

FIZMAT.LV


 μazā  
fizikas  
universitāte


 JFS  
JAUNO FIZIKU SKOLA


 LATVIJAS  
UNIVERSITĀTE  
ANNO 1919
FIZMIX<sup>LV</sup>

Vārds

uzvārds

klase

datums

## MATA DIAMETRA APRĒĶINS, IZMANTOJOT GAISMAS DIFRAKCIJU



### Mērķis:

Iegūt difrakcijas ainu, izmantojot lāzerpointeri un matu, aprēķināt lāzerpointeru viļņa garumu un mata diametru. Iepazīties ar metodi kļūdu aprēķinam.

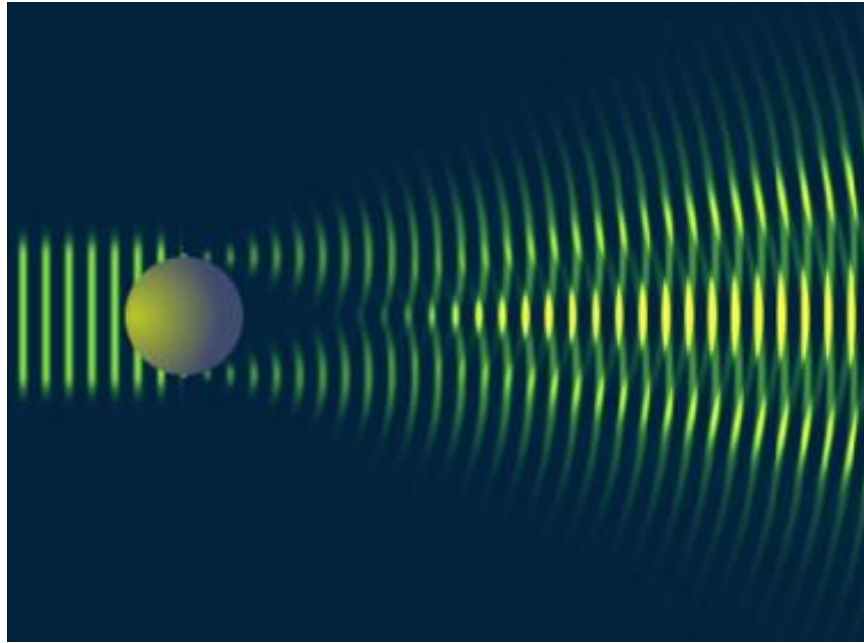
### Kodolīgs teorijas izklāsts:

Gaismas difrakcija ir viena no fundamentālajām gaismas īpašībām, kas parāda gaismas viļņveidīgo dabu. Tāpat kā jebkurš vilnis (skaņas, ūdens u.c.), arī gaisma apliecas ap šķērslī, kas nolikts tās ceļā, un šo parādību sauc par **difrakciju**.

Ja ar gaismas staru apspīdina objektu, kura izmēri ir lieli salīdzinājumā ar gaismas viļņa garumu, tad gaismas viļņveida daba nebūs novērojama, jo gaisma uzvedīsies kā gaismas stars, kas rada ēnu, apliecinoties ap objektu. Savukārt, ja objekts ir pietiekami mazs, iespējams novērot gaismas kā viļņa īpašības.

Lai varētu novērot **difrakcijas ainu**, šķēršļa izmēram  $D$ , ap kuru apliecas gaismas stars, jābūt samērojamam ar viļņa garumu  $\lambda$ . Ja difrakcijas ainu cenšas novērot ar redzamo gaismu, šķēršļa izmēram jābūt mērāmam mikrometros. Piemēram, cilvēka mata diametrs vidēji mēdz būt robežās no 10 līdz 100 mikrometriem.

Difrakciju skaidro ar Heigensa-Freneļa principu – katrs punkts uz viļņa frontes ir koherentu sekundāro viļņu avots (1. attēls). Par koherentiem sauc tādus viļņus, kuru viļņu garums ir vienāds un fāžu starpība – laikā nemainīga. Sekundārie viļņi kā savstarpēji koherenti viļņi interferē (pārklājas), uz ekrāna radot difrakcijas ainu ar maksimumiem un minimumiem (2. attēls). Maksimumi novērojami tur, kur rezultējošās svārstības amplitūda ir vislielākā, savukārt minimumi – kur rezultējošās svārstības amplitūda ir vismazākā.



1. attēls – Gaismas apliekšanās ap šķērslī, radot koherentus sekundāru viļņu avotus.



2. attēls – Sekundārie viļņi interferē, uz ekrāna radot difrakcijas ainu ar maksimumiem (sarkanā krāsā) un minimumiem (tumšie plankumi starp maksimumiem).

Difrakcijas ainu apraksta šāds vienādojums:

$$d = \frac{\lambda m D}{x} \quad (1)$$

$d$  – šķēršļa diametrs;

$\lambda$  – gaismas viļņa garums;

$m$  – novērojamās difrakcijas ainas maksimuma kārtas skaitlis (centrālajam maksimumam  $m = 0$ );

$D$  – attālums no šķēršļa līdz ekrānam, uz kura novēro difrakcijas ainu;

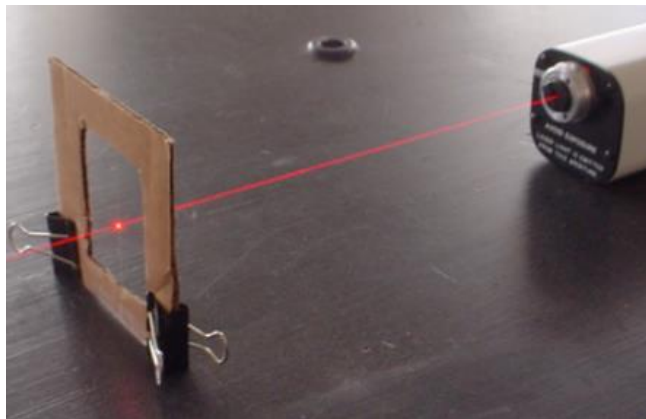
$x$  – attālums starp difrakcijas ainas centrālā maksimuma un  $m$ -tās kārtas maksimuma viduspunktiem.

**Darba piederumi:**

- lāzerpointeris;
- makšķerēšanas aukla;
- mats;
- kartona ietvars;
- līmlente;
- šķēres;
- plastalīns;
- lineāls.

**Darba gaita:**

- 1) Iepazīsties ar kodolīgās teorijas izklāstu, kas atrodams darba apraksta sākumā.



3. attēls – Eksperimenta shēma.

- 2) **Sagatavo eksperimenta shēmu (3. attēls):**

- Aptuveni 10 cm garu makšķerauklas posmu ievieto kartona ietvarā paralēli ietvara 2 malām pa vidu starp tām. Nostiprini makšķerauklu pie ietvara, abus tās galus piestiprinot ar līmlenti pie ietvara malām;
- Pie tuvākās sienas ar līmlenti pielīmē balto papīra lapu tādā augstumā, lai lāzera stars, kas nāks no lāzerpointerā, kristu uz balto papīra lapu;
- Starp lāzerpointerā staru un sienu novieto kartona ietvaru tā, lai lāzerpointerā stars kristu tieši uz makšķerauklu un uz baltās papīra lapas pie sienas būtu novērojama difrakcijas aina līdzīgi kā 2. attēlā. Izmēģini dažādus attālumus gan starp kartona ietvaru un balto papīra lapu, gan starp kartona ietvaru un lāzerpointeri. Atrodi, kādos attālos vislabāk novērojama difrakcijas aina. Mēģini atrast tādu attālumu, lai difrakcijas ainā blakus esošie maksimumi būtu iespējami labi izšķirami viens no otra;
- Ar plastalīnu vai līmlenti piestiprini kartona ietvaru pie galda tā, lai tas nekustīgi turētos eksperimenta laikā;
- Novieto lāzerpointeri uz neliela paaugstinājuma (grāmata, klade, finiera plāksne) tā, lai tā stars kristu tieši virsū makšķerauklai un uz sienas joprojām būtu redzama difrakcijas aina. Nostiprini lāzerpointeri, lai tas ir nekustīgs eksperimenta laikā.

### 3) Lāzerpointera viļņa garuma noteikšana, izmantojot makšķerauklu ar zināmu diametru $d$ .

3.1) Izmantojot difrakcijas ainu aprakstošo vienādojumu (1), pārraksti šo vienādojumu tādā formā, lai izteiktu viļņa garuma vērtību:

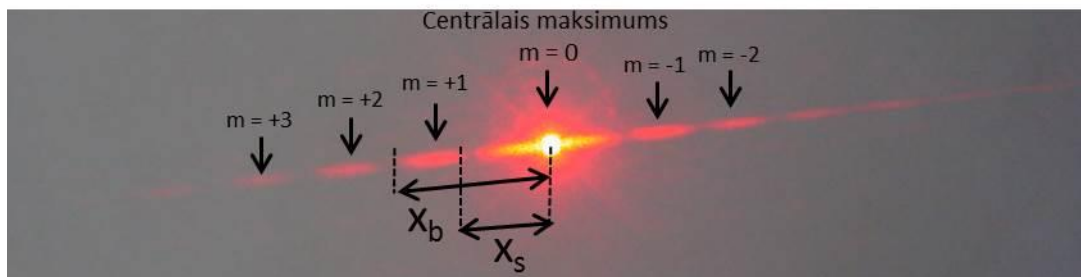
$$\lambda =$$

3.2) Izmēri attālumu no šķēršļa (makšķerauklas) līdz ekrānam, uz kura novēro difrakcijas ainu:

$$D = \dots\dots\dots \text{ cm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

3.3) Izpēti iegūto difrakcijas ainu.

Cik difrakcijas maksimumus uz abām pusēm no centrālā maksimuma vari saskatīt tā, ka tos vari atšķirt vienu no otra?



4. attēls – Maksimumu kārtas numuri un attālumu  $x_b$  un  $x_s$  mērījumi

Nākamajā lapā atradīsi tabulu.

3.4) Tabulas ailē „Maksimuma kārtas numurs” ieraksti difrakcijas maksimumu numurus, sākot no lielākā un ņemot vērā to, cik difrakcijas maksimumus spēj saskatīt difrakcijas ainā. Piemēram, ja redzi 2 maksimumus pa kreisi no centrālā maksimuma un 2 maksimumus pa labi no centrālā maksimuma, tad šo tabulas aili aizpildi šādi:

Maksimuma kārtas numurs $m$
+ 2
+ 1
0
- 1
- 2

Ja redzi 4 maksimumus uz katru pusi, tad attiecīgi sāc jau no „+4” un tā līdz „-4”, utt. Šajā gadījumā „+” un „-” zīmes parāda tikai virzienu, uz kuru pusi esošais maksimums tiek apzīmēts – pa labi vai pa kreisi no centrālā maksimuma esošais. Aprēķinos šī zīme nav jāņem vērā – maksimuma numurs  $m$  vienmēr jālieto pozitīvs.

3.5) Pirmajam tabulā ierakstītajam maksimumam (piemēram, „+2”, kas nozīmē no centrālā maksimuma pa kreisi esošo otro maksimumu) ar lineālu izmēri attālumu no centrālā maksimuma viduspunkta līdz konkrētā maksimuma sākuma punktam. Šo vērtību milimetros ieraksti tabulā ailītē „ $x_s$  mm”. Tam pašam maksimumam izmēri arī attālumu no centrālā maksimuma viduspunkta līdz konkrētā maksimuma beigu punktam. Šo vērtību milimetros ieraksti tabulā ailītē „ $x_b$  mm”.

Pārrēķini abus lielumus no milimetriem uz metriem, aizpildot tabulas ailītes attiecīgi „ $x_s$  m” un „ $x_b$  m”.

3.6) Aprēķini attālumu starp difrakcijas ainas konkrētā maksimuma un centrālā maksimuma viduspunktiem, ko aprēķina kā vidējo aritmētisko vērtību starp lielumiem  $x_s$  un  $x_b$ :

$$x_{vid} = \frac{x_s + x_b}{2}$$

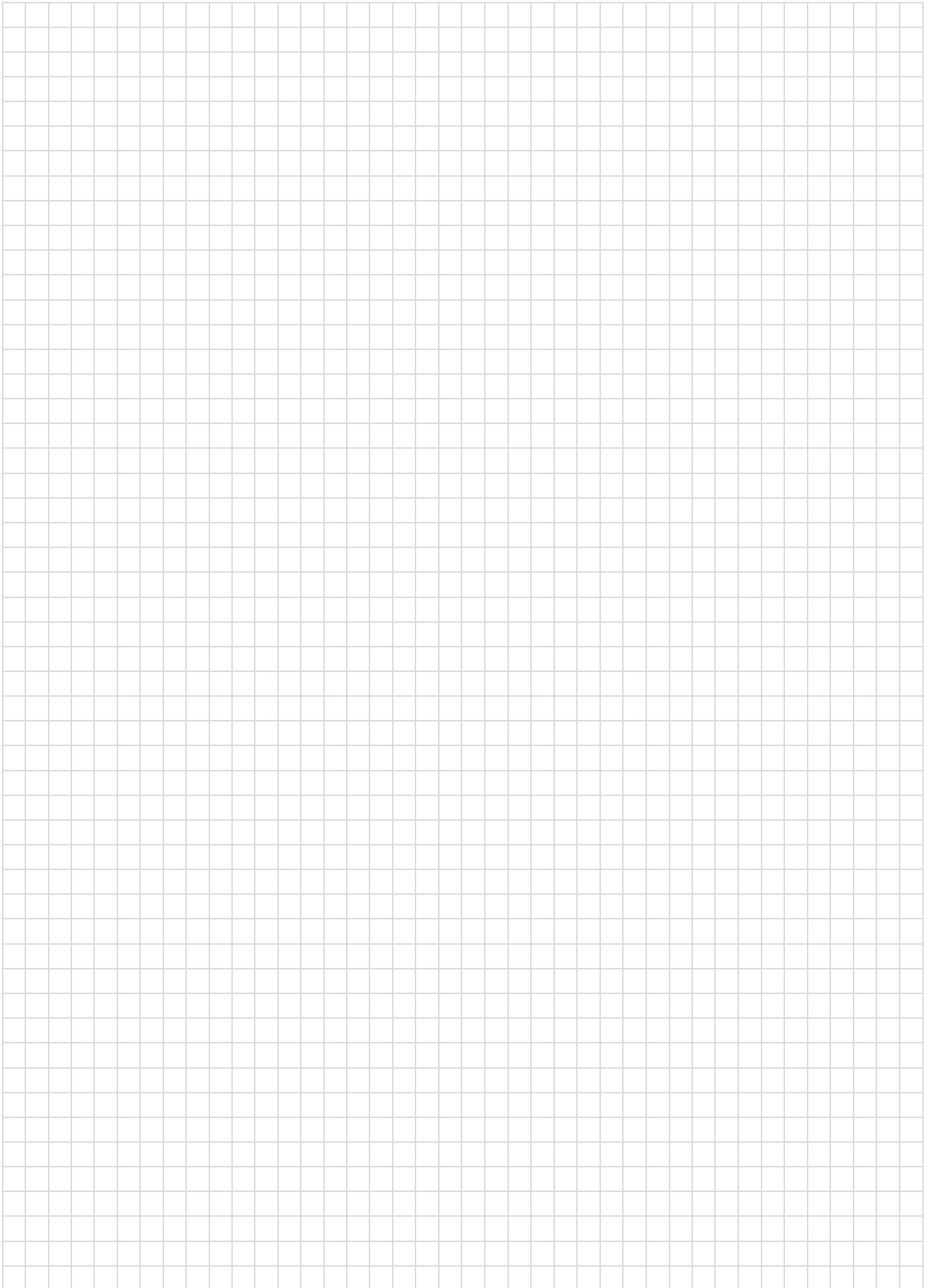
3.7) Makšķerauklas diametrs (to tev pateiks nodarbības vadītājs!):

$$d = \dots\dots\dots \text{ mm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

3.8) Aprēķini viļņa garumu  $\lambda$  katram maksimuma kārtas numuram un ieraksti šo vērtību tabulā. Kad aprēķinātas viļņa garuma vērtības visiem maksimumiem, aprēķini, kāda ir vidējā viļņa garuma vērtība  $\lambda_{vid}$ .

Maksimuma kārtas numurs $m$	$x_s$ , mm	$x_s$ , m	$x_b$ , mm	$x_b$ , m	$x_{vid}$ , m	Viļņa garums $\lambda$ , nm

$$\lambda_{vid} = \quad \quad \quad nm$$

**Vieta aprēķiniem**

3.9) Novērtē iegūto rezultātu  $\lambda_{vid}$ ! Vai rezultāts ir ticams? Pamato!

---



---



---

**4) Mata diametra aprēķins, izmantojot lāzerpointeri ar zināmu viļņa garumu.**

4.1) Nodarbības vadītājs pateiks reālo lāzerpointeru viļņa garumu:

$$\lambda = \dots\dots\dots \text{ nm}$$

4.2) Salīdzini reālo lāzerpointeru viļņa garuma vērtību  $\lambda$  ar to, kādu iegūvi iepriekšējā uzdevuma aprēķinos  $\lambda_{vid}$  ! Kādus secinājumus vari izdarīt?

---



---



---

4.3) No kartona ietvara izņem makšķeruklu un līdzīgā veidā ievieto kartona ietvarā matu. Vēlreiz uzstādi eksperimenta shēmu līdzīgi kā iepriekšējā darba uzdevumā – sākumā atrodi labākos attālumus, kādos labi saskatāma difrakcijas aina.

4.4) Izmēri attālumu no šķēršļa (mata) līdz ekrānam, uz kura novēro difrakcijas ainu:

$$D = \dots\dots\dots \text{ cm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

4.5) Atkārto vienādojumu, kas jāizmanto mata diametra ( $d$ ) aprēķinam:

$$d =$$

4.6) Tālākie soļi ir tādi paši kā iepriekšējā darba uzdevumā. Izpildi tos un aizpildi tabulu. Aprēķini mata diametra vērtību katram mērījumam. Beigās aprēķini vidējo aritmētisko mata diametra vērtību  $d_{vid}$  !

Maksimuma kārtas numurs <i>m</i>	$x_s$ , mm	$x_s$ , m	$x_b$ , mm	$x_b$ , m	$x_{vid}$ , m	Mata diametrs $d$ , $\mu\text{m}$

$$d_{vid} = \quad \mu\text{m}$$

4.7) Salīdzini iegūto mata diametra vērtību ar to, kāda tā sanāk citiem! Vai šis rezultāts ir ticams?

---



---



---



---



---



---



**Vieta aprēķiniem**

**Papilduzdevums****5) Mērījuma kļūdas aprēķins**

Mērījumu gaitā vienmēr rodas mērījumu kļūdas. Tās saistītas gan ar mēriekārtu kļūdām (tās parasti sauc par sistemātiskajām kļūdām), gan ar paša mērītāja kļūdām. Mērījumos vienmēr svarīgi ir novērtēt aprēķinātā lieluma kļūdu, lai spētu spriest par atbildes ticamību un precizitāti. Kļūdu parasti apzīmē, attiecīgajam fizikālā lieluma burtam priekšā pieliekot grieķu alfabēta burtu  $\Delta$  (delta). Piemēram, mata diametra mērījuma kļūda tiks apzīmēta šādi:

$$\Delta d$$

Kopējo mērījuma kļūdu rēķina, zinot katras mēriekārtas kļūdu. Mēriekārtu kļūdas tiek norādītas pašas mēriekārtas specifikācijā, bet dažreiz mēriekārtas kļūda ir jānovērtē pašam.

5.1) Pieraksti izmantoto mēriekārtu sistemātiskās kļūdas:

- Attāluma no šķēršļa līdz ekrānam, uz kura novēro difrakcijas ainu, ***D*** kļūdu rada mēriekārtas – šajā gadījumā lineāla – sistemātiskā kļūda. Par lineāra sistemātisko kļūdu parasti pieņem mazāko lineāla iedaļas vērtību:

$$\Delta D = \dots\dots\dots \text{ mm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

- Lāzerpointeru viļņa garuma  $\lambda$  kļūdu novērtēsim aptuveni, jo lāzerpointeru specifikācijā tā nav norādīta.

$$\Delta \lambda = 5 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

- Attāluma starp difrakcijas ainas centrālā maksimuma un *m*-tās kārtas maksimuma viduspunktiem ***x*** kļūdu nosaka gan mēriekārtas (lineāla) kļūda, gan arī neprecizitāte, kas rodas mērīšanas procesā (mērītāja neprecizitāte). Novērtē, ar kādu, tavuprāt, precizitāti tika mērīts attālums ***x***:

$$\Delta x = \dots\dots\dots \text{ mm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

5.2) Aprēķini mērījuma kļūdu konkrētam mērījumam. Šim nolūkam izvēlies jebkuru mērījumu no tabulas, ko aizpildīji iepriekšējā darba uzdevumā. No tabulas noraksti izvēlētajā mērījuma šīs vērtības:

Maksimuma kārtas numurs:  $m = \dots\dots\dots$

Attāluma starp difrakcijas ainas centrālā maksimuma un *m*-tās kārtas maksimuma viduspunktiem vidējā vērtība:

$$x_{vid} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Attālumu no šķēršļa (mata) līdz ekrānam, uz kura novēro difrakcijas ainu (punktā 4.4):

$$D = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Lāzerpointeru viļņa garums (punktā 4.1):

$$\lambda = \dots\dots\dots \text{ m}$$

5.3) Aprēķini katra lieluma relatīvo kļūdu. Relatīvo kļūdu vienmēr apzīmē procentos. Ja rezultāts pēc divu vērtību izdalīšanas sanāk, piemēram, 0.053, tad, pārvēršot uz procentiem, tie ir 5.3 %.

$$\bullet \quad r_D = \frac{\Delta D}{D} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \cdot 100\% = \dots\dots\dots \%$$

$$\bullet \quad r_\lambda = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \cdot 100\% = \dots\dots\dots \%$$

$$\bullet \quad r_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{vid}}} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \cdot 100\% = \dots\dots\dots \%$$

5.4) Mata diametra  $d$  relatīvās kļūdas aprēķins. Iepriekšējā punktā (5.3) aprēķināto relatīvo kļūdu vērtības šajā formulā jāraksta ar decimālajiem skaitļiem, nevis procentiem. Piemēram, ja relatīvā kļūda sanāca 5.3%, tad šajā formulā tā vietā jāraksta 0.054.

$$r_d = \sqrt{r_D^2 + r_\lambda^2 + r_x^2} =$$

5.5) Mata diametra  $d$  kļūdas aprēķins. Mata diametra  $d$  vērtība ir konkrētā mērījuma aprēķinātā mata diametra  $d$  vērtība (to vari atrast tabulā). Relatīvā kļūda  $r_D$  šajā formulā jālieto decimālformā (nevis procentos).

$$\Delta d = d \cdot r_d = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \mu\text{m}$$

5.6) Kopējo mērījuma rezultātu parasti pieraksta šādā formā:

$$d \pm \Delta d = ( \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots ) \mu\text{m}$$

Tādā pašā veidā vari aprēķināt arī citu mērījumu kļūdas! Aprēķinot kļūdas katram mērījumam (katrai tabulas rindiņai), beigās varēsi aprēķināt vidējo aritmētisko mērījumu kļūdu.