -ийн аль ч утгад

$$\epsilon^2 = -\frac{\beta^2}{2\epsilon}(\epsilon + 2\beta^2) < 0$$

болж утгагүй болно. $(4\beta^2 - \epsilon_i^2)$ нь $2 \cdot \text{cnst}$ -ын хориотой өнчин утга юм бол $2 \cdot \text{cnst}$ өнчин утгаасаа өөр утгатай байлаа гэхэд (1), (2) -ээс үзэхэд $\epsilon = 2\beta^2$ утга (2), (3) -аар илэрхийлэгдэх e^2 , A^2 -ийн тодорхойлолтын муж багтахгүй. Ийнхүү $\epsilon = 2\beta^2$ бол шугаман бус онолд хөндөгддөггүй үлдсэн онцгой цэг болой. Нөгөө хоёр язгуур нь тодорхой физик утгатай байх болно. Түүнийг тодруулахын үүднээс (14), (15) -ийг

$$\beta^2 = \epsilon(1 - \epsilon_i). \quad (23)$$

гэж бичье. Энэ тэгшитгэлд

$$\epsilon \rightarrow \mu_c^2 \epsilon, \quad \beta^2 \rightarrow \mu_c^2 \beta^2, \quad \epsilon_i \rightarrow \mu_c^2 \epsilon_i.$$

гэж солин түр хуучин масштабдаа эргэж оръё. Тэхэд (21) тэгшитгэл нь

$$\beta^2 = \epsilon \cdot (1 - \mu_c^2 \epsilon). \quad (24)$$

болно. Үүнийг

$$\beta^2 = \epsilon \cdot \sin^2(\varphi), \quad \frac{\cos^2(\varphi)}{\epsilon} = \frac{\cos^2(\varphi_c)}{\epsilon_c} \quad (25)$$

гэсэн Брюстериин нөхцөл хэлбэртэй бичиж болно. φ -нь илтэс дотуур яваа хавтгай долгио илтэс суурь хоёрын заагт тусах тусгалын өнцөг : φ_c -нь суурь луу нэвтэрсэн долгионы хугарлын өнцөг. Шугаман бус илтэсд Брюстериин нөхцөлийг бас

$$\beta^2 = \frac{\epsilon \epsilon_c}{\epsilon + \epsilon_c} \quad (26)$$

хэлбэртэй бичиж болдог. Шугаман илтэсд

$$\beta^2 = \frac{\epsilon \epsilon_c}{\epsilon + \epsilon_c}$$

Үүнд ϵ -илтсийн диэлектрикийн тогтмол. β^2, ϵ_c ($\beta^2 < \epsilon_c$) өгөгдсөн байхад илтсийн диэлектрикийн тогтмолын зөвхөн тодорхой ганц утгад тэнцэл биш биелнэ. Тэгвэл шугаман бус тохиолд ϵ нь эрчмээс хамаарч ($\epsilon = \epsilon + I$, I -эрчим) бүхэл бүтэн $\epsilon \geq \epsilon$ мужид утга авах тул $\beta, \epsilon, \epsilon_c$ ($\beta^2 < \epsilon$) параметруудын нилээд өргөн мужид (21) тэгшитгэлийг хангах боломж гарна. Боломжийг параметруудын утгаас хамааруулан нарийн тооцож тогтоож болно. Тооцооноос үзэхэд ϵ, β^2 хоёр параметрийн үүсгэх хавтгайн $0 < \epsilon < 9/32$, $0 < \beta^2 < 1/4$ гэсэн тэгш өнцөгтийн цэг бүрт (15) томъёогоор Брюстериин долгионд харгалзах $\epsilon = \epsilon_+$ ($> 2\beta^2$) утга тодорхойлогдоно. Уг тэгш өнцөгтийн дотор $\beta^2 \geq \epsilon$ ($1 - \epsilon$) нөхцөлийг хангах цэг бүрт (14) томъёогоор Брюстериин долгионд харгалзах $\epsilon = \epsilon_-$ ($< 2\beta^2$) утга тодорхойлогдоно.

ТЕ долгио.

Цахилгаан векторын перпендикуляр, соронзон векторын хэвтээ х-байгуулагч -ийн амплитудын квадрат нь

$$|e_y|^2 = \epsilon - \epsilon, \quad |H_x|^2 = \text{const} - 0.5\epsilon^2 + \beta^2\epsilon - \epsilon (\beta^2 - 0.5\epsilon). \quad (27)$$

гэж бичигдэнэ. $|e_y|^2, |H_x|^2$ -нь $\epsilon, \beta^2, \text{const}$ -гурван параметртай байна. $|e_y|^2 > 0, |H_x|^2 > 0$ хоёр тэнцэл биш зэрэг хангах ϵ -ийн утгуудын муж буюу, өөрөөр хэлбэл, уг хоёр илэрхийлэлийн тодорхойлолтын муж эдгээр параметруудын утгаас хамаарна. Үүнийг 2-р хүснэгтээр үзүүлэв. $\beta^2 < \epsilon$: байвал анхны интегралын тогтмол const сөрөг утга авахгүй ажээ. Харин $\beta^2 \geq \epsilon$: тохиолд дороосоо хязгаартай сөрөг

утгууд авч болох юм. Хүснэгтийн 3-р баганад дугуй хаалт дотор тодорхойлолтын мужийн зүүн ба баруун хилийг тэмдэглэжээ. Тэнд $\theta_{2,1}$ $\beta^2 \pm ((\beta^2 - \epsilon)^2 + 2 \cdot \text{cnst})^{1/2}$.

2-р хүснэгт

β^2 -ын хязгарлалт	cnst -ийн хязгаарлалт	Тодорхойлолтын муж
$\beta^2 < \epsilon$	$\text{cnst} \geq 0$	(ϵ, θ_2)
$\beta^2 \geq \epsilon$	$\text{cnst} > 0$	(ϵ, θ_2)
	$-0.5(\beta^2 - \epsilon)^2 \leq \text{cnst} \leq 0$	$(\theta_1, \theta_2), \epsilon \leq \theta_1 \leq \theta_2 \leq \beta^2$

ТЕ долгионд $|e_y|^2 |H_x|^2 \geq (\epsilon_0)^2$ гэсэн тэнцэл биш хангагдах ёстой. Энэ тэнцэл бишийг хангах ϵ -ийн утгын муж нь хүснэгтд дурдсан зохион мужийнхаа дотор бүхлээрээ багтдаг учир тухайн горимд ϵ -ийн авч утгуудын жинхэнэ муж болж өгнө.

1. Брюстерийн долгио. ТЕ долгионд cnst -ийн утгыг $|e_y|^2 |H_x|^2$ функцийн максимум утгаа авах ϵ -ийн утгаар илэрхийлж болно. Тэр утгыг ϵ_m ээр тэмдэглэвээс

$$\text{cnst} = 1.5(\epsilon_m - \epsilon)^2 + 2(\epsilon_m - \epsilon)(\epsilon - \beta^2). \quad (28)$$

Энэхүү cnst-ийн утгыг, нөгөө талаас, илтсийн суурьтай хиллэх хавтгай дээрх ϵ -ийн утга ϵ_d -ээр илэрхийлбээс

$$\text{cnst} = 0.5(\epsilon_d - \epsilon)^2 + (\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon - \beta^2 + \eta_c^2), \quad \eta_c^2 = \epsilon_c - \beta^2. \quad (29)$$

Илтсийн суурьтай хиллэсэн хавтгай дээрх ϵ_d -ийн утга нь илтэс дотор ϵ -ийн авах утгуудын хамгийн их, эсвэл хамгийн бага нь байдаг болохлогтой хэрвээ $\epsilon_d = \epsilon_m$ байвал илтэс дотор аль ч цэг дээр $\epsilon = \epsilon_d = \epsilon_m$ байж болно. Шийд тогтмол амплитудтай хавтгай долгио дүрслэнэ. Ийм шийд байх нөхцлийг мэдэхийн тулд (2) -д $\epsilon_d = \epsilon_m$ гэж тавьсны дараа (29) -т тэнцүүлнэ.

$$1.5(\epsilon_m - \epsilon)^2 + 2(\epsilon_m - \epsilon)(\epsilon - \beta^2) = 0.5(\epsilon_d - \epsilon)^2 + (\epsilon_d - \epsilon)(\epsilon - \beta^2 + \eta_c^2). \quad (30)$$

Эндээс

$$\epsilon_m = \beta^2 + \eta_c^2 = \epsilon_c. \quad (31)$$

гэсэн шийд гарна. Энэ нь $\epsilon < \epsilon_c$ нөхцөлд илтэс дотуур суурь орчин диэлектрикийн тогтмолтой тэнцэх ϵ бүхий шугаман бус ТЕ хавтгай долгио явж ойлгүй, хугаралгүй суурь орчин луу нэвтэрч болохыг харуулж байна.

2. $|e_y|^2 \cdot |H_x|^2$ – ийн максимум утга авах цэгийг илтсийн ёроол дээрх ϵ – ийн утгаар тогтоох. Шинжилгээнээс үзэхэд $\epsilon \leq \beta^2$ нөхцөлд ϵ_m нь β^2 –ээс бага биш байх ёстой гэдэг нь мэдэгддэг. $|e_y|^2 \cdot |H_x|^2$ –ийн максимум утга авах цэг нь аль нь ч байсан

$$\epsilon_m \geq \max(\epsilon, \beta^2) \quad (32)$$

тэнцэл бишд захирагддаг. $\text{cnst}(\epsilon_m) = \text{cnst}(\epsilon_d)$ тэгшитгэлээс

$$(\epsilon)_{1,2} = \frac{\epsilon + 2\beta^2}{3} \pm \sqrt{\frac{4}{9}(\epsilon - \beta^2)^2 + \frac{2}{3}\text{cnst}(\epsilon_d)} \quad (33)$$

Үүнээс $(\epsilon_m)_2$ нь (32) нөхцлийг хангахгүй тул утгагүй. Харин $(\epsilon_m)_1$ нь (32) нөхцлийг хангана гэдгийг горим бүр дээр шалган үнэмшиж болно.

Дүгнэлт

Эерэг керр илтэс доторхи долгионы орны бүх параметр, түүний дотор анхны интегралуудын тогтмолуудын авах утгуудын мужийг шинжлэв. Явцад нь илтэс дотуур явж сууриас ойлгүй суурь луу нэвтэрдэг Брюстериин шугаман бус долгиотой тулгарч оршин байх параметрийн утгуудыг олж тогтоов.

Литература

- [1] Г.Очирбат, Препринт ОИЯИ, Р17-91-358, Дубна, 1991
- [2] Г.Очирбат ба бусад, Препринт ОИЯИ, Р17-96-382, Дубна, 1996.

Abstract

Domain of all wave field parameters, including first integral's constants, in positive kerr film is investigated. By the way we were encountered with the nonlinear Bruster wave, which can pass through film-substrate interface without reflection and established a domain of parameters, where the wave exists