

# Darba mērķis

Analizēt gaismas polarizāciju no kvantu viedokļa un pārbaudīt vai šāds apraksts saskan ar to, ko no vērojam realitātē.

## 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 ( $\sim 10^{14} Hz$ ), 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 daudzu 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.

Pieņemsim, ka fotons krīt uz polarizatoru. Fotona polarizācija ar polarizatora caurīdes virzienu veido leņķi. Tad fotona polarizācijas stāvokli varam uzrakstīt šādi:

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

kur ar  $\psi$  apzīmēsim fotona polarizācijas stāvokli, bet ar  $\perp$  un  $\parallel$  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:

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

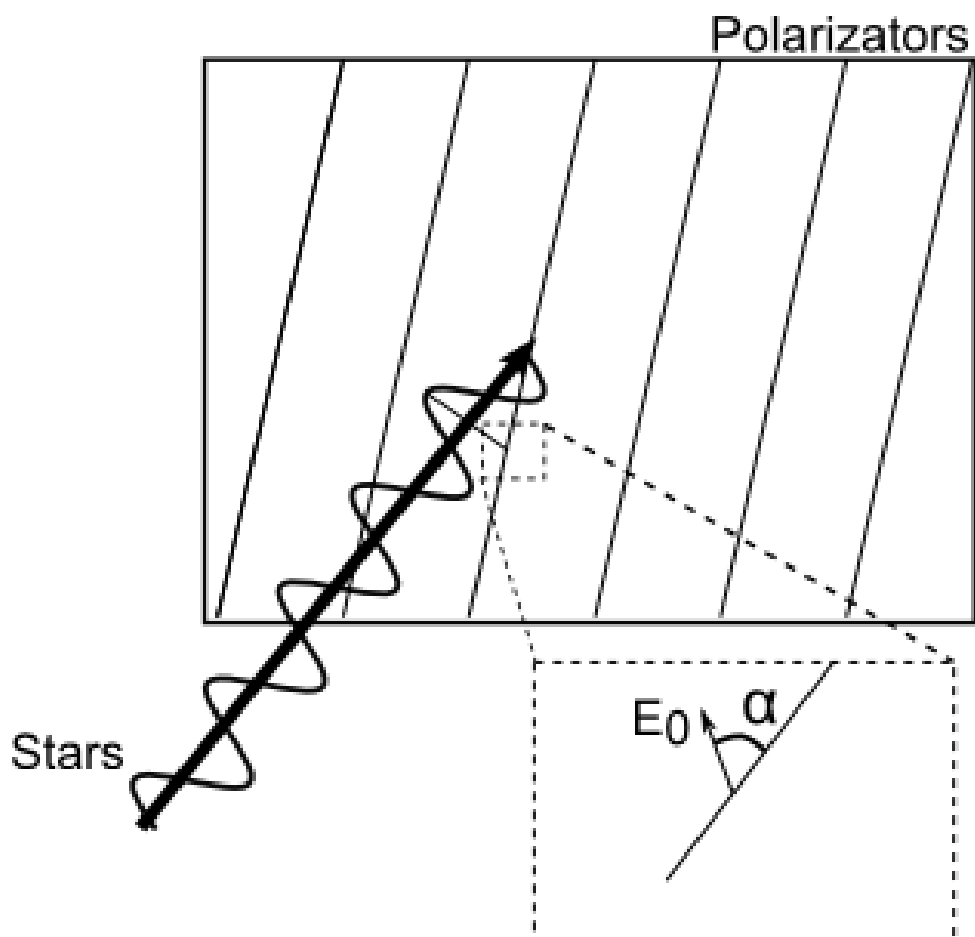


Figure 1: Lāzera stars, kas krīt uz polarizatoru. Caurizgājušā stara elektriskā lauka amplitūda atkarība no leņķa  $\alpha$  starp polarizācijas plaknēm.

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

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

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:

$$\psi_0 = \cos \alpha \parallel + \sin \alpha \perp \quad (5)$$

Polarizators atrodas stāvoklī:

$$\parallel \quad (6)$$

**Šādā stāvoklī atradīsies arī fotons, pēc tam, kad būs izgājis cauri polarizatoram.** Varbūtība fotonam iziet cauri polarizatoram ir vienāda ar:

$$P = \cos^2 \alpha. \quad (7)$$

Otrs polarizators savukārt novietots mazliet citā leņķī kā pirmais. Pagriezīsim koordinātes tā, lai tā stāvokli varētu uzrakstīt kā:

$$\psi_2 = \parallel \quad (8)$$

. Pieņemot, ka pirmais polarizators pret otro novietots leņķī  $\beta$ , fotona stāvokli šajā bāzē var uzrakstīt kā:

$$\psi_2 = \cos \beta \parallel + \sin \beta \perp . \quad (9)$$

Tātad varbūtība fotonam iziet cauri otrajam polarizatoram ir:

$$P = \cos^2 \beta , \quad (10)$$

bet varbūtība iziet cauri abiem attiecīgi ir:

$$P_{Tot} = \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta \quad (11)$$

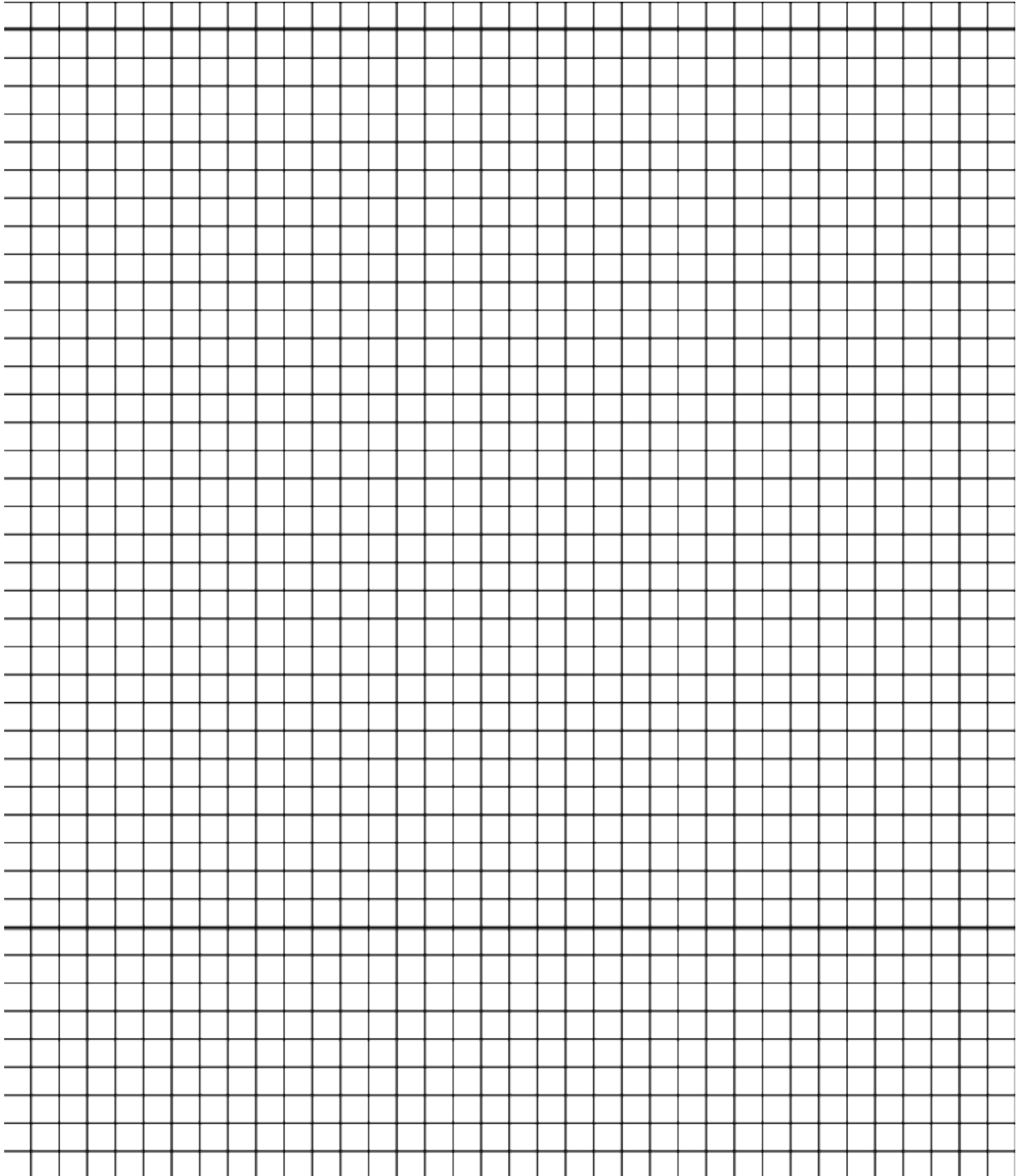
Tā kā katrs fotons pārnes kaut kādu enerģijas porciju, tad fotonu skaits, kas iziet cauri polarizatoram, ir tieši proporcionāls apgaismojuma intensitātei.

## Darba uzdevumi

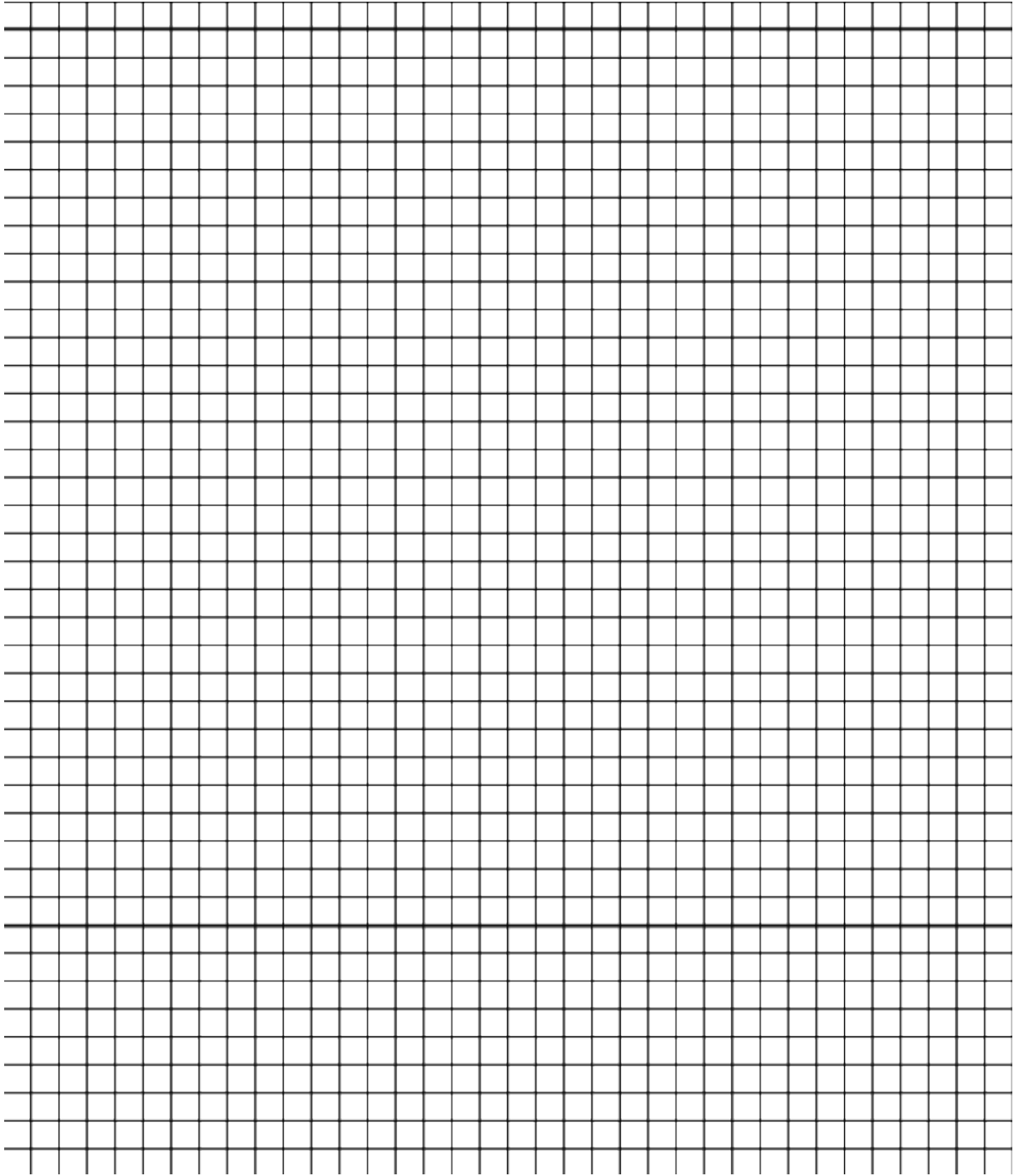
- Izmantojot vienu polarizatoru un vienu datu uzkrājēju uzņem apgaismojuma intensitātes grafiku atkarībā no polarizatora leņķa. Vai lāzera stars ir ideāli polarizēts? Atrodi leņķi, pie kura starojuma intensitāte ir maksimāla.
- Nofiksējot pirmo polarizatoru stāvoklī, kas veido no nulles atšķirīgu leņķi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

## Darba gaita

- Iepazīsties ar teorijas izklāstu
- Īpaši uzmanīgi noklausies to, kas saistīts ar darba un aprīkojuma drošību
- Sagatavo shēmu mērījumam ar vienu polarizatoru.
- Veido grafiku intensitātes atkarība no polarizatora leņķa.



- Nosaki no grafika, vai lāzers ir polarizēts, kā ir vērsta lāzera polarizācija?
- Pievieno mērījuma punktiem funkcijas  $C \cdot \cos \alpha^2$  grafiku, kur  $C$  atbilst maksimālajai nomērītajai starojuma intensitātes vērtībai.
- Izveido shēmu ar diviem polarizatoriem, kur pirmais veido leņķi  $\alpha$  ar lāzera polarizācijas virzienu, kur  $\alpha \neq 0$ .
- Uzņem starojuma intensitātes atkarību no leņķa  $\beta$ , ko veido pirmais polarizators ar otro.



- Pārbaudi vai izpildās teorijas daļā iegūtā sakarība.
- **Bonusjautājums:** vai vari izvest līdzīgu sakarību, izmantojot klasisku aprakstu. Kāda ir būtiskākā atšķirība starp abām pieejām?