Problem 1. Utbredning av vattenvågor är komplicerad. Vågorna är inte transversella, utan vattnet rör sig i cirklar eller ellipser. Våghastigheten beror bland annat på hur djupt vattnet är. I grunt vatten (vattnets djup $h \ll \lambda$, vågens våglängd) är våghastigheten given av $v_\phi = \sqrt{gh}$, där g är gravitationens acceleration. I djupt vatten ges våghastigheten av $v_\phi \approx \sqrt{g\lambda/(2\pi)}$.

a) Visa att formeln för vågor på djupt vatten ger rätt enheter för våghastighet. (1p)

Lösning: $([\mathrm{m}][\mathrm{s}]^{-2} \cdot [\mathrm{m}])^{1/2} = [m][s]^{-1}$; faktorn 2π har inga enheter. 1

b) Man står vid stranden på västkusten och mäter dyningens period: 5 sekunder. Hur stor är dessa vågors frekvens? (1p)

Lösning: $f = 1/T = 0{,}2$ Hz $= 200$ mHz. 1

c) Dessa vågor kommer från Västerhavet och Atlanten. Vilken våglängd har de ute på öppet hav? (1p)

Lösning: 1

$$v = \sqrt{g\lambda/(2\pi)}; \lambda = vT \Rightarrow \lambda/T = \sqrt{g\lambda/(2\pi)} \Leftrightarrow$$
$$\lambda^2/T^2 = g\lambda/(2\pi) \Leftrightarrow$$
$$\lambda = T^2 g/(2\pi) \approx 250/6 \approx 40 \text{ m}$$

d) På långgrunda kuster är vågfronterna parallella med stranden. Varför är det så? (1p)

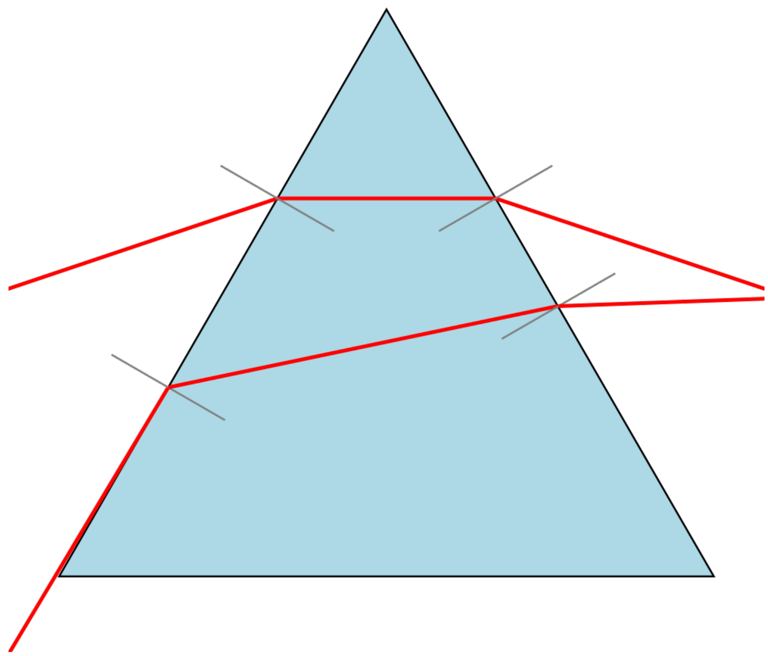
Lösning: 1

Ute på öppet hav är vågutbredningen i samma riktning som vindarna som givit upphov till vågorna. Vågkammarnas riktning kan ha vilken som helst vinkel med en kust. Men den delen av vågfronten som närmar en strand, saktar sakta ner, medan delen längre bort fortfarande har en högre hastighet. Detta gör att de kommer samtidigt till stranden.

Problem 2. Betrakta ett liksidigt triangulärt prisma av glas med brytningsindex $n = 1{,}5$.

a) Hur stor är prismats deviation (vinkeln mellan ljuset innan och efter prismat) för en stråle med infallsvinkel $\theta_i = 90°$? (1p)

Lösning: 1



Den infallande strålen har efter brytning en vinkel på $\arcsin(2/3) \approx 41{,}81°$ mot normalen, samma som gränsvinkeln för total internreflektion. Infallsvinkeln på prismats andra sida blir $18{,}21°$, och utfallsvinkel blir $28°$; deviationen blir $58°$.

b) Räkna ut deviationen för några fler vinklar, och skissa en graf av deviation som funktion av infallsvinkel. (1p)

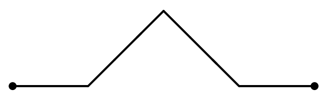
Lösning: 1

c) Beräkna prismats minimideviation. (1p)

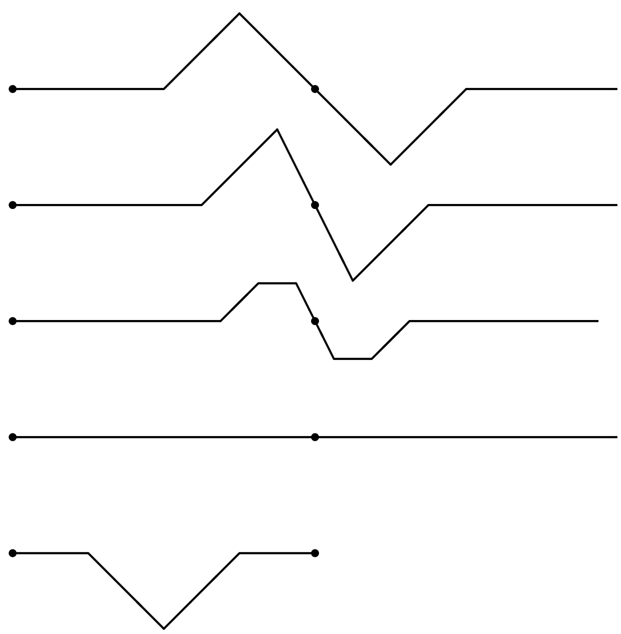
Lösning: 1

Det går nog att göra analytisk genom att differentiera en formel för deviationen som funktion av infallsvinkel. Men det är enklare om man inser att det symmetriska fallet måste vara ett extremum, i det här fallet ett minimum. Den inträffar när infallsvinkel och utfallsvinkel båda är lika med $\arcsin(n \sin 30°) = \arcsin 0{,}75 = 48{,}59°$; deviationen är $2 \times (48{,}6° - 30°) = 37{,}2°$.

Problem 3. Figuren visar en pulser på en sträng vid $t = 0$, som rör sig till höger med en fart på 1 cm/s. Strängens ändpunkter är fast inklämda 4 cm ifrån varandra. Rita strängens utvikelse vid $t = 1$ s, $t = 1{,}5$ s, $t = 1{,}75$ s, $t = 2$ s, och $t = 4$ s. Förklara. (2p) 2



Lösning:
Efter en sekund har pulsens framsida nått det högre fästet. Där reflekteras pulsen, och åker till vänster med omvänt tecken. Vid $t = 4$ s befinner sig pulsens framsida 3 cm till vänster om högre fästet. Pulsen befinner sig då på exakt samma position som vid $t = 0$, men inverterad. Vid de andra tidpunkterna kan man betrakta vågformen som en superposition av två pulser.



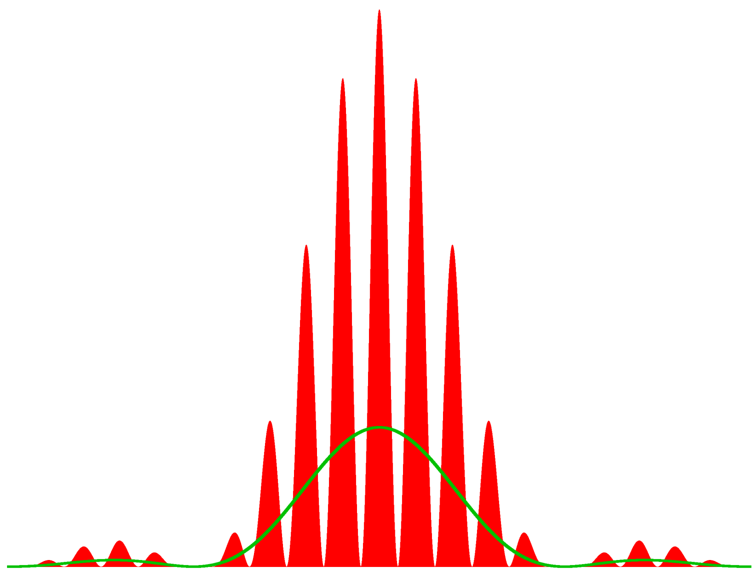
Problem 4. Ge tre olika bevis (med tydliga ritningar) för reflektionslagen. (3p) 3

Lösning:
Man kan visa det ur strålgångens omvändbarhet (tidssymmetri). Och man kan använda Fermats princip om minste tid (som här också är kortaste väg), antingen med Herons konstruktion eller analytisk. Eller man kan använda Huyghens princip.

Problem 5. En natriumlampa ($\lambda = 589$ nm) lyser genom en spalt som är 0,1 mm bred mot en skärm på 1 meter avstånd. Skissa ljusets intensitet på skärmen som funktion av läge långs en linje vinkelrätt på spalten. (Läs uppgift *b* innan du börjar rita.) (1p)

Lösning: 1

Funktionens första minimum ligger vid $\sin\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{0{,}589\cdot10^{-6}}{0{,}1\cdot10^{-3}} = 0{,}589\cdot10^{-3} \approx \theta$; vinkeln är alltså 5,9 milliradian, och på 1 meter avstånd blir det vid 5,9 mm från centralmaximum.



b) Lasern lyser genom två 0,1 mm breda spalter mot samma skärm. Avståndet mellan dem är 0,4 mm (räknat från spalternas mitt). Skissa ljusets intensitet i samma figur. (1p)

Lösning: Konstruktiv interferens vid $\theta \approx \sin\theta = \frac{m\lambda}{a} = m\,\frac{0{,}589\cdot10^{-6}}{0{,}4\cdot10^{-3}}$ där m är heltal; medelintensiteten är två gånger så stor som för en spalt (figuren är inte helt korrekt för den här versionen av uppgiften). 1

c) Den ena spalten är täckt med en tunn såphinna, som gör att ljuset blir en halv period försenad. Beskriv och förklara om och hur det påverkar mönstret på skärmen. (1p)

Lösning: 1

Interferensmönstret (det röda i figuren) ändras så att varje minimum blir ett maximum och tvärtom; mönstret har alltså ett centralt minimum.
