



HEDBERGSKA ENHETEN  
Projektarbete, 100p

Ht 04-Vt 05

# Ljuset

- svindlande snabbt, obegripligt att förstå

**Författare:**

Simon Johansson, NV3E  
Jim Ögren, NV3F

**Handledare:**

Sven T. Ågren

## Sammanfattning

”Ljuset –svindlande snabbt, obegripligt att förstå”, är en populärvetenskaplig uppsats grundad på vårt projektarbete om ljuset. Det vi begränsat oss till och följaktligen avhandlar i denna uppsats är frågor som rör ljusets hastighet samt hur man mäter och har mätt denna och frågor som rör ljusets natur där vi tar upp bland annat vågpartikeldualism, fotoelektrisk effekt och kvantfysik. Dessutom har varje del ett avsnitt som handlar om hur vi själva genomförde ett antal experiment angående några av dessa saker på Högskolan i Gävle. Uppsatsen är tänkt att vara lättfattlig men utan att reducera djupet i ämnet.

## **Förord**

Vi skulle vilja rikta ett tack till en handfull personer som varit hjälpsamma på vår resa till denna slutprodukt: Nils Olander för att han lånade oss värdefull litteratur, vår handledare Sven T Ågren och Kjell Prytz som hjälpte oss att genomföra experimenten.

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Frågeställningar</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Syfte</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Metod</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Källkritik</b>	<b>5</b>
<b>2 Att mäta ljushastigheten</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Historik</b>	<b>6</b>
2.1.1 Pionjäreerna	6
2.1.2 Två Fransmän: Fizeau och Foucault	7
2.1.3 Patenverkstjänstemannen gör entré	8
2.1.4 Ljushastigheten blir exakt	8
<b>2.2 Experimenten vid Högskolan i Gävle</b>	<b>9</b>
2.2.1 Pionjäreerna från Sundsvall	9
2.2.2 Dag 2	11
2.2.3 Mäta ljushastigheten med mikrovågor	11
<b>3 Ljusets natur – Vad är ljus?</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Historik</b>	<b>13</b>
3.1.1 Våg eller koruskel?	14
3.1.2 Etern	17
3.1.3 Ljus som elektromagnetisk våg	19
3.1.4 Fotoelektrisk effekt och fotoner	20
3.1.5 Kvantfysik	23
<b>3.2 Experimenten vid Högskolan i Gävle</b>	<b>25</b>
<b>4 Slutsats och diskussion</b>	<b>26</b>

## Källförteckning

## Bilagor

# 1 Inledning

Ljuset är något som vetenskapsmän och filosofer har grubblat på genom tiderna. Redan de antika grekerna hade sina teorier om ljuset. På en internetsida av Jonas Persson berättar han lite om de tidiga teorierna om ljuset. Bland annat hade matematikern Euklides den uppfattningen att ögat utsänder strålar mot objekten man ser och känner av omgivningen. Den store astronomen Johannes Kepler var av den åsikten att ljuset måste färdas med oändlig hastighet.

Men i dagsläget vet vi att ögat inte alls strålar ut någonting och att ljushastigheten inte är oändlig. Men hur kom man fram till att ljushastigheten inte var oändlig och hur kan man få ett värde på den?

Ljusets natur är något mystiskt som gäckat vetenskapsmännen länge. I en uppsats om ljus kan man inte låta bli att ta upp frågan vad är ljus?

## 1.1 Frågeställningar

De frågeställningar vi kommer att arbeta är:

- **Hur kan man mäta ljushastigheten?**
- **Vad är ljus?**

## 1.2 Syfte

Syfte är att på ett populärvetenskapligt sätt beskriva dels hur man kan mäta ljushastigheten och dels hur man kan påvisa ljusets dubbelnatur, samt att i stora drag redogöra för hur man har gjort tidigare.

## 1.3 Metod

Vi har använt oss av litteraturstudier till de historiska redogörelserna. Den andra metoden är experiment utförda vi Högskolan i Gävle.

## 1.4 Källkritik

Vi har uteslutande använt oss av litteratur som är skriven av fysiker, både populärvetenskaplig litteratur och ren undervisningslitteratur. Det är svårt att vara kritiskt till våra källor. Dock kan en av källorna verka gammal då den är skriven 1970 men då den endast använts som källa till en av de historiska kapitlen är dess ålder likgiltig.

## 2 Att mäta ljushastigheten

Detta kapitel handlar, som titeln avslöjar, om att mäta ljushastigheten. Vi börjar med ett historik avsnitt, som inte på något sätt avser inte att vara fullständig, där vi tar upp de viktigaste experimenten och framstegen. Därefter berättar vi om det experiment vi själva genomfört på Högskolan i Gävle.

### 2.1 Historik

Ljusets hastighet är något som diskuterats och filosoferats om länge. Många stora vetenskapsmän genom tiderna har haft sina teorier om ljusets hastighet. Men i dagens läge vet alla som läst lite populärvetenskaplig litteratur att ljushastigheten är cirka  $3,0 \cdot 10^8$  m/s, men hur kom man fram till det? Om detta kan man läsa om i boken *Stjärnor och äpplen som faller* skriven av professor Ulf Danielsson.

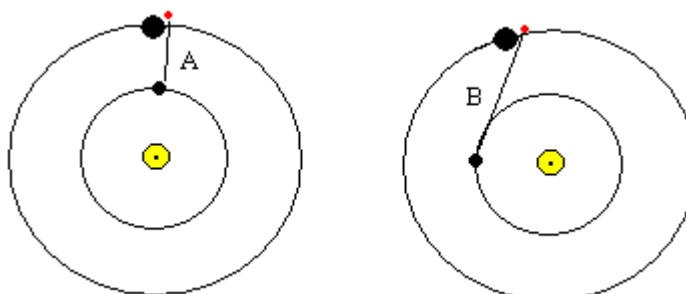
Redan på 400 talet f.kr. var den grekiska filosofen Empedokles av den uppfattningen att ljuset inte färdas oändligt fort utan mycket riktigt behöver en viss tid för att utbreda sig. Vidare berättar Danielsson att Galileo Galilei var den första som gav sig på att mäta ljushastigheten. Galileo tänkte sig att om två personer stod på varsin bergstopp och viftade med varsin lykta skulle man kunna mäta tidsskillnaden. Han ska till och med ha gjort ett försök. Men han insåg nog att på grund av den relativt långsamma reaktionstiden hos människan var han dömd att misslyckas.

#### 2.1.1 Pionjärerna

Den första som fick ett rätt bra mätvärde på ljushastigheten var den danske astronomen Ole Rømer. Han observerade Jupiters månar: Europa, Ganymedes, Io och Callisto. Månarna kallas för de Galileiska månarna eftersom det var Galileo Galilei som upptäckte dem i början av 1600-talet.

Enligt Danielsson studerade Rømer framförallt månen Ios omloppstid väldigt noga. Han upptäckte då något häpnadsväckande. Ios omloppstid fördröjdes, den hamnade efter i tidtabellen, när Jupiter var nära Jorden gentemot då den var längre ifrån. Den fördröjs som mest 17 minuter. Han drog då den korrekta slutsatsen att detta måste bero på att avstånd från Jupiter till Jorden ökar och då tar det längre tid för ljuset att nå oss och det blir en fördröjning (se fig.1). Den viktigaste slutsatsen var att ljuset har en ändlig hastighet!

Inte nog med att Rømer drog den fenomenala slutsatsen att ljuset har en ändlig hastighet, han lyckades dessutom mäta den. Han fastställde den till att vara  $2,25 \cdot 10^8$  m/s, vilket inte är så långt ifrån dagens värde  $3,0 \cdot 10^8$  m/s. Man får ju inte glömma bort att det var i slutet av 1600-talet.



**Fig 2.1** Principskiss över solen, jorden jupiter (längst ut). I läget till vänster är jorden på väg bort från jupiter och sträckan för ljuset att färdas är längre,  $B > A$ , vilket resulterar i en tidsförskjutning.

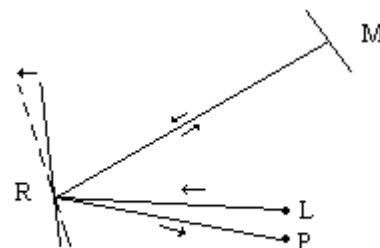
### 2.1.2 Två fransmän: Fizeau och Foucault

Hippolyte Fizeau lyckades år 1849 mäta ljushastigheten med en metod som inte var astronomisk. Om Fizeaus metod kan man läsa i Nationalencyklopedin.

Fizeau använde sig av ett roterande kugghjul som han lät en ljusstråle passera igenom. En spegel placerades 9 kilometer från det roterande kugghjulet. Ljusstrålarna skickas som pulser mot spegeln och reflekteras rakt tillbaka till kugghjulet. Om man låter kugghjulet rotera långsamt kommer varje ljuspuls som skickas genom kugghjulet reflekteras i spegeln och komma tillbaka genom samma mellanrum den kom ur. Trots att ljuset färdas en så lång sträcka hinner det med det, vilket beror på ljusets otroligt höga hastighet. Men om man roterar kugghjulet tillräckligt fort kommer ljuset som reflekteras i spegeln att utsläckas av den efterföljande tanden på kugghjulet. Vad Fizeau gjorde var att han lät kugghjulet rotera snabbare och snabbare tills det att han fick utsläckning och då mätte han rotationshastigheten för kugghjulet. Har man sträckan ljuset färdas, avståndet mellan kuggarna och kugghjulets rotationshastighet kan man enkelt bestämma ljushastigheten. Fizeaus värde på ljushastigheten blev  $315 \cdot 10^6$  m/s.

År 1860 lyckades Jean Bernard Léon Foucault erhålla ett bättre värde på ljushastigheten än Fizeau. Foucault använde en noggrannare och smidigare metod än Fizeau. Om detta kan man läsa i boken *Fysik* av Docent Ulf Ringström.

Istället för att använda ett roterande kugghjul som Fizeau gjorde, använde Foucault sig av en roterande spegel (se fig 2.2). En ljuskälla L skickar iväg en ljusstråle till den roterande spegeln R. Ljuset fortsätter till spegeln M som skickar ljuset tillbaka till den roterande spegeln som gör upphov till en ny bild P. Avståndet mellan L och P beror på med hur stor vinkel spegeln har hunnit ändrats sitt läge, och det beror på hur lång tid det har tagit för ljuset att färdas från R till M och tillbaka till R.



**Fig 2.2** principskiss för Foucaults experiment att bestämma ljushastigheten.

Vidare skriver Ringström att Foucault hade ett avstånd på 10m mellan M och R och det avstånd han uppmätte mellan L och P var 0,7 mm. Det ledde till att värdet på ljushastigheten blev  $298 \cdot 10^6$  m/s. Det som gör Foucaults metod överlägsen Fizeaus är inte bara att den är mycket noggrannare utan också det faktum att den inte kräver ett så stort utrymme, det går att göra inomhus.

Foucaults metod användes till att bestämma ljushastigheten långt in på 1900-talet. Albert Abraham Michelson använde sig av Foucaults metod under femtio år, han utvecklade och förbättrade metoden. Enligt Nationalencyklopedin bestämde Michelson år 1926 ljushastigheten till  $299\,796 \cdot 10^3$  m/s. Michelson är mest känd för Michelson-Morleys experiment, det kommer vi att behandla i kapitlet Ljusets natur.

### 2.1.3 Patentverkstjänstemannen gör entré

År 1905 publicerar Albert Einstein, då vid sidan av sitt arbete som tjänsteman på patentverket i Bern, den speciella relativitetsteorin. Det är en av vetenskapshistoriens viktigaste publikationer. Om Einstein och den speciella relativitetsteorin kan man läsa i boken *Andra Världar* av Paul Davies. Men vi tänker inte fördjupa oss i detta ämne som man i sig kan skriva en uppsats om, utan bara ta upp det som är relevant för vårt ämne.

Den speciella relativitetsteorin revolutionerade vår syn på hela universum. Einstein introducerade begreppet rumtiden, där han hade infört tiden som en fjärde dimension. Utan att fördjupa oss för mycket i Einsteins besynnerliga teorier så kan vi fastställa att en viktig slutsats Einstein drog var att ljushastigheten är den absoluta hastigheten, inget kan någonsin färdas snabbare än ljuset. Ljushastigheten är konstant i vakuum. Dessutom är ljusets hastighet den samma för alla observatörer, vilket betyder att oavsett om du färdas mot ljuskällan eller från ljuskällan kommer ljushastigheten var densamma. Davies använder som exempel att om ett föremål avlägsnar sig från dig med en viss hastighet och du springer efter det så kommer föremålet att avlägsna sig mindre snabbt, den relativa hastigheten har minskat. Men om man gör samma sak med en ljusstråle kommer man att misslyckas, hur snabbt man än färdas. Davies skriver: ”även om du kunde färdas i ett rymdskepp med 99,9 procent av ljushastigheten skulle du aldrig lyckas minska den hastighet med vilken det avlägsnade sig”.

Detta strider naturligtvis mot det sunda förnuftet. Men Einstein bevisade det matematiskt i sina teorier och det har sedermera verifierats experimentellt. Utifrån detta kom Einstein sedan fram till det välkända sambandet:  $E=mc^2$ , där  $c$  är ljushastigheten.

Efter att denna tjänsteman vid patentverket gjort entré på vetenskapliga scenen blev det än mer intressant att ha ett bra värde på ljushastigheten. Tidigare var det mest instinkten att ta reda på saker som drivit forskare till att mäta ljushastigheten, men nu fick den en större betydelse. Ljushastigheten är sammanlänkad i en mängd teorier, framför allt inom kosmologin.

### 2.1.4 Ljushastigheten blir exakt

Under 1900-talet gjordes en mängd olika mätningar av ljushastigheten. Metoder finslipades och utrustningen blev allt bättre och bättre. Nationalencyklopedin skriver att svensken Erik Bergstrand tillhör en av dem som gjorde framsteg beträffande bestämningen av ljushastigheten.

Värdet på ljushastigheten blev bara bättre och bättre. 1983 tog den europeiska unionen för mått och vikt ett beslut om definitionen av en meter. Den gamla definitionen av 1 meter var 1/10 000 000 av avståndet mellan nordpolen och ekvatorn. Men 1983 ändrades definitionen och 1 meter definieras som den sträcka ljuset färdas på 1/299 792 458 sekund, detta medför att ljushastigheten är exakt 299 792 458 m/s. Efter 1983 blev alltså mätningar av ljushastigheten intressant, men observera att definitionen gäller i tomrum så i andra medier kan det fortfarande vara av intresse att mäta.



## 2.2 Experimenten vid högskolan i Gävle

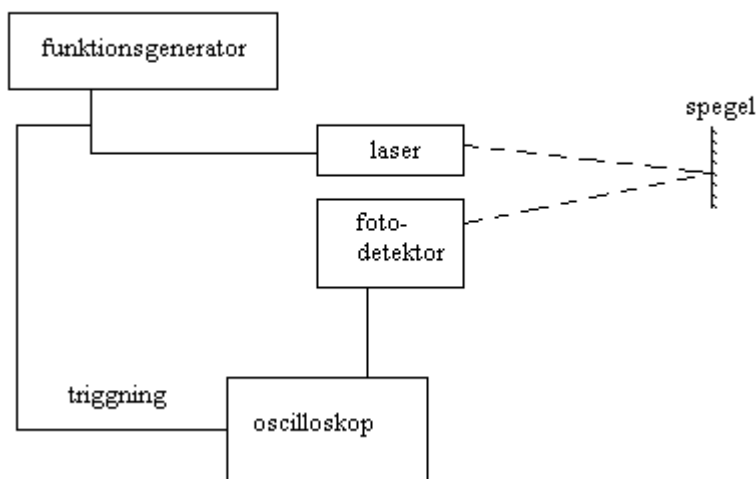
Den femtonde och sextonde november tillbringade vi på Högskolan i Gävle. Där genomförde vi en rad experiment. I detta avsnitt redogör vi för de försök vi gjort på att mäta ljushastigheten.

### 2.2.1 Pionjärerna från Sundsvall

Måndag morgon halv nio kom vi till Högskolan i Gävle. Vi uppsökte fysikinstitutionen och Kjell Prytz, vår handledare vid de olika försöken. Spänd av förväntan gav vi oss i kast med dagens uppgift: Att mäta ljushastigheten

I detta experiment använde vi oss av en laser, en funktionsgenerator, en fotodetektor, ett oscilloskop, spegel, bord och kablar.

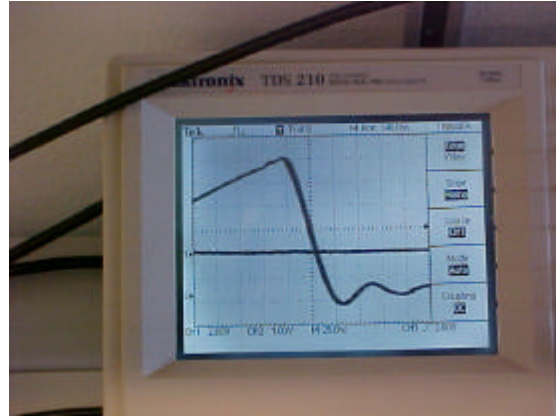
Vi kopplade enligt kopplingsdiagrammet nedan:



Lasern skickar pulser mot spegeln som reflekterar laserstrålarna till fotodetektorn. För att få pulser som vi är ute efter använder vi funktionsgeneratoren. Vi kopplar fotodetektorn till ett oscilloskop samt triggas funktionsgeneratoren till oscilloskopet. På oscilloskopet visas då den tidsskillnad som uppstår från det att funktionsgeneratoren skickar en puls till det att fotodetektorn registrerar pulsen. Trots ett kort avstånd till spegeln så blir det en tidsskillnad, vilket beror på att elektroniken tar sin tid. Tidsskillnaden visas på oscilloskopet i form av en kurva.

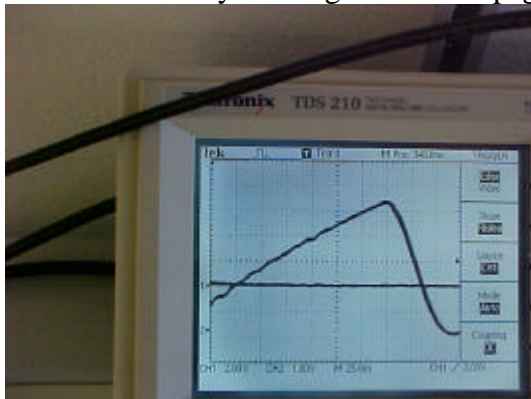
Nu är tanken att vi ska flytta spegeln  $n$  meter längre bort. Efter som tidsfördröjningen i elektroniken är densamma måste en längre tidsskillnad bero på att det tar en viss tid för ljuset att färdas sträckan  $2n$ . Hur mycket längre tidsskillnaden blir ser man på hur mycket kurvan förskjuts på displayen på oscilloskopet. Vi vet sträckan ( $S$ ) ( $S=2n$ ), vi kan mäta tiden ( $t$ ), då får hastigheten  $v$  genom att utnyttja sambandet  $v=S/t$ .

Vi ställde laser, funktionsgeneratoren och oscilloskopet på ett bord i en korridor. Spegeln placerades på ett bord med hjul på. I början stod spegeln väldigt nära lasern, cirka 1 m. Vi mätte upp en sträcka på 15 m och satte en markering på golvet där. Då blir den förlängda sträckan för ljuset att färdas 30 m. Därefter började vi ställa in oscilloskopet så vi fick en lämplig kurva, tidsaxeln ställdes på en skala med 25 nano-sekunder per streck och y-axeln ställdes på milliVolt (se fig.1).



**Fig. 1** Bilden visar displayen på oscilloskopet.

Nu när man flyttar vagnen med spegeln på 30 m bort ska kurvan flyttas (se fig.2).



**Fig. 2** Samma kurva fast ljuset färdas 30m längre.

Men nu är det dessvärre så att vi inte lever i en värld utan problem. Efter första försöket fick vi en tidsskillnad som var alldeles för stor och fick då att ljushastigheten blev på tok för liten. Vi försökte ta reda på vad det kunde bero på.

Kurvan när man har spegeln på det längre avståndet fluktuerar väldigt, speciellt när man har liten tidsskala, men vi räknade med att vi skulle kunna se kring vilken punkt kurvan fluktuerar kring, fluktuationerna är inte ett problem, men osäkerheten ökar naturligtvis.

Ljusintensiteten är ett annat problem. På det längre avståndet minskar ljusintensiteten och vi misstänker att detektorn är känslig för intensitetsförändring. Vi provade att byta speglar, vi använde dels en plan och dels en konkav, den plana spegeln fungerar bättre. Vi provade att med hjälp av linsor koncentrera ljuset, de placerades framför detektorn. Linsen ger en liten fel källa också (ljuset färdas långsammare i glas). Vi provade också att förstärka pulsen från generatoren. Tyvärr blev det ingen nämnvärd förbättring trots alla dess åtgärder.

Vi gjorde en mängd försök med de ovanstående förändringarna men tyvärr fick vi aldrig något bra värde. Det ska nämnas att de på Högskolan i Gävle aldrig hade provat detta experiment, så vi blev något av pionjärer.

Vi bestämde oss för att göra testförsök för att ta reda på varför det inte fungerade. Lasern placerades mittframför detektorn, oscilloskopet ställdes in som vid tidigare försök. Därefter ändrade vi intensiteten på laser. Kurvan flyttades väldigt mycket! Alltså är detektorn intensitets känslig, experimentet faller med det.

Att detektorn var intensitetskänslig satte stora käppar i hjulen för oss. Efter att spenderat 11 timmar på Gävle högskola utan att komma fram till något annat än att ljuset har en ändlig hastighet kändes som ett tungt nederlag och som en dålig start på experimenterandet.

### 2.2.2 Dag 2

Trots den föregående dagens nederlag höll hoppet på att idag få ett bättre värde oss motiverade. Efter diskussioner med Prytz kom vi fram till att vi skulle utföra samma experiment som gårdagen, fast istället för att utnyttja en korridor och spegel använde vi en fiberoptisk kabel.

Tanken är exakt densamma som föregående experiment. Istället för att flytta en spegel och öka avståndet använder vi oss av två stycken fiberoptiska kablar, en lång och en kort. Först kopplade vi en kort fiberoptisk kabel, 20 cm lång och ställde in oscilloskopet. Efter det kopplade vi den långa kabeln, 20 m. Nu spelar det ingen roll att detektorn är intensitetskänslig eftersom inte ljuset förlorar intensitet i kabeln. Då fungerar experimentet mycket bättre. Vi lyckades uppmäta en tidsskillnad och vi visste hur mycket längre ljuset färdades kunde vi enkelt bestämma ljushastigheten.

I detta experiment erhöll vi värdet  $2,44 \cdot 10^8$  m/s. Värdet gäller dock för ljushastigheten i det mediet den fiberoptiska kabeln bestod av, antagligen något slags plexiglas.

För mer information se laborationsanteckningarna i **bilaga 1**.

### 2.2.3 Mäta ljushastigheten med mikrovågor

Detta experiment går ut på att man har en sändare som sänder mikrovågor och en mottagare som reflekterar vågorna. Det resulterar i en stående våg. Mottagaren och sändaren placeras mitt framför varandra längs en linjal.

En stående våg bildas när två vågor går i motsatt riktning. Den stående vågen i sig rör sig inte horisontellt, men den svänger vertikalt. Noder och bukar är på samma ställe, trots att det egentligen är två vågor som rör sig åt varsitt håll. Poängen med det här experimentet är att vi vet mikrovågornas frekvens, den stod angiven på sändaren. Vi vill nu bestämma vågornas våglängd eftersom vi då kan använda det fysikaliska sambandet:

$$V=f \cdot \lambda$$

Där  $v$  är hastigheten,  $f$  är frekvensen och  $\lambda$  ("lambda") är våglängden.

För att bestämma våglängden kopplade vi en amperemeter till mottagaren. När den stående vågen svänger vertikalt induceras en ström i mottagaren. Vi ska inte tränga djupt in i detta fenomen men den beror på att det uppstår ett magnetfält av mikrovågorna. När vi ändrar avståndet mellan mottagare och sändare minskar vi och ökar vi magnetfältet som beror på att det blir en nod eller buk vid mottagaren. Magnetfältet är som svagast vid noder och som starkast mitt i en buk då elongationen (svängningen) är som störst. När magnetfältet varierar induceras en ström som naturligtvis också varierar.

Nu är tanken att vi kopplar på en amperemeter för att mäta den ström som induceras, det går också med en voltmeter och istället mäta spänningen. När vi nu flyttar mottagaren längre från sändaren hittar vi punkter där strömmen är som lägst, alla dessa punkter är noder. Eftersom vi har en linjal vid mottagaren blir det lätt att mäta avståndet mellan noder, vilket är detsamma som halva våglängden,  $\lambda/2$ . Vi lyckades få fram ett värde på våglängden och kunde räkna ut ljushastigheten. Värdet i detta experiment blev:  $3,045 \cdot 10^8$  m/s. Det ligger lite för högt men med tanke på mätnoggrannheten får det anses vara ett bra värde. Med två värdesiffror blir värdet  $3,0 \cdot 10^8$  m/s.

För att läsa mer om experimenten vi gjorde på att mäta ljushastigheten läs **Bilaga 2**.

## 3 Ljusets natur – vad är ljus?

Vi kan tydligt se skillnad på om det är ljust eller mörkt vilket inte är så konstigt då vi själva definierat skillnaden. Men vad är ljus? Finns det överhuvudtaget något reellt vi kan kalla ljus? Svaret på frågan är faktiskt inte självklart ja, det kan ju lika gärna vara mörkret som är reellt och ljuset som är ”mindre mörkt” eller vår hjärna som bara hittar på allt vi ”ser”. Den senare förklaringen får väl anses vara osannolik och framförallt ovetenskaplig då den inte uppfyller Poppers falsifikationskriterium (en teori måste gå att pröva för att den skall kunna kallas vetenskaplig) och att mörkret skulle vara ”det reella” går att avfärda genom att man kan lysa upp ett rum med ljus men aldrig släcka ett rum med mörker. Det verkar således i varje fall som att ljuset är det som kan sprida sig och mängden av detta ljus avgör hur vi uppfattar även hur mörkt det är. Men nog om detta och tillbaka till huvudfrågan, vad är ljus?

I detta kapitel ska vi tränga djupare in i den frågan. Vi kommer inte att få svar helt och hållet på den men bli inte besviken för det. På vägen till den insikten kommer vi att stöta på och reda ut en hel djungel av intressanta teorier, bland annat kvantfysik och eter teorin. Vi kan garantera att det kommer att bli mycket intressant.

### 3.1 Historik

Ser man på det historiskt har bilden av ljuset naturligtvis förändrats allteftersom precis som allt annat. En bra översikt (den går dock inte särskilt djupt på någonting) av optikens och ljusets historia, sett från mänskliga ögon, finns på Internetsidan ”En kort Historia om Optik och Ljus” från Kristiansstads högskola, se källförteckningen.

Redan på 300 talet före Kristus funderade Euklides, den kände geometrikern inom matematiken, på frågan. Han kom inte fram till något svar men noterade att ljuset tycks röra sig i räta linjer och att det kan reflekteras. Vidare ansåg han att ögat sänder ut ljus mot det man ser och inte tvärtom, men att överhuvudtaget förstå att någon slags ”kommunikation” måste ske mellan det vi ser och ögonen var bra gjort med den kunskap man hade på den tiden tycker vi.

Tvåhundra år senare visade Hero med geometriska mätmetoder att ljuset går den kortaste vägen från källan till observatören och detta stämmer mycket bra överens med Euklides teori att ljuset rör sig i räta linjer.

Sedan hoppar vi förbi en massa årtal och hamnar i England runt 1220-talet (e. Kr) där vi träffar Robert Grosseteste och Roger Bacon. Grosseteste menar precis som Euklides att ögat sänder ut ljus mot föremålen vi ser och att färgerna vi ser beror på ljusets intensitet. Vitt är mest intensivt, sedan kommer rött, blått och slutligen svart. (Tänker man till lite här inser man dock att synen skulle vara rätt så onödig om detta resonemang stämmer då ögonen blir de som dikterar vad vi ser och inte verkligheten). Bacon påstår att ljuset har en hastighet, dvs. den är inte oändlig, i motsats till vad de flesta andra ansåg och kom att fortsätta anse även efter honom. I övrigt håller han med Grosseteste. Men det gör inte Theodorich Dietrich, från tidigt 1300-tal, som anser på att färgerna inte alls beror av intensiteten utan på förhållandet mellan det ljusa och det mörka (observera att en följd av detta resonemang blir att mörkret är något reellt).

Vid den här tiden börjar man dock se möjligheten att ljuset har en ändlig hastighet som ett rimligt alternativ och det skall inte dröja länge innan det blir bevisat.

År 1665 lägger italienaren Francesco Maria Grimaldi fram teorin att ljuset rör sig som en våg och är den första som lägger fram bevis för det, han hade nämligen upptäckt diffraktion då ljus passerade nära en kant. Diffraktion innebär kort att en våg bryts och sprids på ett annat sätt när den passerat en kant eller en springa. Vi kommer tillbaka till varför längre fram. Hursomhelst är detta typiskt för vågor och utifrån detta drog Grimaldi sin slutsats. Samma år undersöker engelsmannen Robert Hooke ljusets brytning och kommer också han fram till att ljuset rör sig som en våg, han går dock inte lika långt i sitt vågresonemang som Grimaldi gör som till och med ansåg att ljuset var en vätska. Hittills har alla ställt upp teorier för hur ljuset beter sig men här börjar vi närma oss kärnfrågan, vad är ljuset egentligen?

Nästa stora jätte inom fysiken, Isaac Newton, studerar vid denna tid hur ljuset bryts i prisma och märker att vitt ljus delar upp sig i regnbågens alla färger vid denna brytning. Ett så kallat spektra bildas. Detta fenomen var känt sedan länge och den hitintills allmänna förklaringen var att prisma tillförde färg till ljuset precis som att andra föremål med olika färger tillförde "sin" färg till ljuset som reflekterades mot dem. Newton drar dock en annan slutsats. När han märkte att enfärgat ljus, som han fått fram genom att låta vitt ljus passera ett prisma och sedan låtit en färg passera genom ett hål i den skärm spektrat uppträdde på, inte delades upp i flera färger när det passerade ett andra prisma insåg han att den gamla teorin var fel. Hans slutsats bli istället att vitt ljus består av olika sorters ljus med olika färg och att dessa olika ljus bryts olika mycket i glas. När ljuset reflekteras mot olika föremål är det bara föremålets färgs ljus som reflekteras tillbaka till våra ögon, de andra färgerna absorberas. Newton håller inte av vågteorin om ljuset utan förespråkar istället att ljuset består av partiklar han kallar "korpuskler".

I samma veva lägger Christian Huygens från Nederländerna fram sin teori om ljuset där han förfinar vågteorin. Ljuset är ingen vätska menar han men ljuset rör sig som en våg i ett slags vätskeliknande medium kallat "etern" (begreppet framlagt redan på 1600-talet av franske filosofen René Descartes) som består av elastiska partiklar som genomsyrar hela universum. Denna teori kan förklara fenomen som diffraktion och dubbelbrytning och "etern" kom att influera vetenskapen ordentligt ett tag framöver. Newton menar fortfarande att ljuset är partiklar men lägger till att dessa partiklar rör sig i "etern". Att ljuset har en hastighet och inte färdas oändligt snabbt är vid det här laget klart och ej längre i behov av att diskuteras sedan Ole Römer gjort sin mätning av ljushastigheten med hjälp av Jupiters månar.

Så blir dessa två – Newton och Huygens – frontfigurerna för de två uppfattningar som dominerade under tidiga 1700-talet och det blev nästan en tävling om vem som hade rätt av dem. Var ljuset partikel eller våg? Denna fråga samt frågan om eterns påvisande och existens ska vi i de följande avsnitten titta närmre på för häri döljer sig ljusets sanna natur.

### 3.1.1 Våg eller korpuskel?

Både Newton och Huygens hade belägg för sina antaganden och det var väl det som gjorde "striden" mellan deras teorier så svår att avgöra – om man "godkände" en av teorierna, hur skulle man då bortförklara de observationer som går ihop med den andra?

Att ljuset rör sig i raka linjer talade starkt för Newtons korpuskelteori, dvs. att ljuset är en partikel. Vågor rör sig inte alltid rakt utan har en tendens att kunna böjas och brytas då det påverkas av andra föremål och varandra (interferens). Att ljuset bryts i t.ex. prisma visste förstås också Newton men kopplade väl aldrig samman detta med ljusets egenskaper utan snarare med prismats. Dessutom kan faktiskt också partiklars banor böjas av, som t.ex. vid reflektion. När ljus reflekteras är det ett känt faktum att infallsvinkeln är lika stor som reflektionsvinkeln precis som om man skulle studsas en "partikelboll" på ett plant underlag.

Huygens gick till angrepp mot detta påstående och menade att om ljuset hade bestått av partiklar skulle det *inte* röra sig i räta linjer utan hela tiden stöta in i andra ljuspartiklar och på så vis knuffas ur sin bana – i så fall skulle vi bara se en enda röra och vår bild av verkligheten omkring oss vara kraftigt förvrängd till oigenkännlighet. Man kan förstås inte veta att så inte skulle vara fallet men hittills har vi ju klarat oss bra med den bild vi har, den verkar stämma överens med vår egentliga omgivning. En våg däremot kan passera genom en annan våg och komma ut som den var innan och opåverkad av ”krocken” (dock påverkar de varandra när de är på samma ställe, superposition).

En annan sak som talade för vågteorin och som vi redan nämnt är diffraktionen. Vi ger först ett bildligt exempel med vattenvågor. Tänk dig att en rak vattenvåg rör sig vinkelrät mot en plan vägg som är en vägg på alla ställen utom i ett litet smalt hål. Den del av vågen som ligger mitt framför hålet kommer att fortsätta ut på andra sidan av väggen, de som stöter på väggen reflekteras tillbaka. När den ”lilla vågen” kommer ut på andra sidan av väggen kommer den dock inte att fortsätta som en rak våg rakt fram utan den kommer att sprida sig cirkulärt från hålets mynning. Detta förklaras fysikaliskt utifrån Huygens princip som säger att alla vågor sprids cirkulärt från en punktlig vågkälla, en rak våg består således av ett stort antal punktliga vågkällor på rad som tar ut varandra i sidled.

Diffraktion som är typiskt för alla vågor betyder alltså att en våg böjs av då den passerar genom en smal springa eller nära en kant (också här kan du tänka dig vattenvågor). Att ljuset faktiskt betedde sig så talade, och talar fortfarande, starkt för vågteorin om ljuset.

År 1801 kom så till slut avgörandet då skotten Thomas Young genomför sitt berömda dubbelspaltexperiment och gav dödsstöten åt Newtons korpuskelteori. Thomas Young lyckades påvisa att interferensmönster uppkom av ljus. Interferensmönster bildas då flera vågkällors vågor påverkar varandra. För att förklara detta kan vi fortsätta att tänka oss vågorna som vattenvågor, se fig. 3:1.

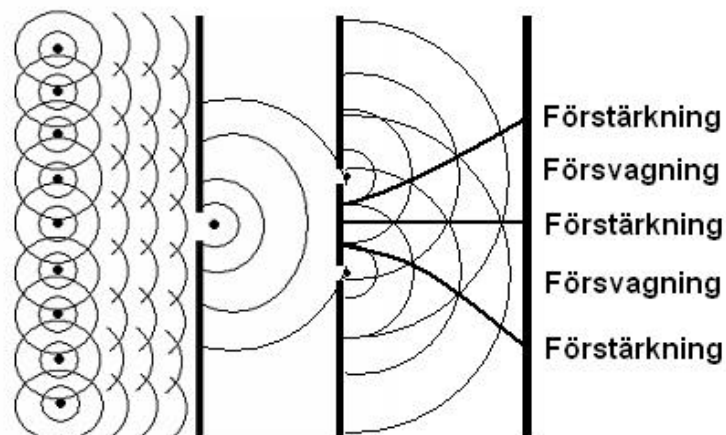


Fig 3.1 Youngs dubbelspaltexperiment

Vi gör först samma sak som vi gjorde i diffraktionsexemplet och får till en cirkulär våg från ett hål i en vägg som rör sig mot en ytterligare vägg, parallell mot den första. Denna nya vägg har dock två små hål (spalter) istället för bara ett. När vågen kommer fram till hålen – den kommer fram till båda samtidigt eftersom vi gjort en enda cirkulär våg av den – händer samma sak som genom det första hålet, från båda hålens mynningar bildas varsin ny cirkulär våg på andra sidan av väggen, men nu är de som sagt två och inte en. Dock är båda två i fas, dvs. de rör sig upp och ner samtidigt, eftersom de härrör ur samma cirkulära våg från början. Eftersom vågorna sprids cirkulärt kommer de att krocka med varandra och påverka (interferera med) varandra. När den ena vågens vågtopp sammanfaller med den andra vågens vågtopp kommer resultatet på vattenytan bli en vågtopp med höjden av de sammanlagda vågtopparna tillsammans. Likadant, fast tvärtom, blir det när två vågdalar sammanfaller – resulterande djupet blir, om vågdalarna från början är lika djupa, det dubbla. Annat blir det

om en vågtopp sammanfaller med en vågdal för då tar de ut varandra och vattenytan förblir jämn. Vi förutsätter i resonemanget att vågtopparna är lika höga som vågdalarna djupa i båda vågorna. Om man vill ta reda på mer om dessa fenomen rekommenderar jag kapitlet "Interference and Diffraction" i boken "College Physics". I våra bifogade laborationsanteckningar står det också lite om det hela.

Då detta överförs till ljusvågor betyder det att där toppar sammanfaller med toppar och dalar med dalar så bör ljuset förstärkas, och där topp sammanfaller med dal bör försvagning eller utsläckning av ljuset ske. Dessutom kommer detta ske inte bara framför hålen utan flera förstärkningar och försvagningar kommer att uppträda eftersom diffraktion uppkommer och ljuset böjs åt sidorna. Detta är i varje fall vad vi skall förvänta oss om ljuset är en vågrörelse. Youngs experiment visade att så var fallet. När ljus fick passera en tunn vägg med ett mycket litet hål, en tunn vägg till med två mycket små hål och slutligen anlända till en skärm kunde man tydligt se flera band av ljusförstärkningar och mellan dem band av ljusförsvagningar. Ljuset måste bara vara en våg! Partiklar skulle bara lysa upp skärmen rakt framför hålen och till och med inte ens komma igenom de två senare hålen utan bara gå genom det första och rakt in i väggen mellan de två andra hålen.

Nu när de flesta lät sig övertygas om att ljuset rörde sig som en våg återstod att förklara en massa andra saker, bland annat om denna vågrörelse var transversell eller longitudinell. En transversell våg har en utbredningsriktning som är vinkelrät mot svängningsrörelsen medan en longitudinell vågs utbredningsriktning är parallell med svängningsrörelsen i vågen, se fig. 3:2.

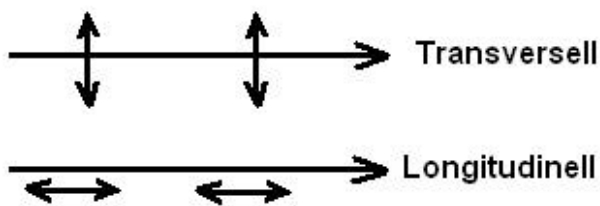


Fig 3.2 Vågtyper

Svaret på denna fråga fick man då man studerade, eller snarare upptäckte, polarisation av ljusvågor. Polarisation innebär att vågornas svängningsrörelseriktning likställs så att t.ex. alla vågor svänger vågrät eller lodrät eller i någon annan bestämd riktning. Det går inte att polarisera longitudinella vågor eftersom de alla svänger fram och tillbaka i utbredningshastighetens riktning och på ett sätt redan är "polariserade". Men med transversella vågor går det utmärkt, det finns ju oändligt många riktningar på  $180^\circ$ . Alltså, eftersom ljuset går att polarisera (vi ska inte gå in på hur det görs för då är vi utanför denna uppsats område) rör det sig som en transversell våg (man kan förenklat tänka sig en sinusfunktion).



### 3.1.2 Etern

Det vi först bör ha klart för oss är anledningen till att eterbegreppet infördes och blev så accepterat på sin tid. Känt var att ljud bara kan uppkomma och fortplantas i någon form av medium, t.ex. luft eller vatten. Ljud hörs inte, egentligen finns inte, i vakuum och således krävs ett medium vilket inte är så konstigt då vi betänker vad ljud är, nämligen vibrationer (förtätningar och förtunningar) av molekyler i mediet. Man tänkte sig därför naturligt att ljus också krävde ett medium att färdas i och detta medium gavs namnet etern.

Särskilt när vågteorin om ljuset slagit igenom blev etern nästan ett paradigmskifte i vetenskapen under en tid. Att partiklar inte behöver medium för att färdas i rummet är inte svårt att förstå, men en våg utan medium hade ingen någonsin sett – vattenvågor i vatten, ljud i luft mm – och om nu ljuset var en vågrörelse så föll det sig självklart att en eter måste finnas i vilken ljuset kan utbreda sig i.

Låt oss titta närmre på den förmodade eterns egenskaper.

Vi har ju slagit fast att om ljuset är en våg så är vågen en transversell våg. Detta ställer vissa krav på det medium vågen färdas i. Mediet får inte vara en vätska för genom vätskor kan bara longitudinella vågor gå. Men stopp, säger någon, är inte vattenvågor transversella? Jo, men då rör sig vågorna på ytan av vätskan och inte genom den. En våg som går genom en vätska svänger genom förtätningar och förtunningar av molekyler i vätskan, en typisk longitudinell våg. Etern har ingen yta utan är något som genomsyrar hela universum, alltså måste ljuset gå genom etern. En följd av detta är således att etern inte är en vätskeliknande materia utan istället är ett fast ämne. Genom ett fast ämne kan transversella vågor fortplantas.

För vågor i fasta medium gäller ett känt fysikaliskt samband, nämligen:

$$v = \sqrt{S/\rho}$$

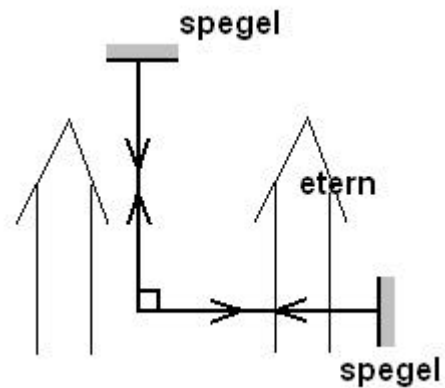
... där  $v$  är vågens utbredningshastighet i ett medium med stelheten  $S$  och densiteten  $\rho$ .

Utifrån detta kan vi dra slutsatsen att eftersom ljushastigheten är vansinnigt stor, vid det här laget kände man till ljushastigheten, så måste eterns stelhet vara mycket stor och dess densitet mycket liten. Etern behöver enligt beräkningar vara stelare än stål och lättare än luft! Kan det finnas ett sådant ämne? Möjligen i teorin.

Trots att eter teorin varit etablerad inom vetenskapen så länge hade man aldrig riktigt försökt påvisa denna eter eller gjort experiment för att bekräfta teorin. Detta ändrade dock Albert Michelson och Edward Morley på 1881 då de genomförde det berömda Michelson-Morley-experimentet. Meningen med deras experiment var att slå fast att etern verkligen fanns men resultatet blev istället att hela eter teorin kullkastades.

Hypotesen bakom experimentet var som följer: Jorden rör sig i rymden och etern genomsyrar hela rymden. Oavsett om etern har en rörelseriktning i rymden eller ej så måste jordens relativa hastighet i förhållande till etern någon gång vara större än noll, eftersom jorden rör sig runt solen och således byter riktning hela tiden i förhållande till rymden och etern. Och om vi på jorden har en annan hastighet än den omgivande etern måste det påverka ljusets hastighet i förhållande till oss eftersom ljuset rör sig i etern (per definition av etern). Ljuset borde alltså gå snabbare om det rör sig i samma riktning som etern och långsammare om det rör sig i motsatt riktning, allt i förhållande till oss på jorden. Michelson och Morley tänkte sig att man skickar en ljusstråle i samma riktning som eterns rörelseriktning mot en spegel som reflekterar tillbaka strålen så skulle ljuset få "medvind" ("vinden" är alltså eterns rörelse) till spegeln och "motvind" tillbaka vilket skulle påverka den tiden det tar för ljuset att komma tillbaka från det att man sänt ut det. Samtidigt sänder man ut en ljusstråle vinkelrät mot eterns rörelseriktning som på samma sätt får reflekteras tillbaka från samma avstånd. Denna stråle

får dock till skillnad från den förstnämnda "sidovind" både fram och tillbaka vilket gör att denna stråle tar kortare tid på sig än den som färdas parallellt med etern. Se fig. 3:3. Detta är inte självklart men går att visa matematiskt, se bilagan "Michelson-Morleys experiment" där vi har räknat ut det. Det finns även en Internetsida som har en mycket trevlig animation av Wan-Ching Hui av experimentet.



**Fig 3.3** Principskiss över Michelson-Morleys experiment

Alltså, om etern finns så kommer en tidsskillnad att uppkomma mellan de två ljuspulserna och om etern inte finns kommer ljuspulserna tillbaka exakt samtidigt. Michelson och Morley genomförde detta experiment åtskilliga gånger och testade det i alla tänkbara riktningar men fann aldrig någon tidsskillnad. Slutsatsen blev att etern helt enkelt inte fanns trots allt.

Nu uppstod genast nya problem och frågor, bland andra nedanstående:

Om etern inte finns, till vad ska man då referera ljusets hastighet till? En hastighet är ju alltid relativ. När man kör bil tänker vi oss att marken är stilla och bilens hastighet är den relativa hastigheten i förhållande till marken som då är vår referens, men marken rör sig ju med jorden i rymden och har också den en hastighet relativ till något annat, t.ex. solen som vi naturligtvis inte heller kan säga är stillastående. Hur vi än gör kan vi aldrig finna en sträcka som vi kan säga är absolut stilla och göra den till absolut referens. Om man inte har någon referens kan man inte uttala sig om hastigheter – hur blir det då med ljusets om vi tar bort referensen, etern?

Kan verkligen en våg finnas utan medium? Inga av våra erfarenheter tyder på det.

Den första frågan förblev obesvarad ända till dess Albert Einstein formulerade sin speciella relativitetsteori som vände på det hela och tog bort problemet genom att sätta ljusets hastighet som referenspunkt för hela universum. Därmed blev sträckor och tider de relativa storheterna istället. Men mer ska inte vi gå in på detta då det hör hemma i kapitel 2. Relativitetsteorin svarade nämligen inte på frågan vad ljuset är för något utan satte "bara" ljushastigheten i ny dager.

För att utreda den andra frågan och frågan om vad ljus egentligen är måste vi vända oss till den yngre kvantmekaniken vilket vi snart ska göra. Men innan det ska vi ta ett litet steg på vägen.

### 3.1.3 Ljus som en elektromagnetisk våg

I slutet av 1800-talet – innan relativitetsteorin – kom James Clark Maxwell in i bilden och presenterade sina teorier angående elektromagnetiska vågor. Man visste inte på den här tiden att ljuset var en elektromagnetisk våg eller ens att sådana vågor fanns. Han upptäckte att en elektrisk laddning som rör sig ger upphov till ett magnetiskt fält och att magnetiska laddningar som rör sig ger upphov till elektriska fält. Utifrån detta tänkte sig Maxwell att det måste finnas sk elektromagnetiska vågor som sköter växelverkan mellan magnetiska och elektriska fält. Paul Davies tar i boken "Andra Världar" ett exempel med en laddad partikel som vi här skall försöka återge. Tänk dig att en elektriskt laddad partikel, alltså en partikel som omges av ett elektriskt fält, flyttas i rummet. Då kommer fältet att komma lite efter själva partikeln eftersom fältet inte kan "veta av" att dess partikel flyttas förrän efter den tid det tar för partikeln och fältet att växelverka. Resultatet blir att när fältet ska försöka komma ikapp partikeln, som också sedan måste accelerera för att behålla försprånget, skapas en "puckel" av elektriskt och magnetiskt fält som rusar fram genom rummet från fältet till partikeln. En elektromagnetisk våg har skapats.

En elektromagnetisk våg har ett elektriskt fält (E) som svänger transversellt och ett magnetiskt fält (B) som också det svänger transversellt men vinkelrät mot det elektriska fältet, se fig. 3:4.

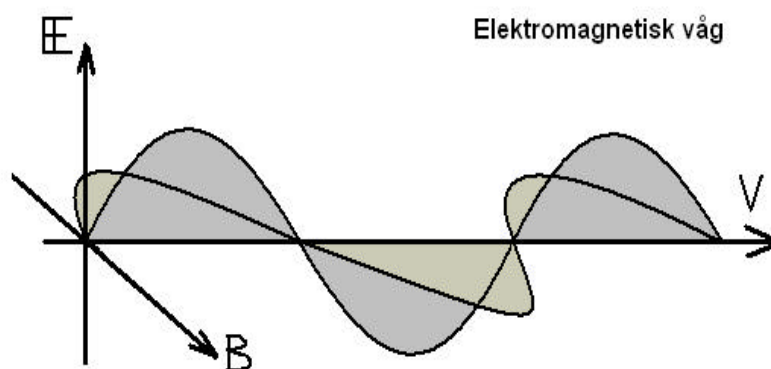


Fig 3.4 Teoretisk figur över en elektromagnetisk våg

Han räknade också fram ett samband för utbredningshastigheten  $v$  i vakuum för en sådan våg:

$$v = \sqrt{1/(\mu_0 \cdot \epsilon_0)}$$

... där  $\mu_0$  = den tomma rymdens (alltså vakuum) permeabilitet (genomtränglighet)  $4\pi \cdot 10^{-7}$  mkgC<sup>-2</sup> och  $\epsilon_0$  = den tomma rymdens permittivitet  $8,85 \cdot 10^{-12}$  C<sup>2</sup>N<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>. Hur han räknade sig fram till de elektromagnetiska vågornas existens och ovanstående formel kommer vi inte att gå in mer på i denna uppsats då det tar mycket plats och egentligen inte har med vår huvudfråga att göra. Men för de intresserade (vi som läst det tycker att det är mycket intressant i alla fall) hänvisar vi till kapitlet "Electromagnetic Waves" i boken "Modern Physics" (se källförteckning) och i boken "College Physics" kan man hitta Maxwells ekvationer och delvis hans uträkningar, slå i registret på Maxwells equations.

Hursomhelst, då Maxwell beräknade hastigheten  $v$  för sina elektromagnetiska vågor fann han att den blev ungefär 300 000 km/s, sätt in siffrorna i formeln själv så får du se. Nu blev han misstänksam – detta värde var ju i stort sett exakt lika stort som ljusets hastighet! Kunde det vara så att ljuset var en elektromagnetisk våg? Svaret på den frågan blev sedermera ja.

Nu har vi *ett* svar på frågan vad ljus är för något; ljuset är en elektromagnetisk våg. Det svaret räcker dock inte för att fullt förstå ljusets natur eller kunna förklara alla observationer. Därför skall vi senare ge oss in på fler svar, men tillsvi vidare ska vi se på några konsekvenser av vårt antagande att ljuset är en elektromagnetisk våg. För det första innebär det att ljuset kan

växelverka med både elektriska och magnetiska fält, vi ser t.ex. blixten. Eftersom elektricitet består av elektroner i rörelse kan också ljuset växelverka med elektroner och materia (också detta kommer vi tillbaka till senare). Vidare; när man tillför energi till laddade partiklar genom att t.ex. accelerera dem kommer de att sända ut överskottsenergin de får i form av elektromagnetiska vågor, i vissa fall synligt ljus. Och här kan vi knyta an till partikeln som flyttades med följden att en elektromagnetisk ”puckel” bildades, den tid det tar för partikeln och fältet att växelverka måste, inser vi nu, vara den tid det tar för ljuset, som ju är en typ av elektromagnetisk ”puckel” (=våg), att färdas mellan dem. Nu mera är det ett allmänt känt faktum bland fysiker att växelverkan mellan objekt som snabbast kan ske med den tid det tar för ljuset att färdas mellan dem.

Det kan slutligen vara på sin plats att definiera vad vi menar med ljus. All elektromagnetisk strålning är inte ljus bara för att det omvända gäller. Radarvågor, infraröd strålning, synligt ljus och ultraviolett strålning är alla exempel på elektromagnetiska vågor, det som skiljer dem från varandra är deras frekvens och våglängd (i uppräkningsordningen ovan är de ordnade efter ökande frekvens). Synligt ljus våglängd varierar mellan 380 – 800 nm och skillnaderna däremellan ger upphov till olika färger. Det är alltså i själva verket våra ögon som definierat vad ljus är för något. Rent fysikaliskt kan man säga att radarvågor – för att ta en godtycklig elektromagnetisk våg – också är ljus men med en färg som våra ögon inte kan detektera. I nästa avsnitt kallar vi all elektromagnetisk strålning för ljus.

### 3.1.4 Fotoelektrisk effekt och Fotoner

Att ljuset är en vågrörelse är svårt att betvivla. Vi har sett åtskilliga saker som tyder på det och bekräftelserna vi fått av olika fenomen och experiment – inte minst dubbelspaltexperimentet, diffraktion, interferens och elektromagnetism – lämnar inga andra trovärdiga svar kvar. Låt oss därför konstatera att ljuset faktiskt *är* en våg. Men att ljuset är en våg utesluter inte att det samtidigt kan vara något annat.

Vi har ju sett att den våg ljuset är tydligen inte har något medium. Men vad är en våg utan medium? Om man tar bort vattnet från en vattenvåg finns ingen våg kvar och tar man bort luften från en ljudvåg finns lika lite då en våg kvar. Således måste det finnas ytterligare något man kan beskriva ljuset som, vågen måste ju själv bestå av något om ett medium inte finns. Nu börjar man återigen fundera över ljuset som en partikel, det alternativ Newton lade fram men som förkastades på 1800-talet, men man tänker inte förkasta vågteorin för det (det är trots allt mer som talar för den), snarare sammanföra dem. Kan det vara möjligt att ljuset är våg *och* partikel samtidigt?

Faktum är att vi får olika svar på den frågan beroende på vilka experiment och observationer vi gör. Som sagt, bland annat Youngs dubbelspaltexperiment lämnar inga tvivel för att ljuset är en våg. Men det finns även andra fenomen som klart pekar på att ljuset består av partiklar varav den fotoelektriska effekten är det starkaste och det vi i detta avsnitt skall studera närmare. Vill man fördjupa sig ytterligare rekommenderas återigen ”Modern Physics”.

Först ska vi bekanta oss med fenomenet, innan vi ger oss in på förklaringen, och enklast görs detta med ett exempel. Om man har en negativt laddad zinkplatta och belyser den med ultraviolett strålning (UV-ljus) så minskar plattans laddning vilket man kan mäta bland annat genom att se hur mycket en metallvisare repelleras från plattan. I vissa experiment uppkommer små blixtar mellan metallplattor då den ena belyses på detta sätt vilket beror på laddningsskillnaden som uppkommer då den ena plattan förlorar laddning då den belyses. Det verkar alltså som om UV-ljuset kan flytta det som ger upphov till spänning, dvs. elektroner. Men hur går det till?

För att ta reda på det gjorde tysken Wilhelm Hallwachs ett flertal experiment med den fotoelektriska effekten där han kom fram till följande. Effekten uppkommer endast då negativt laddade plattor belyses, ej om de är positiva. Det fungerar även bara med vissa plattor, till exempel går zinkplattor bra men inte järnplattor. Vidare behövs ljus (i detta fall samma sak som elektromagnetiska vågor) med högre frekvens än synligt ljus; synligt ljus ger inte upphov till någon effekt men det gör som sagt UV-ljus och det med ännu högre frekvens. Det spelar dock ingen roll vilken intensitet ljuset har, bara frekvensen har betydelse. Vad kan vi då komma fram till utifrån denna information? Det första är att eftersom bara negativa plattor förlorar sin laddning måste belysningen på något sätt avlägsna elektroner, som är negativa, därifrån. Det andra är att detta måste ske genom att ljuset överför energi till elektronerna för utan extra energi kan de inte bryta sig loss från plattan. Allt vad det än är måste ha energi för att flytta sig och eftersom elektronerna inte flyttar sig då man bara låter plattan ligga är det sannolikt så att de då inte har tillräckligt med energi för att klara av att frigöra sig från metallen. Att de flyttar sig när de belyses betyder att de då på något sätt fått den extra energi som krävs.

Men upptäckten av den fotoelektriska effekten förde inte bara med sig ökad kunskap om hur elektromagnetiska vågor kan påverka materia utan gav fysikerna en del nya problem att ta itu med.

Varför kan bara vissa metallers elektroner frigöras oavsett hur intensivt ljuset var? Alla metaller kan leda ström och alla metaller kan förlora elektroner då de värms intensivt. Olika metaller kan förstås binda sina elektroner olika hårt till sig men tillräckligt intensivt ljus borde kunna bryta detta.

Hur kan det komma sig att elektronerna inte får tillräckligt energi av ljus med låg frekvens även om det är intensivt och får tillräckligt med energi av ljus med hög frekvens även då dess intensitet är mycket låg? Om man skickar en våg mot ett material tar materialet emot energin kontinuerligt – en våg är ju kontinuerlig då man kan rita den utan att lyfta pennen och energin transporteras i utbredningsriktningen, inte med svängningarna – och hastigheten är alltid konstant för elektromagnetiska vågor. Detta leder till att intensivt ljus, alltså många vågor, borde överföra mer energi än ljus med hög frekvens, frekvensen borde inte alls påverka. Men nu ser vi det motsatta i experimenten!

Än en gång kommer dock Einstein in och ger en förklaring till det hela. Men hans förklaring var inte lätt att godta då den gick ut på att ljuset är partiklar, det alternativ man totalt förkastat i drygt ett halvt århundrade för att så entydiga observationer gjort gällande att ljuset är en våg och inget annat.

Att se ljuset som en partikelström gör den fotoelektriska effekten helt begriplig. Partiklar överför inte energi kontinuerligt utan endast då en partikel kommer i kontakt med materialet, och då överförs som mest den energi ljuspartikeln i sig själv, inte hela strömmen av ljuspartiklar, har. För att en elektron skall få tillräckligt med energi för att hoppa bort kan det nu alltså räcka med en enda ljuspartikel stöter på elektronen bara den enstaka ljuspartikeln själv innehåller tillräckligt med energi. En enstaka partikels energiinnehåll beror inte på hur många kompisar den har (intensiteten) utan på just dess energiinnehåll och ett högt energiinnehåll möjliggör en högre frekvens. Det beror således inte heller på hur många kompisar en ljuspartikel har om den kan bryta loss en viss metalls elektroner – om metallen är starkare än ljuspartikeln är den det.

En ljuspartikel kom att kallas ljuskvanta och så småningom foton. Med kvanta menas ett slags paket som levererar energi och detta var ett begrepp som Max Planck infört redan tidigare i

sin kvantfysik där han påstod att ljuset överför energi i bestämda paket (bestämda energimängder) för att på ett bra sätt kunna förklara svartkroppsstrålning – något som inte hör till denna uppsats område men som är mycket intressant, läs gärna kapitel ”The Quantum Hypothesis” i ”Modern Physics”. Einstein var således inte först med idén att ljuset överför energi i paket men han satte upp ekvationer som stämde överens med experiment och sade att ljuset inte bara för över energi i paket utan transporterar energi i dessa paket. Efter Planck gällde  $E_{kvanta} = hf$  och efter Einstein gällde  $E_{foton} = hf$  i vilka båda  $E$  står för energi,  $f$  för frekvens och  $h$  för ’Plancks konstant’ (framtagen genom experiment). Det är faktiskt rätt självklart att ljus med högre frekvens måste ha högre energi eftersom det måste svänga fler gånger per tidsenhet.

När vi ändå är inne på området ska vi ta upp lite om fotoner och vad som händer när de överför energi till atomer samt hur dessa återigen kan sända ut energin i form av fotoner. Vi har sett att elektromagnetiska vågor är fotoner som färdas i ljushastigheten. Viktigt att poängtera är att en foton alltid färdas i ljushastigheten, om den inte gör det är den inte längre en foton. Detta kan vi förstå av att ljushastigheten är det vi bestämt vara vår referens i universum och allt annat ses som relativt denna referens – alltså kan inte ljuset/fotonerna ha någon annan hastighet per definition. Då en foton således aldrig kan vara i vila har den ingen viloen energi eller vilomassa (i varje fall inte i förhållande till den fysik vi byggt upp och räknar med utifrån definitioner vilken vi måste följa för att kunna beskriva verkligheten på det sätt vi valt att vilja ha den beskriven). Då vi nu tillskrivit ljuset partikelegenskaper kan vi räkna oss fram till en ftons rörelsemängd  $p$  utifrån att vilomassan är noll:

$$E = mc^2 = c(mc) = cp \Rightarrow p = E/c = hf/f\lambda = h/\lambda$$

Att fotoner har rörelsemängd gör att de kan påverkas av gravitationen vilket bekräftats av experiment, ljusets bana böjer sig t.ex. när det passerar nära solen. Detta trots att ljuset ej har någon massa. Mer om detta finns i ”Modern Physics”.

När en foton träffar en atom lämnar den iväg all sin energi helt enkelt därför att den inte längre finns när den stannat. Vi kom ju nyligen överens om att fotoner alltid färdas i ljushastigheten av vilket följer att det som inte gör det inte är någon foton och ett energikvanta som inte finns kan inte längre bära på energi. Hela fotonen omvandlas alltså till energi när den krockar med en atom. Energin tas upp av atomen, eller rättare sagt någon av dess elektroner, som ligger nära till hands så att säga. Anledningen till att elektronerna är mottagliga för energi är att de har någonting att göra med sin energi till skillnad från atomens kärna; de rör sig. När en elektron får extra energi kan den röra sig i större banor och hoppar ut ett antal steg från kärnan, man säger att atomen exciteras. Oftast är dock inte en exciterad atom i detta tillstånd särskilt länge utan elektronen ”vill” tillbaka till sitt normala tillstånd – ”viljan” är i själva verket naturens strävan att få hela universum i jämvikt – och när den hoppar tillbaka igen minskar dess omloppsbanan och den överflödiga energin sänds bort i form av en foton. Här kan man återigen tänka sig den laddade partikel vi pratade om i avsnittet om elektromagnetiska vågor; när elektronen som är laddad faller tillbaka rör den sig och en elektromagnetisk våg – alltså ljus, alltså en foton – uppkommer. Beroende på hur mycket energi som blir överflödig, vilket i sin tur beror av energiskillnaden mellan banorna elektronen hoppat, får fotonen en viss mängd energi och således en viss frekvens som våg.

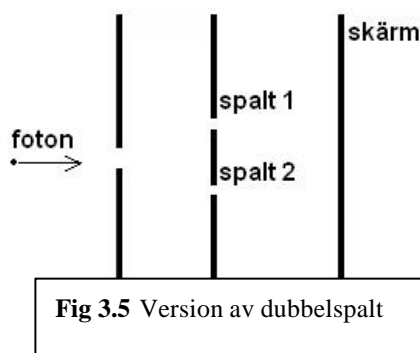
Ljus som partiklar kan förklara den fotoelektriska effekten och hur materia och ljus växelverkar, men hur gör vi då med vår vågteori? Eftersom båda synsätten kan förklara olika egenskaper hos ljuset får vi helt enkelt acceptera båda. Ljuset kan som vi sa i inledningen till detta avsnitt vara både våg och partikel *samtidigt!*

### 3.1.5 Kvantfysik

I detta avsnitt ska vi inte ge oss på att försöka avhandla hela kvantfysiken/kvantmekaniken om nu någon trodde det utan koncentrera oss på en specifik företeelse hos ljuset som kan förklaras med kvantfysiken. Liksom mycket annat inom detta område av fysiken går denna företeelse rakt emot det sunda förnuftet. Om du tror att vi bara hittar på kan du läsa kapitel "Photons" i "Modern Physics" och boken "Andra världar" och finna att vi faktiskt inte ljuger.

Vi återvänder till dubbelspaltexperimentet som övertygade oss om att ljuset är en våg. På skärmen bildades ett tydligt mönster av förstärkningar och försvagningar i flera band – ett interferensmönster som beror på att flera vågor påverkade varandra. Då vi nu ser ljuset inte bara som våg utan också som partikel betyder det att interferensmönstret uppkommer därför att fotonerna som har vågegenskaper påverkar varandra.

Man kan ändra lite i det ovan nämnda experimentet och begränsa ljusintensiteten så mycket att bara en foton åt gången skickas ut från ljuskällan framför första hålet. Ljuskällan är alltså ingen glödlampa utan något betydligt dyrare instrument. Skärmen är också den dyrare för den känner av var en enskild foton träffar den och registrerar denna position. Så skickar vi den första fotonen och registrerar var den träffar skärmen, och sedan den andra, och den tredje... osv. Se fig.3:5.



När man sedan efter ett stort antal fotoner tittar på var alla fotonerna träffat skärmen framträder ett interferensmönster även nu när vi skickat en foton åt gången. Många fotoner har hamnat där förstärkningarna uppkom i experimentet med mycket ljus samtidigt och få där försvagningar uppkom. Hur? När fotonerna är många är det såklart möjligt att de kan påverka varandra och interferera men hur kan en foton åt gången bli påverkad av dem som ännu ej sänts ut eller redan tidigare kommit fram till skärmen? Vårt förnuft säger oss att en foton helt enkelt inte kan bli påverkad av några andra fotoner eftersom de andra inte finns där. Men om de inte påverkar varandra borde alla enskilda fotoner hamna i samma klump på skärmen. Så hur löser vi då problemet? Kan det vara så att fotonen interfererar med sig själv? Att den liksom en våg sprids och går genom båda spalterna för att sedan påverka sig själv? Visst har vi konstaterat att ljuset är en vågrörelse men också att den minsta delen är just en foton som inte går att dela upp. Om det gick att dela upp en foton skulle det inte vara en foton för då skulle delen vara fotonen och om vi säger att man kan dela upp ljuskvantat hur många gånger som helst skulle vi återigen få problem med kontinuerligheten energin borde föras över med i fotoelektriska effekten. En foton är alltså den minsta delen i ljus. Hur skulle då en foton kunna dela upp sig och sedan påverka sig själv?

En sak som dock talar för att fotonen kan dela upp sig är att om man täcker för den ena spalten så bildas inget interferensmönster. Men hur kan en enskild foton "veta" att den ska bete sig som att den hade en massa kompisar om två spalter finns och som att den var ensam om bara en spalt finns och hur i allsinn där kan fotonen överhuvudtaget "veta" om det är två spalter eller en? Man har även försökt att mäta med en mycket känslig ljus-/fotondetektor om fotonen kan ta sig genom båda spalterna samtidigt men mätningarna misslyckas för så fort man placerar en detektor vid spalterna börjar ljuset bete sig som att bara en spalt fanns och inget interferensmönster bildas. Detta oavsett om man placerar detektorn före eller efter spalterna! Hur kan fotonen "veta" att en detektor är placerad efter spalterna redan när den passerar genom dem?

Hoppas att du förstått det paradoxala i allt detta för det är verkligen underbart paradoxalt för vårt förstånd. Men hur förklaras det? Det är här kvantfysiken kommer in i bilden. Kortfattat uttryckt kan man säga att förklaringen går ut på att alla möjliga vägar fotonen kan ta interfererar med varandra och påverkar den verkliga vägen, den väg som fotonen väljer och som vi kan mäta. Det är alltså inte partikeln i sig själv som interfererar utan dess tänkbara vägar. Vissa forskare menar till och med att det bildas ett nytt universum för varje tänkbar väg (egentligen varje tänkbart alternativ som kan inträffa i världen) och att fotonen i ena universumet går ena vägen, fotonen i nästa den andra... osv. och sedan att alla universumens fotoner interfererar med varandra och påverkar varje enskilt universums foton. Denna teori går naturligtvis aldrig att pröva och kommer förbli en vild spekulatation men är kul att nämna.

Men hur kan en tänkbar väg som aldrig inträffar påverka vår verklighet? Nu måste man lämna bilden av att föremål och företeelser i världen påverkar varandra direkt och tänka kvantfysiskt. Världen följer naturlagar som kan beskrivas matematiskt är en premis vi förutsätter (denna går dock heller aldrig att bevisa eller motbevisa). Nu tänker vi oss att det är de matematiska sambanden som påverkar hur världen beter sig och inte världen i sig själv. Alltså att föremål och företeelser påverkar varandra indirekt via de lagar som styr dem alla.

Om lagarna tillåter att en partikel kan gå flera vägar genom rummet kommer alla dessa vägar att finnas beskrivna som möjliga utifrån lagarna och oavsett vilken partikeln väljer i den verkliga världen så påverkar de möjliga vägarna resultatet. Förklaringen fungerar men är inte lättsmält, att den inte är lättsmält säger ju dock ingenting om den är sann eller inte.



### **3.2 Våra experiment – ljus; våg eller partikel?**

De experiment vi utförde på Gävle Högskola angående ljusets natur kan man dela upp i två grupper. Den första gruppens experiment hade syftet att påvisa fenomen som kan förklaras med ljusets partikelegenskaper och de alla hade något att göra med den fotoelektriska effekten som vi diskuterade i tidigare avsnitt. Om man påvisar den fotoelektriska effekten och vilka villkor som måste vara uppfyllda för att det skall fungera har man visat att ljuset har partikelegenskaper. Den andra gruppens experiment handlade om att påvisa fenomenet interferens, som är typiskt för vågor, hos ljus. Det samma gäller som vi förstått här, interferens är ett tydligt tecken på att ljuset har vågegenskaper. Till sist gäller det att kunna lägga ihop resultaten från alla experimenten och dra slutsatser. Ljuset har både partikel- och vågegenskaper. Om du vill veta exakt vad vi gjorde så finns bilaga 3, det rör sig om experiment 3, 4, 5 och 6 under dag 2.

## 4 Slutsats och diskussion

Vi har sett att ljushastigheten kan mätas på en mängd sätt. Det finns astronomiska metoder som Rømers metod utifrån månen Io. Det finns också mekaniska metoder, som till exempel Fizeaus och Foucaults. Men efter 1983 är det ingen mening att mäta ljushastigheten eftersom denna fastställts som konstant.

Våra egna experiment med att mäta ljushastigheten gav förhållandevis bra värden på ljushastigheten, inte det första som blev ett fiasko. Det andra gav ett värde som vi inte riktigt kan bedöma eftersom det var hastigheten för ljuset i den fiberoptiska kabeln. Experimentet med stående mikrovågor gav dock ett gott resultat.

Ljusets natur är inte lätt att förstå eftersom ljuset inte beter sig så som vi är vana att saker gör. Ljuset är våg och partikel samtidigt, det är inget vi kan föreställa eller göra oss en bild av utan något vi endast kan greppa med ord och acceptera. Vi har heller inte kunnat dra några andra slutsatser utifrån de experiment vi utförde i Gävle. Dessutom har vågen inget medium att färdas genom men färdas likväl, i motsats till våra vardagliga erfarenheter. Vågen kan också beskrivas som elektriska och magnetiska fält som svänger vinkelrät mot varandra och förmedlar växelverkan i expressfart mellan partiklar, atomer, energi och fält i universum.

Allt detta vi lätt uppfattar som motsägelser är dock det bästa svar man kan ge – tills vidare förstås – om man samtidigt vill hålla sig till vad experiment och observationer talar om för oss. Visst är det väl klokare att anse att verkligheten är som den är även om vi inte kan förstå den än att blunda för det man ser. Om man blundar ser man nämligen inte ljuset.

## Källförteckning

Danielsson, Ulf, 2003, *Stjärnor och äpplen som faller. En bok om upptäckter och märkvärdigheter i universum*, Falun: Scandbook AB

Davies, Paul, 1985, *Andra Världar. Rymden, superrymden och kvantuniversum*, Borås: Centraltryckeriet AB.

Giambatistina, Alan; Richardson, Betty McCarthy och Richardson, Robert Coleman, 2004, *College Physics*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York

Hawking, Stephen, 2001, *Kosmos – en kort historik*, Prisma, Stockholm

Hui, Wan-Ching,

[http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more\\_stuff/flashlets/mmexpt6.htm](http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/mmexpt6.htm) den 7 april 05

Nationalencyklopedin.

Nir, Shlomo och Pfeffer, Jeremy I, 2000, *Modern Physics. An Introductory Text*, Imperial College Press

Persson, Jonas, [www.mna.hkr.se/historia/modnat/optikhistoria.htm](http://www.mna.hkr.se/historia/modnat/optikhistoria.htm) den 4 april 05

Ringström, Ulf, 1970, *Fysik. 2 b.vågrörelselära*, Uppsala: Almqvist & Wiksell boktryckeri AB.

## Experiment 1: Fiberoptisk kabel

Syfte/teori/utförande: Att bestämma ljusets hastighet på samma sätt som experiment dag 1 men med den skillnaden att vi här nyttjar en fiberoptisk kabel istället för en korridor. Se därför de anteckningarna för teori och utförande utöver detta. Istället för att byta längd på avståndet mätinstrument-spegel i korridoren byter vi nu längd på kabeln.

Fördelen är att vi inte förlorar någon intensitet i ljuset i den fiberoptiska kabeln och därför påverkas inte mätningarna av intensitetskänsliga mätinstrument.

### Resultat:

Försök 1:

$$\Delta s = (19,71 - 0,2) \text{ m} = 19,51 \text{ m}$$

$$\Delta t = 75 \text{ ns}$$

$$v = \Delta s / \Delta t = 2,6013333 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Denna hastighet är ljusets hastighet i det medium den fiberoptiska kabeln består av. För att få ljushastigheten i vakuum multiplicerar man med mediets brytningsindex  $n$ .

$$c = v \cdot n$$

Det är bara det att vi, eller professorerna på HIG, inte vet vad  $n$  är för den fiberkabel vi fick använda. Räknar man baklänges utifrån det allmänt accepterade värdet av  $c$  bör  $n$  dock vara ca 1,15 vilket är rimligt (förmodligen är det något slags plexiglas kabeln innehåller).

Försök 2:

$$\Delta s = 19,51 \text{ m}$$

$$\Delta t = 80 \text{ ns}$$

$$v = 2,44 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

<b>Bilaga 2</b>
-----------------

**Experiment 2: Mikrovågor**

Syfte: Att bestämma ljusets hastighet med hjälp av stående mikrovågor.

Teori/utförande: En sändare av mikrovågor med viss bestämd frekvens och en mottagare, som egentligen inte tar emot utan reflekterar tillbaka vågorna till sändaren som tar emot dem igen, placeras mitt emot varandra längs en slags linjal.

När mikrovågor sänds ut och reflekteras får vi ju två vågor som går i motsatt riktning i förhållande till varandra och då blir resultatet av dem båda en sk stående våg. Elektromagnetisk strålning bildar ju inga reella stående vågor, såsom t.ex. en metallfjäder gör om den har en vågkälla i vardera änden, men man kan ändå mäta resultatanten av de båda vågorna och på så vis få en tänkt stående våg. Sändaren/mottagaren mäter den elektriska spänningen som induceras av vågorna då de flyttar sig vertikalt (vinkelrät mot vågens utsändningsriktning) – sändaren sänder ut planpolariserat ljus – över en spole i sändaren/mottagaren. Detta sker för att magnetfältet i spolen påverkas av mikrovågorna. I den resulterande/stående vågens noder är vågens elongation noll och således är induktionen minimal just där.

När man sedan flyttar den reflekterande mottagaren längs linjalen så ändras spänningsutslaget med minimum som dyker upp på vissa avstånd från varandra. Då vet man hur långt det är mellan noderna vilket ger våglängden då man lätt förstår att avståndet mellan noderna är halva våglängden.

Sedan utnyttjas sambandet  $v = f \lambda$  där  $v$  är vågens utbredningshastighet i m/s, frekvensen är  $f$  Hz och våglängden  $\lambda$  m för att få fram hastigheten av våra mikrovågor vilket är all elektromagnetisk strålningens hastighet och således ljushastigheten  $c$ .

Resultat/utförande:

Försök 1 (testförsök):

Mätinstrument: Voltmeter och amperemeter kopplade till sändaren/mottagaren. Sträckan mellan noderna mätte vi direkt med ögonen på linjalen.

$$f = 10,5 \text{ GHz} = 10,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$s_1 = 100,85 \text{ cm (var längs linjalen nod 1 påträffades)}$$

$$U_1 = 1,34 \pm 0,02 \text{ V}$$

$$I_1 = 0,68 \pm 0,02 \text{ mA}$$

$$s_2 = 102,3 \text{ cm}$$

$$U_2 = 1,26 \pm 0,02 \text{ V}$$

$$I_2 = 0,60 \pm 0,01 \text{ mA}$$

$$\Delta s = (102,3 - 100,85) \text{ cm} = 1,45 \text{ cm}$$

$$\lambda = (1,45 \cdot 2) \text{ cm} = 2,9 \text{ cm} = 0,029 \text{ m}$$

$$c = 0,029 \cdot 10,5 \cdot 10^9 = 3,045 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Kommentarer: Avvikelsen från det definierade värdet för  $c$  som är 299 792 458 m/s är +4 707 542 m/s (1,6 %) vilket kanske låter mycket men ändå måste anses vara ett mycket bra och nära värde med tanke på mätnoggrannheten och vår utrustning.

Detta testförsök kommer dock inte att räknas med sedan då vi gör en medelvärdesberäkning av våra resultat.

Det är dessutom helt onödigt att anteckna spänningen  $U$  och strömmen  $I$  vid noderna bara man ser var de är minimala, dvs. där mätarna "vänder", så dessa värden kommer vi inte i fortsättningen att ta upp.

Försök 2:

Endast amperemetern användes.

$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$	$s_9$	$s_{10}$
111,0	109,75	108,1	106,75	105,2	103,7	102,35	100,8	99,4	97,95

$\pm 0,05$  cm

$\Delta s_{\text{medel}} = (s_1 - s_{10})/9 = 0,0145$  m (observera att det är exakt samma värde som i testförsöket)

$c = 2 \Delta s_{\text{medel}} f = 3,045 \cdot 10^8$  m/s

Kommentarer: Ganska stor osäkerhet i frekvensen eftersom den angivits i GHz på mottagaren men liten osäkerhet i bestämningen av sträckan, ca 3 %  
 $((10\,500\,000\,000 \cdot 2 \cdot 0,0005) / 304\,500\,000 = 0,0344827586)$ . Med detta i åtanke har vi fått ett hyfsat bra värde, tycker vi i varje fall.

Försök 3:

Här mätte vi inte sträckan så noggrant vid varje nod utan nöjde oss med att mäta endast de yttersta noga, det är ju de som betyder något för  $\Delta s_{\text{medel}}$ .

$s_1 = 105,25 \pm 0,05$  cm

$s_9 = 93,65 \pm 0,05$  cm

$\Delta s_{\text{medel}} = 0,0145$  m (samma som alltid!)

Helt oväntat blir då  $c = 3,045 \cdot 10^8$  m/s  $\pm 5$  % (med tanke på osäkerheterna vi såg på i förra försöket).

Försök 4:

Mätinstrument: Voltmeter

$s_1 = 106,7 \pm 0,05$  cm

$s_{10} = 93,55 \pm 0,05$  cm

$\Delta s_{\text{medel}} = 0,014611$  m

$c \approx 3,068 \cdot 10^8$  m/s  $\pm 5$  %

Kommentarer: Eftersom vi egentligen vill att värdet ska bli lägre anser vi detta försök vara en avvikelse och räknar inte med det.

Slutresultat:

$c = 3,045 \cdot 10^8$  m/s  $\pm 5$  %

En viktig slutsats utifrån att ljuset bevisats ha en hastighet är att eftersom ljus är det som förmedlar växelverkan mellan materia/energi så tar växelverkan tid. Växelverkan sker inte omedelbart och därför stämmer inte den klassiska fysiken om man ska vara petig (dock är den fullt tillräcklig för att beskriva förlopp på jorden).

Övrigt: Vi påvisade planpolariseringen av mikrovågorna från sändaren vi använde genom att hålla en metallplatta med galler (dvs. avlånga ”randiga” hål) framför sändaren och se om mottagaren tog emot några vågor. Det gjorde den när gallret var vertikalt men inte när det var horisontellt vilket leder till slutsatsen att ljuset är planpolariserat till det horisontella planet, tvärtemot vad man först kan tro men det har att göra med hur de elektromagnetiska vågorna absorberas av delokaliserade (fria) elektroner i metallen och det ska vi inte närmare gå in på här, då det ligger utanför vårt arbetes frågeställningar. Det polarisationen dock visar är att ljuset verkar vara en vågrörelse.

Vi gjorde också ett kort försök med stående vågor fast då med ljudvågor för att försöka ”se” stående vågor. Försöket gick ut på att ställa in rätt frekvens med ljudvågor in i ett rör delvis fyllt med fint sågspån och se hur detta fina sågspån ”ställde sig upp” i rader i röret vid viss frekvens (se bild som bifogas).

## Bilaga 3

### *Experiment 3–7:*

Dessa experiment är alla mycket enkla och korta men har samma syfte...

Syfte: Att påvisa ljusets dubbelnatur, den så kallade vågpartikeldualismen, genom att göra några små försök som visar ljusets partikelegenskaper och några andra små försök som visar ljusets vågegenskaper.

Vi börjar med dem som visar ljusets partikelnatur:

#### Experiment 3:

En zinkplatta är förbunden till en zinkstav som ligger nära en rörlig metallvisare. Allt detta utom själva zinkplattan befinner sig i en försluten genomskinlig låda (se bifogad bild).

Zinkplattan laddas negativ med ebonitstav och kattskind – detta ger utslag på visaren som repelleras från zinkstaven.

Sedan är det tänkt att visaren ska sjunka tillbaka mer och mer när man lyser på zinkplattan med UV-ljus. Teorin bakom denna hypotes är att när UV-ljuset, som har hög energi, träffar plattan så ska elektroner emitteras från plattan genom så kallad fotoelektrisk effekt och då elektronerna lämnar plattan så minskar den negativa laddning man tillfört från ebonitstaven och visaren repelleras inte lika kraftigt längre.

Försök 1: Visaren blir laddad men inget händer när plattan belyses.

Försök 2: Zinkplattan putsas med stålull och plattan laddas åter upp. Denna gång fungerar det och visaren sjunker tillbaka precis de gånger vi belyser plattan. Tydligt krävs det att plattan är ren för att det ska räcka med UV-ljus för att emittera elektroner.

Försök 3 (test): Vi laddade nu plattan positivt istället för negativt och belyste den sedan. Resultat: inget händer vid belysning, precis som det heller inte bör då plattan nu redan har brist av elektroner.

Men hur visar emittering av elektroner och fotoelektrisk effekt ljusets partikelegenskaper? Jo, för att elektronerna ska kunna hoppa iväg krävs det att energi tillförs – denna energi tillförs sannolikt av ljuset och det är just detta som kallas för fotoelektrisk effekt. Men för att energi ska kunna överföras krävs också att den överförs i en viss mängd och att all denna mängd förs över i samma tidpunkt. I förlängningen leder detta till slutsatsen att energin som ljuset innehåller transporteras i ”paket” med viss energimängd per paket – dessa paket kallas numera för fotoner (ljuskvanta) – och härmed är det visat att ljuset färdas i små ”paket”; partiklar utan massa, bara energi.

#### Experiment 4:



Vi ska mäta strömmen över en krets mellan två metallplattor särskiljda av ett mycket litet mellanrum och försöka sluta kretsen genom att emittera elektroner från den ena plattan till den andra med UV-ljus och på så sätt få en ström.

Försök 1:

Utan belysning:  $I = 0,29 \text{ mA}$

Under belysning:  $I = 0,31 \text{ mA}$

Kommentarer: Den fotoelektriska effekten verkar finnas, se experimentet ovan för ytterligare förklaring av varför detta visar ljusets partikelegenskaper. Dock är värdena i detta försök så lika varandra att man absolut inte kan dra några egentliga slutsatser endast utifrån dem.

Och nu de försök som visar ljusets vågnatur:

#### Experiment 5:

Detta experiment är mycket enkelt (nästan för enkelt) och det enda man behöver är ett par fingrar vilket de flesta väl har.

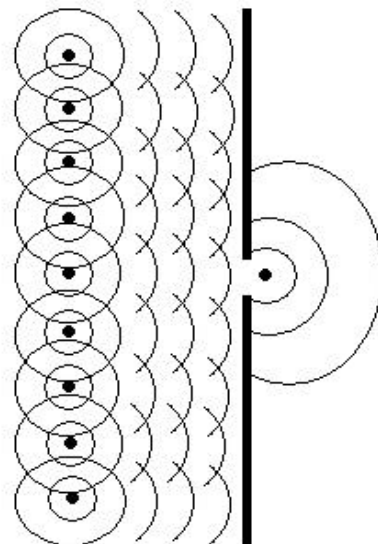
Lägg fingrarna tätt mot varandra så att endast en mycket smal springa bildas mellan dem och titta sedan genom springan mot en ljuskälla. Då bör du se några svarta band längs springan. Dessa band är ljusets interferensmönster och interferensmönster är typiska för just vågrörelser. Vi kommer tillbaka till förklaringen av interferensmönster i nästa experiment.

#### Experiment 6:

Vi placerade en laserkanon så att en punktförmig laserstråle lyste genom en smal springa och studerade hur laserljuset såg ut på väggen efter denna springa. Se bifogad bild för resultatet som var ett tydligt interferensmönster där ljuset hade delat upp sig i flera ljuspunkter på rad.

Vi prövade detta med flera än en springa och hårstrån också – se bilderna för bra beskrivning av resultaten.

Förklaringen av interferensmönster är att diffraktion uppkommer och alla vågor sprider sig cirkulärt från en punktlig vågkälla. I "raka" vågor är det flera sådana punkter som "samarbetar" med varandra så att en till synes rak våg bildas. Då en "rak" våg, t.ex. laser, träffar en smal springa är det bara några få (relativt) punktliga vågkällor som kommer igenom springan och kan fortsätta sin "verksamhet", men nu med den skillnaden att de inte hindras av andra vågkällor i sidled längre och kan spridas i sidled, se bilden bredvid. Denna förklaring kan inte helt tillämpas på elektromagnetiska vågor men den ger i varje fall principen för hur interferensmönster bildas och varför just vågrörelser ger upphov till dem.



#### Experiment 7:

Detta experiment hör egentligen inte hit men det är kul att ta med det ändå för det leder ofta till felaktiga slutsatser av både lärare och elever där det görs. Det handlar om det experiment där man belyser en glasbehållare och vid belysningen får några plattor som är fästa runt samma axel, och har en svart och en blank sida, att snurra. Vissa tar det som bevis för att ljuset är partikel och får plattorna att snurra för att dessa partiklar slår i plattorna vilket är helt fel. Plattorna snurrar åt fel håll för att den teorin skall stämma. Det är den svarta sidan av

plattorna som får "knuffen" när man utför experimentet, inte den blanka som ju borde få knuffen då den är den sida som reflekterar ljuset och inte absorberar det, om det nu vore så att ljuset kunde knuffa på plattor.

Förklaringen är istället den följande: Den svarta sidan blir varmare när den träffas av ljus eftersom den absorberar de "energipaket" ljuset består av och då värms luftmolekylerna i närheten av den svarta sidan upp varav de rör sig mer och det är dessa molekyler som stöter till plattorna med en större mängd så att plattorna snurrar åt det håll de gör.

## Bilaga 4

### Michelson-Morleys experiment

#### Matematiskt bevis för att tidsskillnad uppstår om eter finns

I figuren intill är de breda pilarna eters relativa hastighet och A och B de två ljuspulserna som sänds ut parallellt med och vinkelrät mot eter.

Sträckan till speglarna från utgångsläget är för båda S.

Eters hastighet benämns x och ljusets hastighet i eter c.

När A har "medvind" är dess hastighet (c + x) och när den har "motvind" är hastigheten (c - x).

B:s hastighet är alltid c eftersom eters påverkan sker vinkelrät mot dess hastighet och således inte påverkar hastigheten i vågrät riktning.

Låt oss ställa upp uttryck för den tid det tar för pulserna att göra färderna.

$$(s = v \cdot t \Rightarrow t = s/v)$$

$$t_A = S/(c + x) + S/(c - x) = (S(c - x) + S(c + x))/(c^2 - x^2) = (2Sc)/(c^2 - x^2)$$

$$t_B = 2S/c$$

Nu ser vi på förhållandet  $t_A/t_B$ :

$$t_A/t_B = ((2Sc)/(c^2 - x^2))/(2S/c) = c^2 / (c^2 - x^2)$$

och finner att täljaren måste vara större än nämnaren, alltså är  $t_A$  större än  $t_B$  vilket leder till slutsatsen att B kommer att komma tillbaka snabbare än A om eter finns.

