

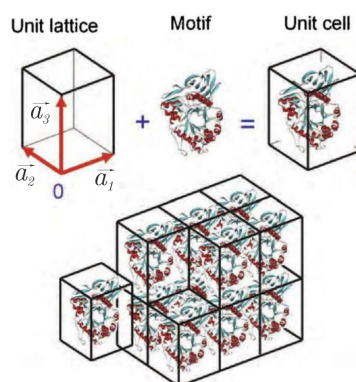
Kristallografi

Felanalys – krävs ej. En lista över utrustning med rekommendationer för dess användande finns längst ned i uppgiften.

Inledning

Kristallografi är när en synkrotron stor som ett fotbollsstadium används för att mäta avstånd av storleksordning några Ångström (längden hos peptidbindningarna mellan aminosyror 1.3 Å).

De centrala objekt som studeras i kristallografi är en kristall. Den kan ses som ett periodiskt upprepat element i rummet - en enhetscell. (Fig. 1)



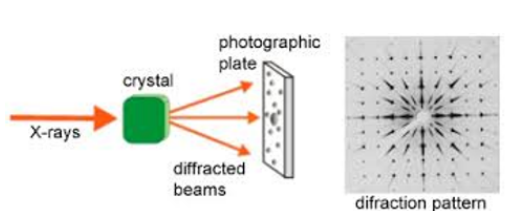
Figur 1: Enhetscellen representerar en hel kristall.

Om $\rho(\vec{x})$ är en reell funktion som beskriver en enhetscells struktur (t.ex. atompositioner, eller elektrontätheten), och $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ är gittervektorer (behöver inte vara sinsemellan vinkelräta), så kan en kristall genereras enligt följande ekvation:

$$\rho(\vec{x} + e \cdot \vec{a}_1 + f \cdot \vec{a}_2 + g \cdot \vec{a}_3) = \rho(\vec{x}), \quad e, f, g \in \mathbb{Z}. \quad (1)$$

För 1D eller 2D kristaller, räcker respektive en ($\vec{a}_1$) eller två vektorer ($\vec{a}_1$ och $\vec{a}_2$), för att definiera en kristall från en enhetscell.

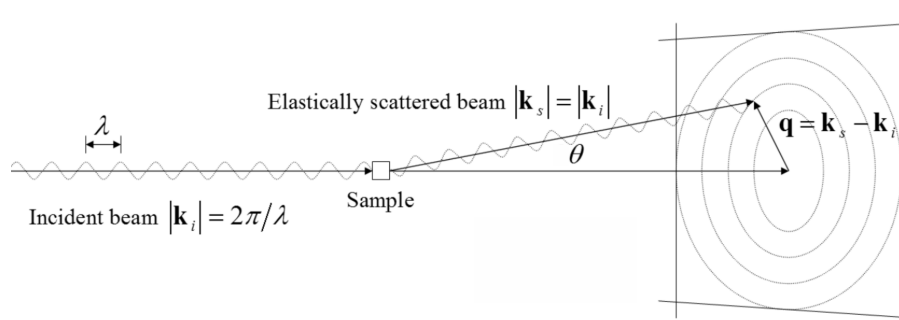
Huvuduppgiften för ett kristallografiskt experiment är att bestämma kristallstrukturen (speciellt $\rho(\vec{x}), \vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$).



Figur 2: Schematisk uppställning över ett kristallografiskt experiment.

Tack vare perioditeten hos kristallen kan strålningsdiffraktion användas för att bestämma dess struktur.

I det kristallografiska experimentet (Fig. 2) infaller en stråle med intensitet I_0 , våglängd λ och vågvektor $\vec{k}_i$, ($|\vec{k}_i| = 2\pi/\lambda$) genom kristallen (i 2D-fallet är $\vec{k}_i$ vinkelrät mot kristallplanet). Den diffrakterade strålen har samma våglängd λ , vågvektor $\vec{k}_s$, $|\vec{k}_s| = |\vec{k}_i|$ och kan betecknas med spridningsvektorn $\vec{q} = \vec{k}_s - \vec{k}_i$ (Fig. 3). Det framgår att $q = 2k_i \sin(\theta/2)$. Vinkeln θ mellan $\vec{k}_s$ och $\vec{k}_i$ är mycket mindre än ett, alltså är $q \ll k_i$.



Figur 3: Spridningsvektorn.

Den komplexa amplituden $F(\vec{q})$ från den diffrakterade strålen $\vec{q}$ kallas **struktur faktorn** (eftersom den är bestämd från kristallstrukturen) och betecknas $F(\vec{q})$. Den har absolutbelopp $|F|$ och fas φ :

$$F(\vec{q}) = |F| \cdot \exp(i\varphi). \quad (2)$$

Den mätbara intensiteten $I(\vec{q})$ är kvadraten av absolutbeloppet av den komplexa amplituden:

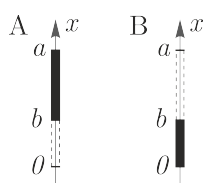
$$I = |F|^2 = FF^*. \quad (3)$$

Fortsatt analys av intensiteterna ger densiteterna $\rho(\vec{x})$. Vanligtvis innehåller kristallerna som studeras små (salter eller komplexa föreningar) eller till och med stora organiska molekyler (protein eller DNA), och densiteten $\rho(\vec{x})$ bestämmer de atomiska positionerna hos föreningen. I detta fall används koherenta röntgenstrålar med våglängd $1 \div 10 \text{ Å}$ (till exempel synkrotronstrålning) som motsvarar typiska avstånd mellan atomer. Om avstånden är större bör en annan våglängd väljas (exempelvis kan synligt ljus användas för optiska gitter).

Nu ska du försöka att bli en kristallograf. I del A ska vi studera de grundläggande lagarna med hjälp av ett diffraktionsgitter (1D kristall). I del B, C och D kommer du att definiera gitterparametrar, symmetrier hos enhetsceller och sedan den detaljerade strukturen.

A. Från spalt till kristall.

Det enklaste exemplet av en kristall är ett optiskt diffraktionsgitter - den kan ses som en endimensionell kristall. En sådan kristall har en spalt (med bredd b) och ett spaltavstånd som sin enhetscell (Fig. 4A). Gittret har period $a_1 = a$ vilket är en endimensionell vektor som genererar kristallen.



Figur 4: Enhetsceller (A och B) hos en 1D-kristall (diffraktionsgitter). De icke-transparenta delarna är markerade med svart.

Vid Fraunhofer-diffraktion genom ett diffraktionsgitter beror ljusintensiteten I på ljusets utbredningsvinkel θ enligt

$$I(\theta) = \frac{I_0}{N^2} \left(\frac{\sin(\frac{N\pi a \sin \theta}{\lambda})}{\sin(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda})} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda})}{\sin(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda})} \right)^2, \quad (4)$$

där I_0 är intensiteten för $\theta = 0$, N är antalet upplysta spalter hos diffraktionsgittret.

För att förstå ekvation 4 måste du veta att:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1. \quad (5)$$

A.1	Skriv formel 4 med hjälp av spridningsvektorn q ($q \ll k_i$).	0.3pt
A.2	Ta fram spridningsvektorn q för maximum nummer h för ett diffraktionsgitter med period a .	0.2pt
A.3	Låt q_1 vara spridningsvektorn för det första maximumet. Uttryck q i q_1 för intensitetsmaximum. Hur beror q_1 och a på varandra?	0.2pt
A.4	Studera diffraktionen för proverna DG1-DG5. Bestäm experimentellt q_1 och a hos varje prov. Rita en skiss på din uppställning, skriv upp storheterna du mäter, och skriv formlerna som används för beräkningarna.	1.0pt
A.5	Utför ett experiment och bestäm förhållandet a/b hos proverna DG3, DG4 och DG5. Förklara din lösning med hjälp av formler, diagram och bilder. Det är givet att $b \leq a/2$.	1.5pt

Notera att perioden för diffraktionsmaxima beror på kristallens period $a_1 = a$, och att intensiteten hos maxima beror på enhetscellens parametrar (spaltbredden b). Denna information kan användas för att underlätta beräkningen av de relativa intensiteterna hos maxima genom att använda strukturfaktorn $F(q)$:

$$F(q) \sim \int \rho(x) \exp(iqx) dx, \quad (6)$$

där strukturfaktorn $F(q)$ är förhållandet i amplitud mellan den transmitterade och den ingående vågen, och q är spridningsvektorn som beskriver positionen i diffraktionsmönstret. Integrationen görs över hela enhetscellen. Om vi ersätter q med positionen av något maximum kommer det att vara möjligt att hitta den relativa intensiteten enligt $I = |F|^2$. Från och med nu gäller $\rho(x) \in \mathbb{R}$.

Positionerna hos intensitetsmaxima vid kristalldiffraktion (kallade **reflexer**) kan representeras med en summa av vektorer (kallade **reciproka gittervektorer**):

1-D: $\vec{q} = h \cdot \vec{q}_1$, där $h \in \mathbb{Z}$;

2-D: $\vec{q} = h \cdot \vec{q}_1 + k \cdot \vec{q}_2$, där $h, k \in \mathbb{Z}$;

3-D: $\vec{q} = h \cdot \vec{q}_1 + k \cdot \vec{q}_2 + l \cdot \vec{q}_3$, där $h, k, l \in \mathbb{Z}$.

Varje reflex hos en 3D-kristall kan således betecknas med tre tal (h, k, l) (och (h) för 1D, och (h, k) för 2D), och har sin egen komplexa amplitud $F(h, k, l)$ och intensitet $I(h, k, l)$.

A.6 Skriv ner $\rho(x)$ för enhetscellen hos diffraktionsgittret från A1 (Fig. 4A). Använd koordinatsystemet som används i figuren. Antag att enhetscellen är sådan att perioden av gittret a är p gånger bredden av spalten b : $a = pb$, $p \in \mathbb{N}$. Beräkna strukturfaktorn $F_A(h)$ hos denna enhetscell för reflex h . Skriv ditt svar genom att använda h och q_1 . Vilket maximum har intensitet 0? Skriv ekvationen för h för ett sådana maxima. 0.7pt

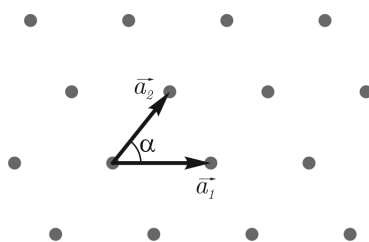
A.7 Betrakta en annan enhetscell (Fig. 4B) av diffraktionsgittret. Beräkna strukturfaktorn $F_B(h)$ hos denna enhetscell för reflex h . Vilka reflexer hos detta diffraktionsgitter har intensitet 0? Skriv ekvationen för h för en sådan reflex. 0.7pt

A.8 Båda dessa diffraktionsgitter blir belysta med ljus med samma intensitet. Hitta förhållandena $I_{A,h=0}/I_{B,h=0}$ och $I_{A,h=1}/I_{B,h=1}$. 0.4pt

B. 2D kristall

I denna del ska du utföra första steget i att definiera strukturen – finna gitter-parametrarna.

De reciproka gittervektorerna i fallet 2D



Figur 5: 2D kristall med gittervektorerna $\vec{a}_1$ och $\vec{a}_2$. Punkterna representerar positionerna hos kristallens atomer.

Låt oss titta på diffraktion mot en tvådimensionell kristall. En schematisk 2D kristall av punkformiga atomer visas i Fig. 5. Gittervektorerna $\vec{a}_1$ och $\vec{a}_2$ bildar en vinkel $\alpha \leq 90^\circ$ sinsemellan.

Om en viss 2D kristalls plan placeras vinkelrätt mot strålen, bildas ett periodiskt diffraktionsmönster på skärmen bakom kristallen, med maxima som beskrivs av uttrycket $\vec{q} = h \cdot \vec{q}_1 + k \cdot \vec{q}_2$, med $h, k \in \mathbb{Z}$.

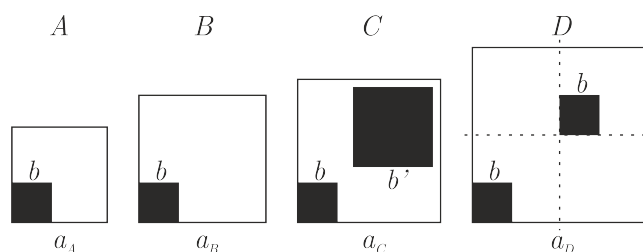
Du får en uppfattning om ett sådant diffraktionsmönster om du tittar på mönstrena från proverna UC1-UC7.

B.1 Ange vinkeln β mellan vektorerna $\vec{q}_1$ och $\vec{q}_2$, samt deras längder q_1 , q_2 . Notera att dessa vektorer måste ha minimal längd och att vinkeln mellan dem måste vara $\leq 90^\circ$. Uttryck ditt svar i kristallparametrarna a_1, a_2, α (Fig. 5) 1.0pt

Prover UC1-UC4: de enklaste kristallerna i 2D

Betrakta fyra 2D kristaller A, B, C, D (Fig. 6). Dessa kristaller har en kvadratisk enhetscell med vinkelräta gittervektorer av lika längd. Enhetscellen för varje kristall innehåller en atom (en ogenomskinlig kvadrat med sidan b på en genomskinlig film). Enhetscellerna C and D innehåller också en andra typ av atomer, förskjutna relativt de första. I kristall C är den andra atomtypens storlek b' större än den första typens: $b' > b$. I kristall D är den andra typen lika stor som den första, och är förskjuten en halv period åt höger och en halv period upp.

- B.2** Ta fram, för kristallerna A och D, den komplexa amplitudens belopp $|F(h, k)|$ för reflexen (h, k) . Ange ditt svar i a (kristallperioden) och b (atomstorleken). Det räcker att ange ett uttryck som gäller för alla reflexer utom det centrala maximat ($h = 0, k = 0$). 1.0pt



Figur 6: Enhetscellerna för kristallerna A-D är kvadratiske. Man vet att $a_B > a_A$. Inga andra storleksförhållanden är kända.

- B.3** Betrakta diffraktionsmönstren från proverna UC1-UC4. Bestäm kristallgitterets period experimentellt för vart och ett av dessa, a_{UC1} , a_{UC2} , a_{UC3} , a_{UC4} . 0.6pt
- B.4** För vart och ett av proven UC1-UC4, bestäm dess kristallstruktur enligt Fig. 6. Förklara ditt val med diagram, bilder och formler. 0.4pt
- B.5** Bestäm atomstorleken b . 0.8pt

Proverna UC5-UC6: Fortfarande enkla 2D kristaller

- B.6** Studera diffraktionsmönstren från proverna UC5, UC6, UC7. Bestäm experimentellt för varje prov parametrarna a_1 , a_2 och vinkeln α . Förklara, med hjälp av diagram och figurer, vilka av respektive diffraktionsmönsters parametrar du använder. 1.2pt

C. Kristallsymmetrier

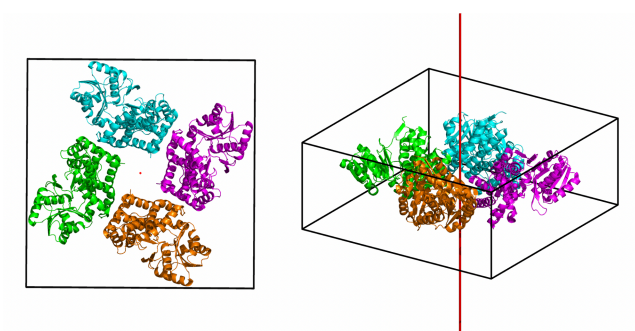
Andra steget efter att ha beräknat enhetscellens parametrar är att bestämma enhetscellens symmetri.

Symmetrier: Teoretisk förståelse

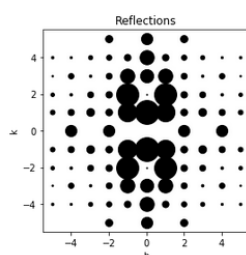
Enhetceller i verkliga kristaller innehåller ofta flera molekyler med vissa symmetrier mellan sig (Fig.7). Att känna till dessa symmetrier underlättar processen att definiera strukturen avsevärt. Enhetcellens symmetri orsakar reciproka symmetrier och systematisk avsaknad av vissa reflexer (reflexer med noll intensitet för varje enhetcell med denna symmetri). Systematisk avsaknad av reflexer bestäms av speciella villkor på h and k (Fig. 8).

Typiska symmetrier för reflexers intensitet:

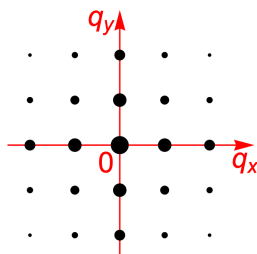
- **Spegelsymmetri** kring en rak linje. Denna linje kallas symmetriaxel och noteras med denna linjes ekvation;
- **Rotationssymmetri** av ordning m (noterad som C_m för ett visst rotationcentrum, $m \in \mathbb{N}$). Rotation med en vinkel $360^\circ \cdot n/m$, $n \in \mathbb{Z}$, ger då tillbaka den ursprungliga bilden.



Figur 7: Denna enhetcell har rotationssymmetri C_4 : rotation kring den röda axeln med $n \cdot 90^\circ$ degrees, $n \in \mathbb{Z}$ ger samma enhetcell.



Figur 8: Reflexer ($h = 2n + 1, k = 0$) är systematiskt saknade. Notera: Reflex (0,0) med relativt hög intensitet är borttagen här för tydlighet skull.



Figur 9: Diffraktionsmönster från en 2D-kristall.

Betrakta ett diffraktionsmönster (Fig. 9) från en 2D-kristall med vinkelräta gittervektorer av samma längd ($a_1 = a_2$). Detta diffraktionsmönster (endast reflexer med $|h|, |k| \leq 2$) visas i figuren.

- C.1** Specificera h och k för punkten som kommer utgöra rotationscentrum. Vilka ordningars rotationssymmetri m är möjliga för ett givet mönster? Rita in alla möjliga spegelsymmetriaxlar i bilden. Markera dina linjer. 0.3pt

Symmetriaxeln är en rak linje, vilket innebär att de kan noteras med ekvationen för en rak linje på formen $c_1 \cdot q_x + c_2 \cdot q_y = d$, där c_1, c_2, d är koefficienter.

- C.2** Ange ekvationen för de spegelsymmetriaxlar du ritat i föregående uppgift. Var tydlig med vilken ekvation som hör till vilken linje. 0.2pt

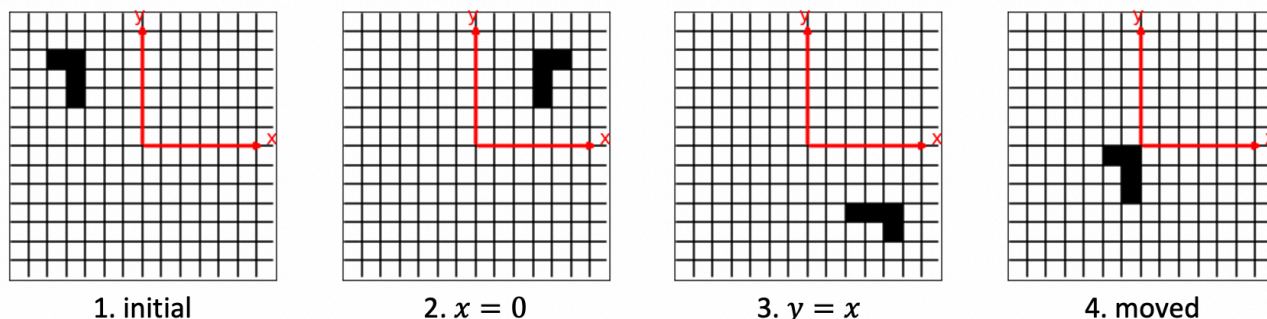
- C.3** För varje rotationssymmetri och spegelsymmetriaxel, ange motsvarande notation (C_m för rotationssymmetri och ekvation för spegelsymmetri) och ekvationen för intensiteterna $I(q_x, q_y)$, som skulle fås i närvaro av denna symmetri. 0.4pt

- C.4** Skriv ner ekvationen för intensiteterna av reflexerna (h, k) och $(-h, -k)$. Vilke symmetri från uppgift C1 motsvarar denna ekvation? Motivera ditt svar. 0.2pt

Låt oss betrakta några kristaller med enhetceller som i Fig. 10. Svarta kvadrater representerar ogenomskinliga element, vita kvadrater representerar genomskinliga element. Enhetcellen för kristall 2 är en spegling av den ursprungliga enhetcellen i $x = 0$ -axeln. Enhetcellen för kristall 3 är en spegling av den ursprungliga enhetcellen i $y = x$ axis. Kristall 4 är en förskjutning av den ursprungliga med vektorn (x_1, y_1) .

- C.5** Med hjälp av definitionen för strukturfaktorn och symmetri, bestäm strukturfaktorerna $f_2(q_x, q_y)$, $f_3(q_x, q_y)$, $f_4(q_x, q_y)$ för kristall 2, 3 respektive 4. Ange ditt svar i termer av strukturfaktorn $F(q_x, q_y) = f_1(q_x, q_y)$ för kristall 1. 0.4pt

- C.6** Betrakta en godtycklig 2D-kristall (Fig. 5). Ange vilka ordningars rotationsymmetri m som är möjliga i 2D-kristaller. Motivera ditt svar. 0.5pt



Figur 10: Enhetcellerna för kristall 2, 3, 4 erhålls ifrån kristall 1 med hjälp av olika symmetrier.

Symmetrier: Experimentella observationer

Svarsbladet innehåller enhetceller för mönster **PG1-PG9**. Genom att studera symmetrin hos enhetceller och diffraktionsmönster, och avsaknaden av vissa reflexer, ska vi bestämma hur de är relaterade till varandra.

C.7 Bestäm vilka symmetrier kristallerna med enhetceller K, L, M, N , och P, Q, R, S, T har. (Fig. i svarsblad). Rita in spegelsymmetriaxlar, och ange vid botten av figuren vilka rotationssymmetrier som förekommer i den. 0.9pt

C.8 Observera diffraktionsmönstren från proverna **PG 1, 2, 5, 8**. Dessa prover motsvarar enhetcellerna K, L, M, N . Bestäm vilka symmetrier de givna diffraktionsmönstren har. Hitta kopplingen mellan diffraktionsmönster och enhetcell. 0.8pt

Diffraktionsmönstrens symmetrier kan beräknas med hjälp av summaregeln (den komplexa amplituden av ett komplext objekt är lika med summan av de komplexa amplituderna hos objektets delar) och kunskap om hur symmetrierna påverkar den komplexa amplituden av varje term. Summaregeln gör det även möjligt att bestämma avsaknaden av vissa reflexer.

C.9 Observera diffraktionsmönstren från proverna **PG 3, 4, 6, 7, 9**. Dessa prover motsvarar enhetcellerna P, Q, R, S, T . Hitta kopplingen mellan prover och enhetcell. Redovisa din lösning med formler, diagram och figurer. 1.0pt

C.10 Observera diffraktionsmönstret för prov UC8. Kan detta prov vara en kristall? Motivera ditt svar. 0.3pt

D. Du behöver fortfarande faserna ...

När enhetcellens parametrar och symmetri är känd är det dags för sista steget - att bestämma kristallens fullständiga struktur.

Fasproblemet ...

När strålning sprids av en kristall kan den komplexa amplituden bestämmas med formeln (den så kallade Fouriertransformen)

$$F(\vec{q}) \sim \int \rho(\vec{x}) \cdot \exp(i\vec{q}\vec{x}) d\vec{x}. \quad (7)$$

För att bestämma elektrontätheten hos en kristall från ett diffraktionsmönster behöver man genomföra en invers Fouriertransform:

$$\rho(\vec{x}) \sim \int F(\vec{q}) \cdot \exp(-i\vec{q}\vec{x}) d\vec{q}. \quad (8)$$

Eftersom vi reflexerna är diskreta kan ovanstående formel skrivas om enligt

$$\rho(\vec{x}) \sim \sum |F(\vec{q})| e^{i\varphi} \cdot \exp(-i\vec{q}\vec{x}), \quad (9)$$

där summeringen görs över alla reflexer. Det räcker dock att endast ta med de starkaste reflexerna, eftersom de bidrar mest till summan.

De experimentellt uppmätta intensiteterna $I(\vec{q})$ gör det endast möjligt att bestämma beloppet $|F(\vec{q})|$. Intensiteterna innehåller olyckligtvis ingen information om faserna φ , så det är inte möjligt att direkt beräkna $\rho(\vec{x})$ utifrån intensiteterna. Detta problem kallas **fasproblemet**.

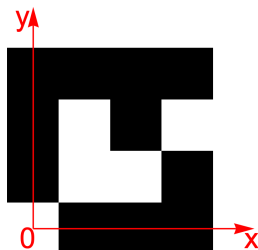
Det vanligaste sättet att lösa fasproblemet är att bestämma ungefärliga faser, beräkna kristallens elektrontäthet utifrån dem, sedan uppdatera faserna utifrån den erhållna elektrontätheten, och sedan upprepa detta tills man är nöjd med den erhållna strukturen.

Det finns ett flertal metoder för att bestämma startgissningar för faserna. Man antar att man har en redan känd kristallstruktur, och att de okända kristallerna har liknande strukturer. I detta fall kan du helt enkelt använda faserna beräknade från den kända strukturen med de uppmätta intensiteterna i den inversa Fouriertransformen (9) för den okända strukturen.

... som du lyckas lösa

Du har 3 olika 2D kristaller: MR0, MR1, MR2. Enhetcellen för var och en av dem är en 4x4 kvadrat, med några kvadrater ogenomskinliga ($\rho = 0$), och andra genomskinliga ($\rho = 1$). Enhetcellen MR0 är känd (Fig. 11). Strukturerna MR1 (möjliga varianter visas i Fig. 12) och MR2 (innehåller 7 vita kvadrater) är okända, men det är känt att de liknar MR0.

Du ska nu bestämma strukturerna MR1 och MR2 med hjälp av den ovan beskrivna metoden. Reflexernas faser (i radianer) med $|h|, |k| \leq 2$ har beräknats preliminärt (Fig. 13) för MR0-strukturen (i koordinatsystemet som visas i Fig. 11). Ledning: elektrontätheternas imaginärdelar $\text{Im}\rho(\vec{x})$ kan försummas med god noggrannhet, vilket innebär att det räcker att ta hänsyn till realdelen av varje term (9).



Figur 11: MR0-strukturen med koordinatsystem. Vita kvadrater är transparenta och svarta icke-transparenta.



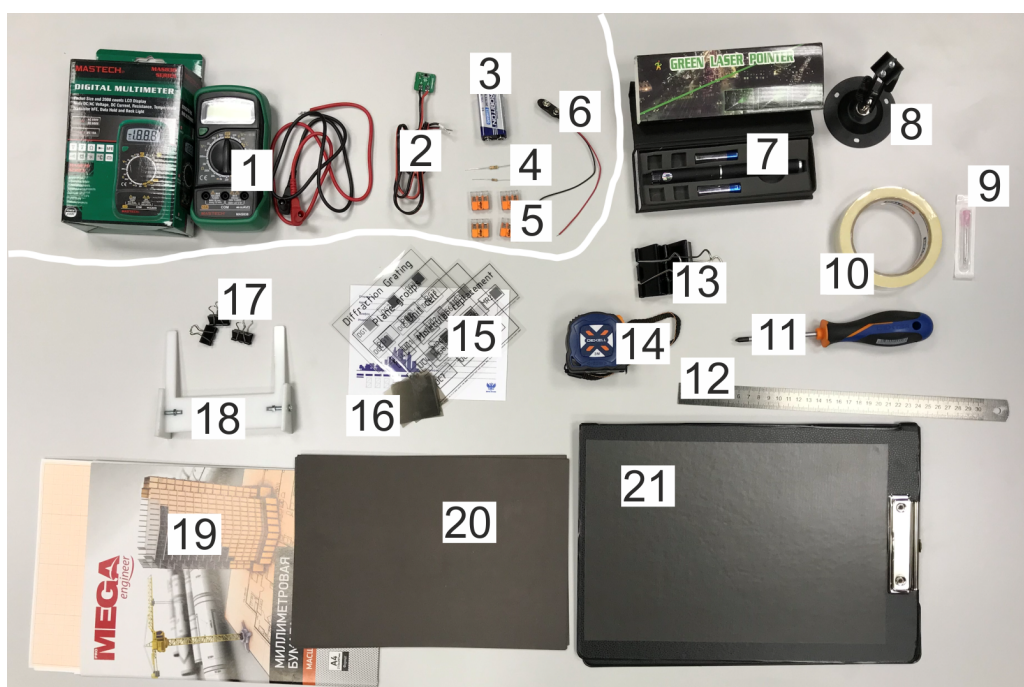
Figur 12: Möjliga enhetsceller för MR1-kristaller.

k	2	3.142	0.4636	0	-0.4636	3.142
	1	0	-0.4636	2.034	-1.571	0
	0	3.142	-1.571	0	1.571	3.142
	-1	0	1.571	-2.034	0.4636	0
	-2	3.142	0.4636	0	-0.4636	3.142
		-2	-1	0	1	2
		h				

Figur 13: Reflexernas faser (i radianer) för MR0-strukturen för reflexer som uppfyller $|h| \leq 2$, $|k| \leq 2$.

- | | | |
|------------|---|-------|
| D.1 | Kristallen (MR0 or MR2) belyses med intensiteten I_0 . Bestäm intensiteten hos maximet vid $\vec{q} = 0$. | 1.0pt |
| D.2 | Bestäm cellstrukturen i MR1-kristallen. MR1 har en av de markerade enhetscellerna. (Fig. 12). Beskriv din metod. | 2.0pt |
| D.3 | Bestäm cellstrukturen i MR2-kristallen. Strukturen påminner MR0:s. Två icke-transparenta kvadrater är här transparenta. | 2.0pt |

Utrustningslista

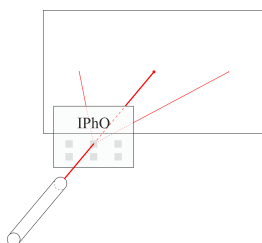


Figur 14: Utrustning. I övre vänstra hörnet – detaljer hos intensitetsdetektorn

1. Multimeter
2. Fotodiod med magnet
3. Batteri
4. Resistorer 10 k Ω m och 200 k Ω m
5. Kontaktdelare (4 st.)
6. Batterihållare
7. Röd laser (våglängd 630 nm)
8. Laserhållare
9. Nål
10. Maskeringstejp
11. Skruvmejsel
12. Linjal
13. Stora klämmor (2 st)
14. Tejphållare
15. Plastskivor ("Diffraction grating", "Unit cell", "Plane group", "Molecular replacement")
16. Film för att reducera laserns intensitet
17. Små klämmor (4 st.)

- 18. Hållare för plastskivor.
- 19. Grafpapper
- 20. Kartongbit
- 21. Bord med magnetiskt skikt

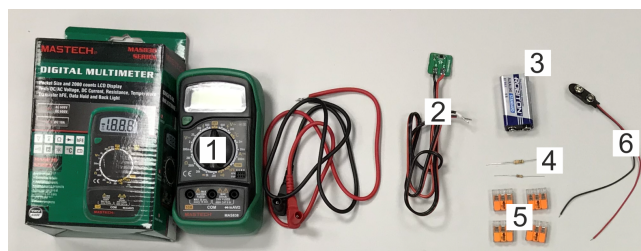
Plastskivor med prover



Figur 15: Placera och belys proverna.

Proverna ska belysas med lasern. Placera provet så att texten hamnar uppåt och kan läsas från vänster till höger. Lasern ska vara framför provet och skärmen bakom. (Fig. 15).

Ljusdetektor

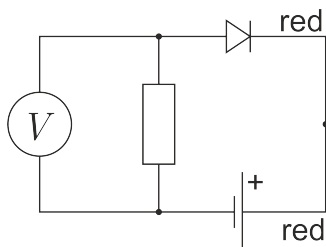


Figur 16: Ljusdetektorns delar.

För att mäta ljusets intensitet kan man koppla ihop en fotodiod, en voltmeter, en resistor och ett batteri som i Fig. 17. Därvid blir strömmen genom dioden proportionell mot ljusets intensitet.

Var noga med polariteten. Batteripackets röda sladd är positiv.. Börja med en 10 kΩ resistor, och skulle intensiteten vara lite liten byt till en 200 kΩ resistor.

För att komma åt anslutningarna (fig. 18), så lyft armen och sänk den sedan. Alla tre anslutningarna är elektriskt sammankopplade



Figur 17: Ljusdetektorns kopplingsschema. Håll reda på polariteten



Figur 18: Kontaktdelare. Alla tre anslutningarna är elektriskt sammankopplade.

Laser

Montera lasern i hållare 8 med en stor klämma.

Vill du minska strålytan tejpa för en bit maskeringstejp och gör ett mindre hål med en nål. Ljusintensiteten minskas med mörka filmen. Se figur 19

!WARNING! Laserljus kan skada, så rikta den inte mot dig och andra. Stäng av den när den inte används.

!WARNING! Tänk på att nålen är mycket vass.



Figur 19: Lasern kan hållas tänd med stora klämman. Vill du minska strålytan tejpa för en bit maskeringstejp och gör ett mindre hål med en nål. Ljusintensiteten minskas med mörka filmen.