

Neutronrefleksioner

Af Beate Klösgen, Institut for Fysik og Kemi, Syddansk Universitet, Odense og Kaspar Hewitt Klenø, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

“Olie er vandafvisende”: de farverige overflader på vandpytter, giver synligt bevis for dette dagligdags fænomen. På samme måde kan stråler af neutroner, i stedet for lysstråler, bruges til at undersøge egenskaberne af meget tynde overfladelag. I det følgende vil vi fortælle om princippet ved neutronrefleksioner, og give eksempler på deres anvendelse.

Refleksion fra gennemsigtige overflader

Alle har oplevet irriterende refleksioner fra vinduesglas: Selv når man kigger vinkelret ind gennem et glasvindue, vil ca. 8 % af lyset blive reflekteret tilbage mod en, i stedet for at passere igennem. Figur 1 viser et billede taget af den ene forfatter, da hun kiggede ind i et museum ude fra gaden: Refleksionerne fra gaden overlapper med det transmitterede lys inde fra museet i en grad, så udstillingen næsten ikke kan ses. Den franske fysiker Fresnel (1788-1828) lavede et grundigt studium af lysets refraction vs. refleksion. Han kogte sine opdagelser ned til et, stadig gyldigt, sæt af ligninger, som beskriver graden af refleksion og transmission for en elektromagnetisk bølge som funktion af indfaldsvinklen, når den overgår mellem to medier med forskellige brydningsindeks.



Figur 1. Transmitteret lys indefra et museum, blandet med refleksioner fra gadebilledet i et udstillingsvindue.

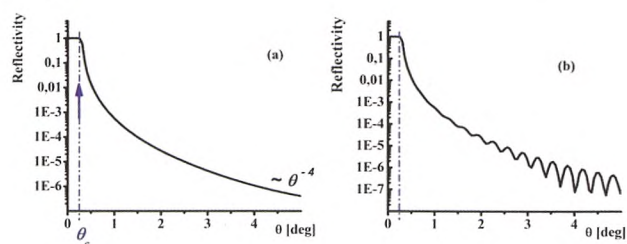
Et særligt tilfælde er totalrefleksion, som opstår, når lys bevæger sig fra et medie med høj densitet (n_{high}), til et med lav densitet (n_{low}) (f.eks. fra vand til luft); alt lys, som rammer overfladen med en vinkel mindre end den kritiske vinkel θ_c bliver reflekteret, og intet lys slipper igennem.

Moderne fysik har udvidet vores forståelse af optik, og har indlemmet lysets påvirkning af partikelbølger i den.

Når neutroner rammer en overflade

I 1924 postulerede De Broglie, at stof, som bevæger sig med høj hastighed, kan opfattes som en bølge, hvor bølgelængden $\lambda = h/(mv)$ er givet ved partiklens masse m , dens hastighed v og Plancks konstant h . Siden da har talrige eksperimenter givet beviser på denne såkaldte bølge/partikel-dualitet. På samme måde kan stråler af neutroner også opfattes som bølger: de har

typiske optiske egenskaber, som interferens, refleksion og diffraktion. Figur 2a viser et eksempel på refleksiviteten af en neutronbølge, med bølgelængde $\lambda = 4,6 \text{ \AA}$, som rammer en overflade mellem silicium og vand. Den kritiske vinkel, $\theta_c = \arcsin(n_{low}/n_{high})$, er meget lav sammenlignet med, hvad den ville være for en lysstråle.



Figur 2. a, venstre: for vinkler mindre end θ_c sker der total intern refleksion. Over θ_c falder intensiteten af den reflekterede stråle som θ^{-4} . b, højre: Et midterlag resulterer i en oscillerende, aftagende intensitet.

Neutroner afslører tynde lag mellem medier

De mange farver i olieforurenede vandpytter (se figur 3) skyldes interferens fra lys, som bliver delvist reflekteret fra toppen af olielaget, men også delvist går igennem olien, for så at blive reflekteret i overgangen fra olie til vand, da den lettere olie vil lægge sig som et tyndt lag ovenpå vandet. Der er en lille forskel i hvor langt de to lysstråler skal bevæge sig, hvilket svarer til et faseskift, som belyst med hvidt lys, medfører de farverige kanter. Det er muligt at analysere detaljerne i farvemønstret og på den måde beregne tykkelsen af olielaget. Under monokromatisk lys ses kanterne som en forskel i lysintensiteten. Men brugen af synligt lys har den begrænsning, at det ikke kan bruges til at undersøge lag, som er tyndere end lysets bølgelængde.



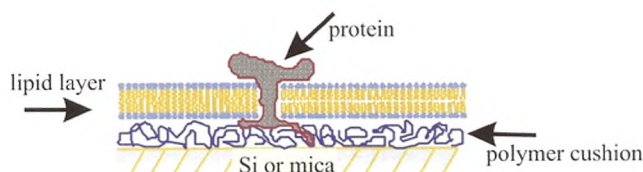
Figur 3. Olie, som flyder på en vandpyt, danner et tyndt mellemlag i overfladen mellem vand og luft.

I de tilfælde kommer den korte bølgelængde af "partikellys" én til undsætning: En neutronstråle med en bølgelængde på ca. 5-10 Å gør det muligt at studere lag med tykkelser i nanometer-området.

En simpel eksperimentel fremgangsmåde for at undersøge sådanne lag er at placere sine prøver i et tyndt lag på overfladen af en siliciumskive, parallelt med en neutronstråle. Så drejer man kontinuert prøven, så beamet rammer skiven nedefra under en meget lille vinkel. Da siliciumskiven typisk har en højere densitet end laget, opfyldes de optiske betingelser for totalrefleksion, så hele neutronstrålen bliver reflekteret fra overfladen. Kun når indfaldsvinklen bliver større end den kritiske vinkel, falder intensiteten af den reflekterede stråle. Pga. det tynde lag på overfladen af prøven, er det en anderledes situation end den i figur 2a, da vi her også vil have, at en del af strålen bliver reflekteret fra overfladen på undersiden af det tynde lag. De reflekterede stråler fra over- og undersiden af laget, interfererer med hinanden og giver, som funktion af indfaldsvinklen, et såkaldt Kiessig-mønster, som er vist i figur 2b. Essentielt er det det samme intensitetshenfald, som man ser i 2a med nogle forstyrrelser fra det tynde lag. Ud fra det præcise mønster, kan man så analysere sig frem til detaljer om laget, så som dets tykkelse og homogenitet. Metoden kan udvides til at analysere flere tynde lag ovenpå hinanden, men dette kræver mere komplicerede eksperimenter og dataanalyser.

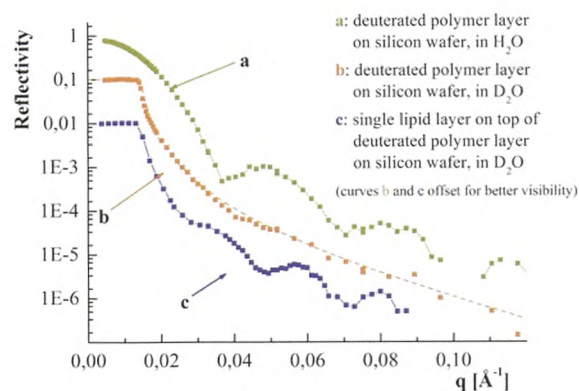
Hvad er interessant at undersøge?

Funktionelle membraner er almindelige i levende organismer. Fremtidig teknologi kan tænkes at imitere biologiske systemer for at løse bestemte opgaver, som at lave en kunstig membran, der kan filtrere affaldsstoffer. Naturen gør det ved brug af funktionelle proteiner, som sidder i en dobbeltmembran af fedt. I et bio-imiterende produkt kunne man sætte membranen fast på en siliciumskive med et lag polymer imellem for at støtte proteinet (se figur 4a). Derefter vil man kunne detektere affaldsstofferne med spektroskopi.



Figur 4a. Skematisk fremstilling af en bio-imiterende membran.

Der er mange lovende teknologiske muligheder i dette, men de teknikker, som evolutionen har frembragt, er svære at kopiere, hvilket til dels skyldes manglende indsigt i de grundlæggende egenskaber af disse sammensatte systemer. Metoder til at bygge membranlag skal udvikles, og resultaterne grundigt undersøges. Neutronrefleksionseksperimenter, som vist i figur 4b, fortæller os om den sekventielle opbygning af membraner, og deres strukturelle opbygning.



Figur 4b. Neutronreflektogrammer som viser Kiessig mønstre fra en polymermembran (~400 Å) med et enkelt fedtlag ovenpå (1,6 Å), monteret på en siliciumskive, og målt i hhv. normalt og tungt vand.

Litteratur

- [1] Koenig BW, Kruger S, Orts WJ, Majkrzak CF, Berk NF, Silverton JV, Gawrisch K. (1996), *Langmuir*, **12**, 1343-1350.
- [2] Fragneto-Cusani G (2001), *Journal of Physics: Condensed Matter*, **13**, 4973-4989.
- [3] Gutberlet T, Steitz R, Howse J, Estrela-Lopis I, Klös-gen B. (2002), *Applied Physics A-Materials Science & Processing*, **74**, S1262-S1263.
- [4] Penfold J. (2002), *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **7**, 139-147.
- [5] Steitz R, Gutberlet T, Hauss T, Klös-gen B, Krastev R, Schemmel S, Simonsen AC, Findenegg GH. (2003), *Langmuir*, **19**, 2409-2418.



Beate Klös-gen er lektor i fysik på Syddansk Universitet og er en del af MEMPHYS centret. Hun beskæftiger sig med biologiske overflader, studeret med en lang række teknikker, herunder refleksion af röntgen- og neutronstråler.



Kaspar Hewitt Klenø er specialestuderende i fysik på Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet og arbejder med neutronspreddning.