

## Klasiskā pieeja

Gaisma ir elektromagnētisks vilnis, proti, elektriskā un magnētiskā lauka svārstības, kas izplatās telpā. Vienkāršākais elektromagnētisko viļņu veids ir plakans vilnis, kāds pirmajā tuvinājumā ir arī lāzera radītais lauks. Tā kā lāzera radītais starojums ir koherents, tas nozīmē, ka tam ir noteikta polarizācija jeb virziens, kādā notiek lauka svārstības. Mūsu gadījumā svārstības notiek vienā plaknē, kas paralēla stara izplatīšanās virzienam.

Polarizators savukārt ir ierīce, kas cauri laiž tikai noteiktā virzienā polarizētu gaismu. Tas nozīmē, ka staram nonākot uz polarizatora cauri izgājušā stara amplitūda ir uzrakstāma kā:

$$E_1 = E_0 \cos \alpha, \quad (1)$$

kur  $E_0$  - sakotnējā elektriskā lauka amplitūda, bet  $\alpha$  - leņķis, ko veido stara polarizācijas un polarizatora plaknes. Tā kā gaismas starā svārstības norisinās ar ļoti augstu frekvenci

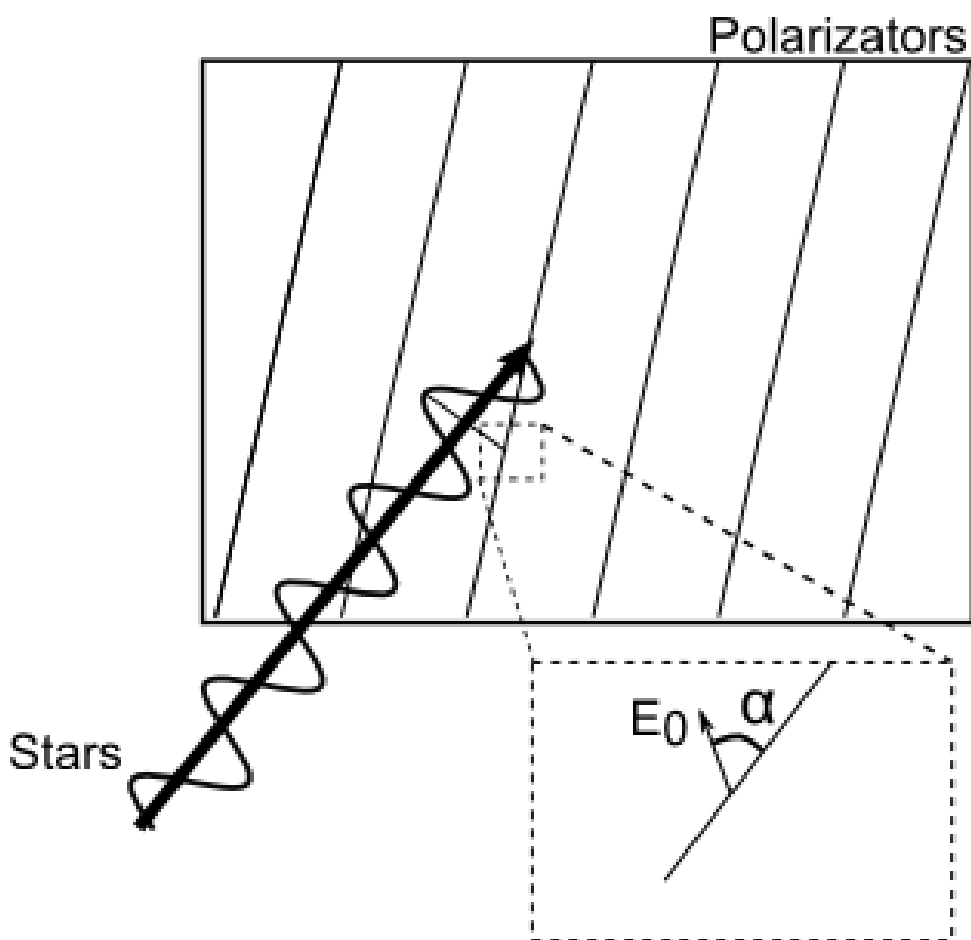


Figure 1: Lāzera stars, kas krīt uz polarizatoru. Caurizgājušā stara elektriskā lauka amplitūda atkarība no leņķa  $\alpha$  starp polarizācijas plaknēm.

( $\sim 10^{14} Hz$ ), lielākā daļa mērinstrumentu tik ātras oscilācijas reģistrēt nevar. Tā vietā mēs "redzam" starojuma, kas proporcionāla elektriskā lauka amplitūdas kvadrātam  $I \sim E^2$ . Tātad starojuma intensitāte pēc iziešanas caur polarizatoru būs samazinājusies  $\cos^2 \alpha$  reizi.

# Kvantu pieeja

Alternatīvs veids kā aprakstīt lāzera radītā gaismas stara polarizāciju ir to uztvert kā daudzus fotonu plūsmu. Katra fotons attiecībā pret polarizatoru var atrasties tikai divos stāvokļos:

- Tā polarizācija var būt tāda pati kā polarizatoram. Šajā gadījumā fotons izies tam cauri.
- Tas var būt polarizēts perpendikulāri polarizatora plaknei. Tādā gadījumā tas otrā pusē nenokļūs.

Nav iespējama situācija, kad, piemēram, 3/4 fotona nokļūst otrā pusē. Vēl jāpiebilst, ka pēc iziešanas caur polarizatoram fotona polarizācija ir tāda pati kā polarizatoram.

Bet kā šis apgalvojums sasauucas ar to, ka elektriskais lauks var būt polarizēts jebkurā virzienā? Šeit atklājas kvantu pasaules īpatnība. Izrādās, ka pirms iziešanas cauri polarizatoram fotons atrodas vienlaicīgi tam paralēlā un perpendikulārā polarizācijas stāvoklī:

$$\psi = c_1 | \perp \rangle + c_2 | \parallel \rangle, \quad (2)$$

kur ar  $\psi$  apzīmēsim fotona polarizācijas stāvokli, bet ar  $| \perp \rangle$  un  $| \parallel \rangle$  stāvokļus, kas atbilst perpendikulāram un paralēlam novietojumam pret mūs interesējošo polarizācijas plakni. Konstantes  $c_1$  un  $c_2$  sauc par varbūtības amplitūdām - to kvadrāti  $c_1^2$  un  $c_2^2$  atbilst varbūtībām fotonam atrasties atbilstošajā stāvoklī. No šī izriet nosacījums:

$$c_1^2 + c_2^2 = 1, \quad (3)$$

jo varbūtībai fotonam būt vienā vai otrā stāvoklī jābūt vienādai ar 1. Šādu sakarību apmierina arī trigonometriskās funkcijas, tāpēc varam izteiksmi (3) parrakstīt kā:

$$\cos \alpha | \parallel \rangle + \sin \alpha | \perp \rangle, \quad (4)$$

kur  $\alpha$ , gluži kā iepriekš, ir leņķis, ko polarizācija veido ar atskaites plakni.

Zināms, ka mūsu lāzera stars ir lineāri polarizēts, tas nozīmē, ka izvēloties kvantēšanās plakni tā, lai tā sakristu ar polarizācijas virzienu, no lāzera nākoši fotoni atrodas stāvoklī:

$$\psi_0 = 1 \cdot | \parallel \rangle. \quad (5)$$

Polarizators pie šādas koordinātu izvēles atrodas stāvoklī:

$$\cos \alpha | \parallel \rangle + \sin \alpha | \perp \rangle. \quad (6)$$

Šādā stāvoklī atradīsies arī fotons, pēc tam, kad būs izgājis cauri polarizatoram. Polarizatora iedarbību ar fotonu var uzrakstīt, kā fotona stāvokļa projekciju uz polarizatora stāvokli. Viena stāvokļa projicēšana uz otru ir ļoti līdzīga divu vektoru skalārai reizināšanai - no nulles atšķirīgi ir tikai locekļi, kuros reizinātas vienas un tās pašas polarizācijas komponente, proti:

$$\langle \parallel | \cdot | \parallel \rangle = 1 \quad (7)$$

$$\langle \perp | \cdot | \perp \rangle = 1 \quad (8)$$

$$\langle \parallel | \cdot | \perp \rangle = 0 \quad (9)$$

. Zinot šo projecēšanas likumu un faktu, ka pēc iziešanas caur polarizatoram fotona un polarizatora polarizācijas sakritīs, varam uzrakstīt fotona stāvokli pēc tā šķērsošanas:

$$\psi_1 = (1 \cdot | \parallel \rangle) \cdot (\cos \alpha | \parallel \rangle + \sin \alpha | \perp \rangle) = \cos \alpha \cdot (\cos \alpha | \parallel \rangle + \sin \alpha | \perp \rangle). \quad (10)$$

Otrs polarizators savukārt novietots mazliet citā leņķī kā pirmais un tā stāvokli iespējams uzrakstīt kā:

$$\psi_2 = \cos \beta | \parallel \rangle + \sin \beta | \perp \rangle. \quad (11)$$

Lai atrastu kada daļa starojama izies cauri abiem polarizatoriem, jāatrod fotona, pēc iziešanas cauri pirmajam polarizatoram, stāvokļa projekcija uz otrā polarizatora stāvokli. Ievērojot iepriekš atrastās likumsakarības to var uzrakstīt kā:

$$\cos \alpha \cdot (\cos \alpha | \parallel \rangle + \sin \alpha | \perp \rangle) \cdot (\cos \beta | \parallel \rangle + \sin \beta | \perp \rangle) = \cos \alpha (\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta). \quad (12)$$

Šo izteiksmi iespējams vienkāršot, izmantojot trigonometrisko sakarību:

$$\cos \alpha - \beta = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta. \quad (13)$$

Lai atrastu varbūtību fotoniem iziet cauri abiem polarizatoriem skaitliskais koeficients, kas iegūts, ir jāceļ kvadrātā. Tātad fotonu daļa, kas izgājusi cauri abiem polarizatoriem, salīdzinot ar pilno fonu skaitu, kas nāk no lāzera, ir  $\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha - \beta$  reizes mazāka. Tā kā katrs fotons pārnes kaut kādu enerģijas porciju, tad fonu skaits, kas iziet cauri polarizatoram, ir tieši proporcionāls apgaismojuma intensitātei.

## Darba uzdevumi

- Izmantojot vienu polarizatoru un vienu datu uzkrājēju uzņem apgaismojuma intensitātes grafiku atkarībā no polarizatora leņķa. Vai lāzera stars ir ideāli polarizēts? Atrodi leņķi, pie kura starojuma intensitāte ir maksimāla.
- Nofiksējot pirmo polarizatoru stāvoklī, kas veido no nulles atšķirīgu leņķi ar lāzera polarizācijas plakni, izpēti, kā mainās stara intensitāte atkarībā no otrā polarizatora stāvokļa. Vai izpildās teorijas daļā iegūtā sakarība.
- Pats centies iegūt sakarību starojuma intensitātei, izmantojot klasisko aprakstu. Vai abi rezultāti sakrīt?
- Padomā, kas mainīsies ļoti vāja (mazs fonu skaits) starojuma gadījumā? Vai abi apraksti būs ekvivalenti?