

Максвеллийн тэгшитгэлийн, өөрөө сарниулагч оптик керр орчинд асимптот бөхөх гэрлийн соронзон долгио шийд. Түүний зарим хялбар хэрэглээ.

Г.Очирбат^{1,*}, О.Нямсүрэн², Д.Улам-Оргих¹

¹ Физикийн тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, МУИС

² Шинэ Монгол Технологийн дээд сургууль

I. УДИРТГАЛ

Оптик холбооны багаж бүтээх зорилттой холбогдулан шугаман биш үе бүхий долгио хөтлөгчөөр гэрлийн долгио тарах асуудлыг судлаачид аль эртнээс сонирхсоор иржээ. Бид харин шугаман биш үе буюу илтсээр гэрлийн соронзон ба цахилгаан долгио тарах бодлого бодоход зориулан нилээд өвөрмөгц арга зүй боловсруулсан билээ[1-3].

Хавтгай дээр татсан тэнхлэг дагуу хавтгай долгио мэт, харин хавтгайд ортогональ тэнхлэгийн координатаас триваль биш хамааралтай соронзон долгионы оронг дараах хэлбэртэй дүрсэлдэг

$$E_x = iAe^{i\Phi} \varphi, \quad E_z = ee^{i\Phi} \varphi, \quad H_y = he^{i\Phi} \varphi, \quad \varphi = \exp(-i\omega t + k_0 \beta x)$$

Үүнд $A > 0, e > 0, h < 0, k_0 = \omega / c, \beta$ – рефракцийн тогтмол.

Соронзон долгионы орон дахь өөрөө сарниулагч оптик керр орчины диэлектрикийн функц

$$\epsilon = \epsilon - A^2 - e^2$$

Үүнд ϵ -диэлектрикийн тогтмол. Бид максвеллийн тэгшитгэлийг бодохдоо юуны урьд түүний хоёр анхны интегралыг ашиглан диэлектрикийн функц координатаас хамаарах хамаарлыг олох зорилго тавьдаг; оронгийн амплитуд бүр диэлектрикийн функцээр илэрхийлэгддэг тул энэ нь соронзон долгионы оронг зураглах нэгэн өвөрмөгц хувилбар болж чаддаг.

Оронгийн амплитуд бүр диэлектрикийн функцээр дараах хэлбэртэй илэрхийлэгддэг

$$h^2 = \frac{\epsilon}{2\beta^2 - \epsilon} \frac{\epsilon^2 - \epsilon^2 - 2cnst}{2}, \quad A^2 = \epsilon - e - \frac{\beta^2}{\epsilon^2} h^2, \quad (1)$$

$$e^2 = \frac{\beta^2}{2\beta^2 - \epsilon} \frac{\epsilon^2 - \epsilon^2 - 2cnst}{2\epsilon}$$

Диэлектрикийн функцээс координатаар авсан уламжлал

$$\frac{d\epsilon}{dz} = \frac{(2\beta^2 - \epsilon)}{\epsilon/2 - e^2} Ah \cos \Delta\Phi, \quad \text{где } \Delta\Phi = \Phi_e - \Phi_A \quad (2)$$

Энергийн урсгал хадгалагдах хууль

$$\frac{1}{2} Ah \sin \Delta\Phi = c0 \quad (3)$$

(1), (3) ийн тусламжтайгаар (2) нь диэлектрикийн функц координатаас хамаарах хамаарлыг тодорхойлох тэгшитгэл болж хувирна. Энэ хамаарал нь

$$z - z_0 = \int_{\epsilon_0}^{\epsilon} \frac{(\frac{\epsilon}{2} - e^2) d\epsilon}{(2\beta^2 - \epsilon) Ah \cos \Delta\Phi} \quad (4)$$

Бид энэ битүүлэг квадратур шийдийг $\beta^2, 2cnst, c0$ гурван параметраас хамааруулан дэлгэрэнгүй шинжилсэн[1-2].

II. АСИМПТОТ БӨХӨХ СОРОНЗОН ДОЛГИО ШИЙД

(1) ийг ажиглахад, $\epsilon \rightarrow \epsilon$ хязгаарт $A^2 \rightarrow 0, h^2 \rightarrow 0$ болохын тулд $2cnst = 0$ байх нь мэдэгдэнэ. Бас (3) аас харахад $c0 = 0$ болохын тулд

$$\sin \Delta\Phi = 0 \quad \text{буюу} \quad \cos \Delta\Phi = \pm 1 \quad (5)$$

(1) илэрхийллүүдийг шинжилж үзэхэд, $A^2 \geq 0$ & $h^2 \geq 0$ нөхцөлд $\epsilon \rightarrow \epsilon$ хязгаар үүсэх боломж зөвхөн $\beta^2 \geq \epsilon$ тохиолд ϵ хэмжигдүүн $[\theta, \epsilon]$ завсарт тодорхойлогдсон байхад л гарч ирдэг. Үүнд

$$\theta = \frac{3}{4} \beta^2 - \sqrt{\frac{9}{16} \beta^4 - 0.5 \beta^2 \epsilon} \quad (6)$$

$[\theta, \epsilon]$ завсрын дээд хил болох ϵ цэг нь $A^2 h^2$ функцийн хоёрдугаар эрэмбийн тэг цэг, харин доод хил болох θ цэг нь нэгдүгээр эрэмбийн тэг цэг мөн гэдгийг цохон тэмдэглэе.

Энд өөрөө цуглуулагч керр орчноос ялгарах нэг онцлог нь гэвэл анхны утгын бодлогын (4)

* Electronic address:

шийдэд интеграндын хүртвэрд буй $e/2 - e^2$ илэрхийлэл e -ээс хамааран хувьсахдаа нэгэн цэг дээр тэмдэгээ өөрчилдөг, тэр нэгэн цэг нь: $e = \xi$, $\xi \in (\theta, \varepsilon)$, үүнд

$$\xi = \beta^2 - \frac{(1-i\sqrt{3})\beta^4}{2^{2/3}(-e^2\beta^2 + 2\beta^6 + \sqrt{e^4\beta^4 - 4e^2\beta^8})^{1/3}} - \frac{(1+i\sqrt{3})(-e^2\beta^2 + 2\beta^6 + \sqrt{e^4\beta^4 - 4e^2\beta^8})^{1/3}}{2^{2/3}} \quad (7)$$

$e/2 - e^2$ функц яаж хувьсдагийг график 1-с мэдэрч болно.

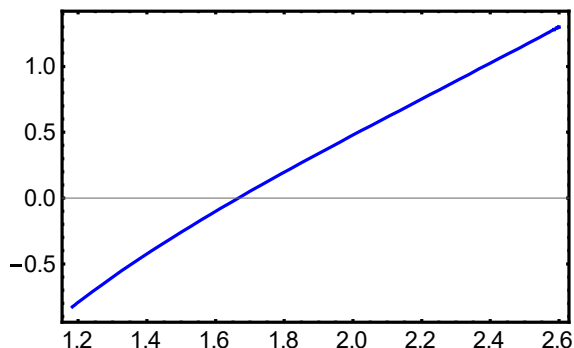


График 1. $e/2 - e^2$ функцний график. $\varepsilon = 2.6$, $\beta^2 = 2.95$. Тооцоогоор олсон нь: $\theta = 1.18286$, $\xi = 1.66611$. Энэ функц $[\theta, \varepsilon]$ завсрын дээд хил болох $e = \varepsilon$ цэг дээр эерэг, доод хил болох $e = \theta$ цэг дээр сөрөг утга аваад харин $e = \xi$ цэг дээр тэмдэгээ өөрчилжээ.

$e/2 - e^2$ -ийн энэ шинжээс шалтгаалан (4)-ээр тодорхойлогдох $\alpha(z)$ функц $z - z_0 \rightarrow \pm\infty$ хязгаарт $e \rightarrow \varepsilon$ хязгаард шилжихийн өмнө анхны утга e_0 бас $\cos \Delta\Phi = \pm 1$ ийн тэмдгийн сонголтоос хамаарч эргэж буцсан төвөгтэй хэлбэрийг олох боломжтой. Үүнийг график 2-с харж болно.

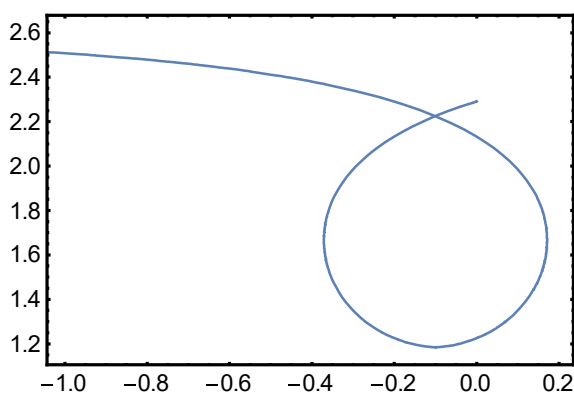


График 2. $\alpha(z)$ функцний графикийг $e_0 > \xi$ ба $\cos \Delta\Phi = -1$ тохиолд зуржээ. $\beta^2 = 2.95$, $\varepsilon = 2.6$.

Тооцоогоор олсон нь: $\theta = 1.18286$, $\xi = 1.66611$. Сонгосон анхны утга: $(z_0, e_0) = (0., 2.29067)$ Харваас, OZ тэнхлэгийн сөрөг чиглэлд анхны утга e_0 ээс эхлэн буурчбайсан $\alpha(z)$ функц явц дундаа хэдэн удаа эргэн гогцоорсны эцэст $z \rightarrow -\infty$ хязгаарт ε утга руу тэмүүлжээ.

$\alpha(z)$ функц зөвхөн $e_0 > \xi$ ба $\cos \Delta\Phi = +1$ тохиолд л монотонно өссөөр $z \rightarrow -\infty$ хязгаарт ε утга руугаа тэмүүлнэ, график 3-с харна уу.

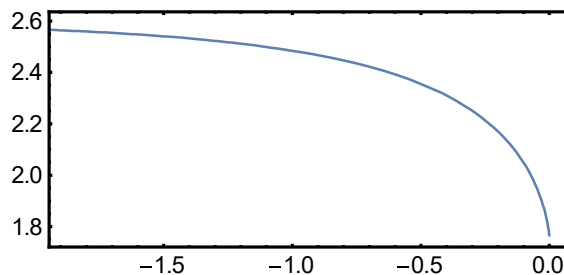


График 3. $\alpha(z)$ функцний графикийг $e_0 > \xi$ ба $\cos \Delta\Phi = +1$ тохиолд зуржээ. Тооцоогоор олсон нь: $\theta = 1.18286$, $\xi = 1.66611$. Сонгосон анхны утга: $(z_0, e_0) = (0., 1.76611)$. Харваас, $\alpha(z)$ функц, OZ тэнхлэгийн сөрөг чиглэлд, e_0 анхны утгаасаа эхлэн бууран буурсаар ε утга руу гаа тэмүүлжээ.

III. ГАДАРГУУН СОРОНЗОН ДОЛГИО

Өөрөө сарниулагч керр орчинд асимптот бөхөх долгио шийдийг гадаргун соронзон долгионы бодлогод хэрэглэх асуудал тийм ч ойлгомжтой зүйл биш бололтой. (график 2-г үзүүлсэн шиг) эргэж гогцоорсон муруйгаар дүрслэгдэх функц хэлбэртэй шийд заагийн нөхцөлтэй авцалдах боломж харагдахгүй байна. Харин $z_0 = 0$ - зааг хавтгай дээрх диэлектрикийн функцийн утга e_0 нь $e/2 - e^2$ ийн тэмдэгээ хувиргах $e = \xi$ цэгийн баруун талд оршихын ($e_0 > \xi$) дээр бас $\cos \Delta\Phi = +1$ байх (график 3-г үзүүлсэн шиг) тохиолд л ($z < 0$) өөрөө сарниулагч керр орчинд асимптот бөхөх соронзон долгио шийдийн тухай ярьж болмоор. ε_1 диэлектрикийн тогтмолтой ($z > 0$) шугаман диэлектрик орчин ε диэлектрикийн тогтмолтой ($z < 0$) өөрөө сарниулагч керр орчин хоёрын ($z = 0$) зааг хавтгай дагуу тарах гэрлийн соронзон долгио байж болох бүх боломжийг хоёр орчны диэлектрикийн тогтмол ба рефракцийн тогтмол β эдгээр гурван параметраас хамааруулан илрүүлэн гаргахыг хичээе. Энэ зорилгын үүднээс диэлектрикийн функц ($z = 0$) зааг хавтгай

дээрх ϵ_0 утгаасаа эхлэн ($z < 0$) өөрөө сарниулагч керр орчны гүн тийш хувьсахдаа яваандаа ϵ утга руу тэмүүлэх боломжийг судлая.

Шугаман орчинд $z \rightarrow \infty$ хязгаарт бөхөх соронзон долгио байх нөхцөл нь $\epsilon_1 < \beta^2$ мөн гэдгийг юуны урьд тэмдэглэе.

Заагийн нөхцөл ашиглахад $\epsilon_1, \epsilon, \beta^2$ параметрууд ба зааг хавтгай дээрх сарниулагч керр орчны диэлектрикийн функцийг утга ϵ_0 эдгээр дөрвөн хэмжигдүүнээр интегралчлалын тогтмол илэрхийлэгдэнэ.

$$2cnst = \epsilon^2 - \epsilon_0^2 + \frac{2(2\beta^2 - \epsilon_0)(\epsilon_0 - \epsilon)}{\epsilon_0((- \epsilon_1 + \beta^2) / \epsilon_1^2 + \beta^2 / \epsilon_0^2)}$$

$2cnst = 0$ гэж эндээс β^2 г бусад хэмжигдүүнээр нь илэрхийлбэл

$$\beta^2 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0^2 (\epsilon - 2\epsilon_1 + \epsilon_0)}{-3\epsilon_1^2 \epsilon_0 + \epsilon_0^3 + \epsilon (\epsilon_1^2 + \epsilon_0^2)} \quad (8)'$$

Хэрвээ

$$x_0 = \epsilon_0 / \epsilon, \quad a = \epsilon_1 / \epsilon, \quad v2r = \beta^2 / \epsilon, \quad \theta r = \theta / \epsilon \quad \xi r = \xi / \epsilon \quad (9)$$

гэж тэмдэглэвэл (8)' нь

$$v2r = \frac{ax_0^2(1 - 2a + x_0)}{-3a^2x_0 + x_0^3 + (a^2 + x_0^2)} \quad (8)$$

Мөн түүнчилэн

$$\epsilon_1 < \beta^2, \quad \epsilon < \beta^2, \quad \theta < \xi < \epsilon_0 < \epsilon \quad (10)'$$

гэсэн бөхөх соронзон долгио байх нөхцөлүүд нь $a < v2r, \theta r < \xi r < x_0 < 1 < v2r$ (10)

- хэлбэртэй бичигдэнэ. Үүнд

$$\theta r = \frac{3}{4}v2r - \sqrt{\frac{9}{16}v2r^2 - 0.5v2r} \quad (11)$$

Тэгэхлээр одоо $\epsilon_1, \epsilon, \beta^2$ параметрууд ын өгөгдсөн утгад (10) нөхцөлүүдтэй нийцэх, диэлектрик ийн функцийг зааг хавтгай дээрх, x_0 утга олдохуу, олдвол эдгээр параметраар яаж тодорхойлогдох вэ гэсэн асуултанд хариулах л үлдлээ.

Шинжилгээнд ξ ийг β^2 ээр илэрхийлсэн (7) илэрхийлэлийн оронд $v2r$ ийг ξr ээр илэрхийлсэн дараах илэрхийлэл

$$v2r = \frac{\xi r^3}{2\xi r^2 - 1} \quad (12)$$

-ашиглах нь дөхөмтэй. Тухайлбал, эндээс $v2r > 1$ нөхцөл хангахын тулд

$$\xi r \in (1/\sqrt{3}, \xi_0), \quad \xi_0 = .652704 < 2/3$$

гэж мэдэгдэнэ. Цаашилбал ийм ξr утгуудад $\theta r \leq \xi r$ нөхцөл хангагдана гэдгийг мэдэхэд төвөггүй. Тухайлбал, (12) ийн улмаас θr -г ξr ,ээс хамаарсан функц мэтээр авч үзэж болох бөгөөд ингэхэд $\theta r \leq \xi r$ тэнцэл бусыг шууд шалгах боломж гарна. График 4-с үзнэ үү.

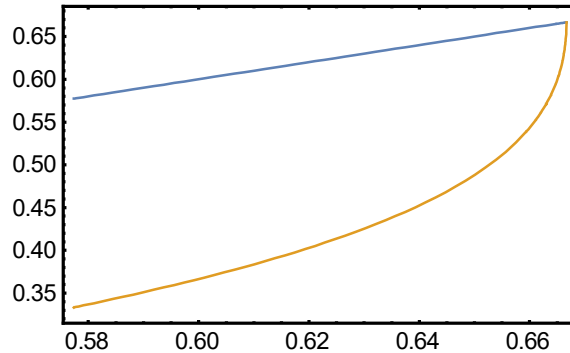


График 4. ξr ба θr ийн график. Хэвтээ тэнхлэг дээр ξr -г авав. Хоёр муруй $\xi r = 2/3$ утгад нийлсэн байгаа. $\xi_0 < 2/3$ тул ξr ийн $1/\sqrt{3}$ ээс ξ_0 хүртэл бүх утгуудад $\xi r > \theta r$.

Ийнхүү $\xi r \in (1/\sqrt{3}, \xi_0)$ утгад $\theta r < \xi r < 1 < v2r(\xi r)$ тэнцэл бишүүд хангагдах ажээ. Цаашид

$$\xi r \leq x_0 < 1 < v2r(x_0) \quad (13)$$

нөхцөлүүд хангах x_0 ийн утгуудыг олж илрүүлийн тулд (8) ба (12) ээр илэрхийлэгдэх хоёр өөр функцийг утга тэнцэж байх үеийн $\xi r \square x_0$ харгалзаа буюу

$$v2r(\xi r) = v2r(x_0) \quad (14)$$

тэгшитгэлийг шинжилэх хэрэгтэй болно. (14) өөс, эхлээд $\xi r = x_0$ утга түүнд харгалзах ерөнхий $v2r$ утгыг олбол

$$\xi x_0 = \xi r = x_0 = a - (a - 2a^2 + a^3)^{1/3} \quad (15)$$

$$v2r(\xi x_0) = \frac{(a - ((-1 + a)^2 a)^{1/3})^3}{-1 + 3(a - ((-1 + a)^2 a)^{1/3})^2} \quad (16)$$

Шинжилгээнд (8) илэрхийллийн полюс $x p$ ийн байршил a -параметраас хамаарах байдал чухал баримжаа болж өгөв.

$$a^2 = \frac{x p^3 + x p^2}{3x p - 1} \quad (17)$$

x_0 ийн утгын эерэг мужид полюс үүсгэж чадах a -параметрийн хамгийн бага утгыг a_0 ээр тэмдэглэвэл :

$$a_0 = 0.847487$$

Энэ утгад $x_p = 1/\sqrt{3}$ харгалзана. (13) нөхцөл биелэх x_0 утгуудыг a -параметрийн зөвхөн $a_0 < a < 1$ мужид хайх хэрэгтэй болдог. (8) аас

$$x_p = -\frac{1}{3} - \frac{-1-9a^2}{3(-1-27a^2+3\sqrt{3}\sqrt{a^2+18a^4-27a^6})^{1/3}} + \frac{1}{3}(-1-27a^2+3\sqrt{3}\sqrt{a^2+18a^4-27a^6})^{1/3} \quad (18)$$

ξx_0 ийн утга a -параметраас хамаарах хамааралыг 5-графикт үзүүлэв.

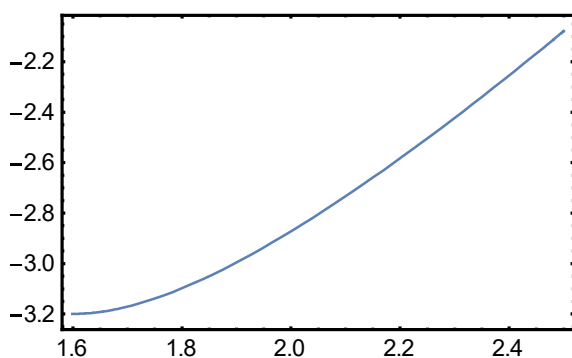


График 5. ξ_0 ба ξx_0 -ийн a -параметраас хамаарах хамаарал.

$$a = a_1 = \frac{-1+3\xi_0^2 - \sqrt{1-6\xi_0^2+8\xi_0^3-3\xi_0^4}}{2(-2+3\xi_0)} = 0.8826401$$

Хоёр шугам утгад

$$x_{01} = -\frac{1-a+2a^2}{3(1+a)} - \frac{(-1+2a-14a^2+13a^3-4a^4)/(3(1-a)(-1+3a-36a^2+67a^3-72a^4+39a^5-8a^6+3\sqrt{3}\sqrt{a^2-5a^3+34a^4-106a^5+152a^6-106a^7+32a^8-a^9+a^{10}})^{1/3})}{3(1-a)} + \frac{1}{3\sqrt{3}\sqrt{a^2-5a^3+34a^4-106a^5+152a^6-106a^7+32a^8-a^9+a^{10}})^{1/3}} \quad (19)$$

$a_0 < a < a_1$ тохиолын жишээ болгож $a = 0.87$ утгад $v2r(x_0)$ ба $v2r(\xi r)$ хоёр функцийн графикийг нэг хавтгай дээр давхарлан зурав (график 7).

огтлолцжээ . 1. $a_0 < a < a_1$ тохиолд $\xi x_0 < \xi_0$. Тухайн a утгад ξr ийнавах утгын дээд хязгаар нь ξ_0 биш харин (15) ээр илэрхийлэгдэх ξx_0 болно. 2. $a_1 < a < 1$ тохиолд $\xi x_0 > \xi_0$ Тухайн a утгад ξr ийн авах утгын дээд хязгаар нь ξ_0 болно.

1. ба 2. тохиол тус бүрд $v2r(x_0)$ ба $v2r(\xi r)$ хоёр функцийн графикийг нэг хавтгай дээр давхарлан зурахад энэ хоёр тохиолын ялгаа юунд оршиж байгаа нь нүдэнд тусна. Жишээ болгож $a_1 < a = 0.91$ буюу $\xi x_0 > \xi_0$ тохиолд $v2r(\xi r)$ ба $v2r(x_0)$ хоёр функцийн графикийг нэг хавтгай дээр давхарлан зурав (график 6)

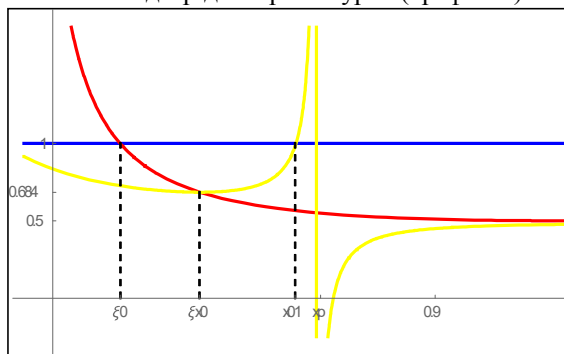


График 6. ξ_0 нь $V2r(\xi r) = 1$ тэг шитгэлийн язгуур, $\xi r = \xi_0$ -д харгалзах $x_0 = x_{01}$ утга нь $v2r(x_0) = 1$ тэгшитгэлийн язгуур мөн. Зургаас харахад x_0 нь (x_{01}, x_p) интервалд утга авбал харин $v2r$ нь $(1, \infty)$ интервалд утга авбал (13) нөхцөлүүд хангагдахаар байна.

Үүнд

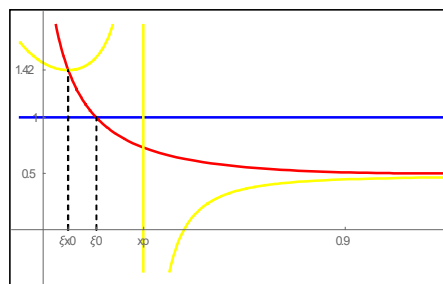


График 7. $v2r(\xi r)$ ба $v2r(x_0)$ ийн график. Хоёр муруйн огтлолцсон цэг $\xi x_0 = \xi_0 < \xi_0$. Энд x_0 ийн авах утгын

доод хязгаар ξr ийн авах утгын дээд хязгаар хоёулаа ξx_0 тэй тэнцүү. Тэгэхлээр x_0 нь $(\xi x_0, xp)$ завсарт, $v2r$ нь $(v2r(\xi x_0), \infty)$ зэвсарт утга авбал (13) нөхцөлүүд хангагдана. Үүнд ξx_0 ба $v2r(\xi x_0)$ утгууд (15) ба (16) томъёогоор бодогдоно.

Гадаргуун соронзон долгионы бодлогод, бүр анхнаасаа, $\varepsilon_1 / \varepsilon$ харьцаа ба зааг хавтгай дээрх e_0 утгаар β^2 -г тодорхойлох зорилго

$$x_0 = -\frac{-a + 2a^2 + v2r}{3(-a + v2r)} - (2^{1/3}(-9a^2v2r(-a + v2r) - (-a + 2a^2 + v2r)^2)) /$$

$$(3(-a + v2r)(2a^3 - 12a^4 + 24a^5 - 16a^6 - 6a^2v2r + 24a^3v2r - 78a^4v2r + 54a^5v2r +$$

$$6av2r^2 - 12a^2v2r^2 + 108a^3v2r^2 - 54a^4v2r^2 - 2v2r^3 - 54a^2v2r^3 +$$

$$\sqrt{((2a^3 - 12a^4 + 24a^5 - 16a^6 - 6a^2v2r + 24a^3v2r - 78a^4v2r + 54a^5v2r +$$

$$6av2r^2 - 12a^2v2r^2 + 108a^3v2r^2 - 54a^4v2r^2 - 2v2r^3 - 54a^2v2r^3)^2 +$$

$$4(-9a^2v2r(-a + v2r) - (-a + 2a^2 + v2r)^2)^{1/3}}) + \frac{1}{3 \cdot 2^{1/3}(-a + v2r)}$$

$$(2a^3 - 12a^4 + 24a^5 - 16a^6 - 6a^2v2r + 24a^3v2r - 78a^4v2r + 54a^5v2r +$$

$$6av2r^2 - 12a^2v2r^2 + 108a^3v2r^2 - 54a^4v2r^2 - 2v2r^3 - 54a^2v2r^3 +$$

$$\sqrt{((2a^3 - 12a^4 + 24a^5 - 16a^6 - 6a^2v2r + 24a^3v2r - 78a^4v2r + 54a^5v2r +$$

$$6av2r^2 - 12a^2v2r^2 + 108a^3v2r^2 - 54a^4v2r^2 - 2v2r^3 - 54a^2v2r^3)^2 +$$

$$4(-9a^2v2r(-a + v2r) - (-a + 2a^2 + v2r)^2)^{1/3}))^{1/3}$$

Дүгнэлт. Ерийн диэлектрик ба өөрөө сарниулагч керт орчин хоёрын заагт гадаргуун соронзон долгио оршин байх ерөнхий нөхцөл: $a0 < a < 1$ хэрвээ $1 > a > a1$ бол β^2 нь ε ээс их ямарч утгатай байж болно ($v2r = \beta^2 / \varepsilon > 1$). Өгөгдсөн $a, v2r$ утгад зааг хавтгай дээр диэлектрикийн функцийг цорын ганц утга харгалзана. Тэр утгыг нь (20) томъёогоор бодож олно.

Хэрвээ $a0 < a < a1$ бол β^2 нь (16) ээс их ямарч утгатай байж болно. Өгөгдсөн $a, v2r$ утгад зааг хавтгай дээр диэлектрикийн функцийг цорын ганц утга харгалзана. Тэр утгыг нь (20) томъёогоор бодож олно.

ε_1 сөрөг диэлектрикийн тогтмолтой шугаман орчин ε эерэг диэлектрикийн тогтмолтой өөрөө сарниулагч керт орчин хоёрын заагт гадаргуун соронзон долгио байж болох нөхцөлийг параметруудаас хамааруулан шинжилсэн шинжилгээний дүнг хүснэгтээр үзүүлбэл

	a парамтрийн утгын муж	x_0 -ийн утгын муж	$v2r$ -ийн утгын муж
I дүгээр тохиол	$(-1, -a0)$	$(\xi x_0, xp)$	$(v2r(\xi x_0), \infty)$

тавигддаггүй байхаа, харин өгөгдсөн $\varepsilon_1 / \varepsilon$ харьцаа ба рефракцийн тогтмолын өгөгдсөн β утгаар зааг хавтгай дээрх e_0 утгыг олох шаардлага үүсдэг бизээ. Үүнтэй холбогдуулан $a > 1$ ба $v2r \in (a, \infty)$ нөхцөлд $x_0 = e_0 / \varepsilon$ -ийг a ба $v2r$ ээр тодорхойлох томъёо толилуулъя.

2 дугаар тохиол	$(a1, -1)$	$(\xi x_0, 1)$	$(v2r(\xi x_0), \frac{a}{a+1})$
3 дугаар тохиол	Нижэ $a1$	$(x01, 1)$	$(1, \frac{a}{1+a})$

ҮҮНД

$$a1 = -7.5207958$$

$$\xi x_0 = \xi = x_0 = a + (-a + 2a^2 - a^3)^{1/3} \tag{21}$$

$$v2r(\xi x_0) = \frac{(a + (-(-1 + a)^2 a)^{1/3})^3}{-1 + 3(a + (-(-1 + a)^2 a)^{1/3})^2} \tag{22}$$

$x01$ нь $v2r(x0) = 1$ тэгшитгэлийн язгуур(19). xp нь (18) томъёогоор бодогдоно.

Хүснэгтэд тавигдсан 3 тохиолын эхнийх нь шугаман аналоггүй болохыг тэмдэглэе.

IV. ДОТООД БҮРЭН ОЙЛТ

Асимптот бөхөх соронзон долгио шийдийг дотоод бүрэн ойлтын бодлогод нилээд явцуу нөхцөлд хэрэглэж болмоор. ε_1 диэлектрикийн тогтмолтой ($z > 0$) орчиноос гэрлийн соронзон хавтгай долгио ($z < 0$) өөрөө сарниулагч керт орчны ($z = 0+$) хавтгай гадаргуу дээр тусч, ойж байгаа гэж төсөөлөн бодъё. Энэ тохиолд рефракцийн тогтмолын квадрат β^2 тусгалын

өнцөг \mathcal{G} :хоёр хоорондоо $\beta^2 = \varepsilon_1 \sin^2 \mathcal{G}$, гэж холбогдоно.

Шугаман орчинд орон нь туссан ба ойсон долгио тус бүрийн орны нийлбэртэй тэнцүү тул $z = 0 +$ дээр соронзон орны у компонент:

$$H_{1,y,tot} = H_{1,y}(1+r),$$

үүнд, $H_{1,y}$ -туссан долгионы соронзон орны у-компонент, r – ойлтын фактор.

$z = 0 +$ дээр цахилгаан орны х-компонентыг Максвеллийн тэгшитгэл хэрэглэн тодорхойлбол

$$E_{1,x,tot} = (r-1)\sqrt{1/\varepsilon_1} \cos \mathcal{G} H_{1,y}$$

$z = 0 \pm$ дээр H_y / E_x харьцаа тасралтгүй байх нөхцөл:

$$\frac{1+r}{r-1} \frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\cos \mathcal{G}} = \frac{h \exp(i\Phi_e)}{iA \exp(i\Phi_A)} \quad (23)$$

Дотоод бүрэн ойлтын тохиолд $r = \exp(i\sigma)$, σ өнцөг туйлширлын өөрчлөлтийг тусгана. (23) аас

$$\Delta\Phi = \Phi_e - \Phi_A, \quad \sin \Delta\Phi = 0, \quad \text{буюу} \quad \cos \Delta\Phi = \pm 1 \quad (24)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} = \sqrt{\varepsilon_1} \frac{1}{\cos \mathcal{G}} \frac{h}{A} \cos \Delta\Phi \quad (25)$$

$\cos \Delta\Phi = \pm 1$ ийн тэмдгийн сонголтоос σ өнцгийн тэмдэг төдийгүй ($z < 0$) өөрөө сарниулагч керр орчинд асимптот бөхөх долгио гарах горим хамаарна. Хоёр дугаар хэсэгт тэмдэглэсэнээр бид өөрөө сарниулагч керр орчны тохиолд $\cos \Delta\Phi = +1$ гэж авах ёстой билээ.

A^2 ба h^2 ийн (1) илэрхийлэлүүд ашиглан $\operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2}$ -г диэлектрикийн функцийн $z = 0 -$ зааг хавтгай дээрх утгаар илэрхийлбэл

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2} = \frac{-\varepsilon\beta^2 + (3\beta^2 - 2\varepsilon_0)\varepsilon_0}{\varepsilon_0^2(\varepsilon + \varepsilon_0)} \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_1 - \beta^2} \quad (26)$$

Зааг хавтгай дээр туссан энергийн урсгал (хэмжээсгүй)

$$s = \frac{1}{8} (\varepsilon_1 A^2 + h^2 \frac{\varepsilon_1 - \beta^2}{\varepsilon_1}) \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_1 - \beta^2}} \quad (27)$$

Үүнийг $z = 0 -$ зааг хавтгай дээрх диэлектрикийн функцийн ε_0 утгаар илэрхийлбэл

$$s = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_0)(\varepsilon(-\varepsilon_1\beta^2 + \varepsilon_0^2(\varepsilon_1 - \beta^2)) + \varepsilon_0(\varepsilon_1^2(3\beta^2 - 2\varepsilon_0) + \varepsilon_0^2(\varepsilon_1 - \beta^2)))}{16\varepsilon_1\varepsilon_0(-2\beta^2 + \varepsilon_0)\sqrt{\varepsilon_1 - \beta^2}} \quad (28)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} = -\sqrt{\operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2} \cos \Delta\Phi} \quad \text{ба} \quad s \quad \text{хоёулаа} \quad \text{нэгэн} \quad \varepsilon_0$$

хэмжигдүүнээр илэрхийлэгдэж байгаагаас үүдэн дотоод бүрэн ойлт зааг хавтгай дээр туссан энергийн урсгалаас хамаардаг гэсэн үг.

Диэлектрикийн функц зааг хавтгай дээр авах утга ε_0 нь $\beta^2 > \varepsilon > \varepsilon_0 \geq \xi$ буюу $\sqrt{2r} > 1 > x_0 \geq \xi r$ нөхцөлийг хангах ёстой, үүнд ξr нь $\sqrt{2r}$ ээр дараах томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$\xi r = \sqrt{2r} - \frac{(1-i\sqrt{3})\sqrt{2r^2}}{2^{2/3}(-\sqrt{2r} + 2\sqrt{2r^3 + \sqrt{v2r^2 - 4v2r^4}})^{1/3}} - \frac{(1+i\sqrt{3})(-\sqrt{2r} + 2\sqrt{2r^3 + \sqrt{v2r^2 - 4v2r^4}})^{1/3}}{2^{2/3}}, \quad (29)$$

Жишээ болгож $\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon = 2.5$, $\beta^2 = 2.875$, $\cos \Delta\Phi = +1$ тохиолд дотоод бүрэн ойлт зааг хавтгай дээр туссан энергийн урсгалаас хамаарах хамаарлыг 8 графикт үзүүлэв.

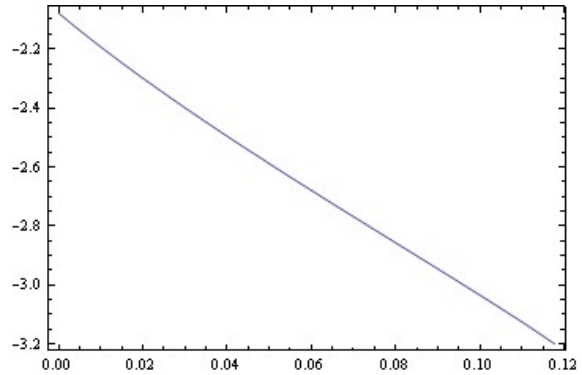


График 8. Босоо тэнхлэг дээр $\operatorname{tg}(\sigma/2)$, хэвтээ тэнхлэг дээр зааг хавтгай дээр туссан энергийн урсгалыг тус тус авав. Туссан эрчим ихсэхийн хирээр σ өнцөг хэмжээгээрээ өсдөг аж.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж суурь судалгааны SSA_017/2016 төслийг санхүүжүүлсэн ШУТС болон БСШУСЯ талархал илэрхийлье. Гэрэл бодисын харилцан үйлчлэл сэдвийн хүрээнд явуулдаг манай судалгаанд ач холбогдол өгч дэмжиж тусалсаар ирсэн проф. Ж.Даваасамбууд баярлалаа гэж хэлье, эрдмийн ажилд нь их амжилт хүсье.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Г.Очирбат, О.Нямсүрэн, Рассеяние света в дефокусирующей среде на нелинейной подложке(Анализ формального решения). Препринт, ОИЯИ, 2000, р17-2000-241.
- [2] Г.Очирбат, О.Нямсүрэн, Сөрөг керр орчинд гэрлийн стационар ТМ долгионы оронд диэлектрикийн функц параметруудаас хамаарах нь. МУИС, ЭШБ 2004 №224(11), 33-50.