



Vadsbogymnasiet

Att approximera ljusets hastighet

- *En undersökning av den moderna fysikens viktigaste konstant*

Petter Ryberg och Niklas Zimka

Vadsbogymnasiet
Naturvetenskapliga programmet

Förord

Så var det här arbetet till ända! Hårt jobb, många sena kvällar och mycket slit ligger bakom denna rapport som sammanfattar mycket av det vi lärt oss under vår tid på Vadsbogymnasiet. Det har varit en lång resa och därför känns det nu skönt att snart kunna lämna arbetet bakom oss och fokusera på annat under den sista tiden på gymnasiet.

Vi vill framför allt rikta ett stort tack till Sven Bodin och Johan Wallin som agerat handledare under arbetets gång. Tack för snabba svar och ständiga råd kring rapportskrivandet. Även ett stort tack till Gunnar Sporrang, ordförande Mariestads astronomiska klubb, för värdefulla tips, idéer och inspel. Utan det hade den här rapporten inte varit möjlig.

Slutligen vill vi också ge ett varmt tack till Werner Herthnek för många intressanta samtal och diskussioner. Få människor brinner så starkt för astronomi och besitter samma outtröttliga engagemang. Tack.

Petter Ryberg & Niklas Zimka, 17/3–24

Sammanfattning

Att approximera ljusets hastighet

-En undersökning av den moderna fysikens viktigaste konstant

Petter Ryberg, Niklas Zimka

Antal sidor: 26

The purpose of this essay is to investigate and measure one of the most important constants of modern physics: The speed of light (c). Light is a fascinating phenomenon and since the true nature of it still is a mystery among physicists, it is an interesting topic to explore. The speed of it is one of the limits of our universe and has been discovered to being related to many peculiar phenomena in cosmos, such as time dilation and length contraction.

The method in center for approximating the speed of light in this essay was one of the first ways of measuring it, used by Danish astronomer Ole Rømer in 1676. It is based on observing the orbit of the innermost moon of Jupiter, Io, in different times of the year. Since the speed of light is constant, the time of the orbit will vary when Jupiter is moving towards and away from the Earth. The difference in time and distance can then be used to calculate the speed of light.

The result of the calculations based on the observations of the examination was quite off the actual speed of light. However, that can be explained by astronomical events such as airglow and light pollution who causes small errors in the time measurements. The conclusion of the essay is therefore, vastly simplified, that the speed of light can be approximated quite poorly through own observations and calculations.

Innehåll

1. Introduktion	6
1.1 Syfte	7
1.2 Frågeställning	7
2. Bakgrund	7
2.1 Några definitioner	7
2.2 Tidigare forskning	10
3. Metod	12
4. Resultat.....	16
5. Slutsats	19
6. Diskussion	20
6.1 Metoddiskussion.....	20
6.2 Resultatdiskussion	21
7. Källor.....	22
7.1 Källförteckning.....	22
7.2 Källanalys.....	24

1. Introduktion

Hur litet kan något vara? Hur kallt kan ett föremål bli? Hur snabbt går det egentligen att färdas? Det är några av de frågor som ställts av vetenskapsmän och filosofer genom hela mänsklighetens historia och som ligger till grund för vår förståelse av universum.

Nyfikenheten på frågor som dessa och vilka andra begränsningar som finns i den värld vi lever i är såväl grundläggande drag i människans natur som fundamentala för vetenskapen.

Detta gymnasiearbete kommer kretsa kring just en sådan typ av fråga, nämligen frågan om hur snabbt ett föremål egentligen kan färdas. Idag är det allmänt känt att den största hastigheten varmed något kan förflyttas är ljusets hastighet, vars värde är cirka 300 000 kilometer per sekund, men så har det inte alltid sett ut. Värdet på ljusets hastighet var länge något som ansågs vara oändligt och det var först under 1600-talet som ett någorlunda överensstämmande närmevärde uppmättes¹. Det har också inom forskarvärlden länge funnits utbredda diskussioner kring huruvida ljus egentligen består av partiklar eller vågor och det är först på senare år som man fått acceptera att det har en sorts dubbelnatur² och alltså kan uppträda på båda sätten. Dessutom fick man år 1905, då Albert Einstein (1879 – 1955³) publicerade sin så kallade speciella relativitetsteori, klart för sig att ljusets hastighet inte bara är hastigheten hos ljus utan också en fullständigt grundläggande egenskap hos tid och rum.

Kort sagt kan man säga att ljusets hastighet länge varit föremål för diskussion inom forskarvärlden och det är också just därför som det är ett så fascinerande ämne att undersöka och ta reda på mer om. För att få en känsla för ljushastighetens storlek är det också intressant att själv försöka approximera den, vilket är precis vad undersökningen i centrum för denna rapport kommer handla om. Hur har man gjort för att mäta ljushastigheten historiskt, och går det att använda de metoderna för att själv få fram ett någorlunda överensstämmande värde på hastigheten? Vilka felkällor finns och i vilken utsträckning påverkar de slutresultatet? Det är några av de frågor rapporten kommer utgå ifrån.

¹ Illustrerad vetenskap, *Vad är ljusets hastighet och hur räknade man ut den?* <https://illvet.se/fysik/ljusets-hastighet-hur-kom-man-fram-till-den> (mars 2015).

² Forskning & Framsteg, *Ljusets dubbla natur*, <https://fof.se/artikel/2002/1/ljusets-dubbla-natur/>, Hans Starnberg (2002)

³ Nationalencyklopedin, *Albert Einstein*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/albert-einstein>, Bengt E. Y. Svensson (hämtad 26/11–23)

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att försöka få fram ett så precist närmevärde till ljushastigheten i vakuum som möjligt genom observationer och försök. Detta för att få en bättre uppfattning om ljushastighetens storlek och hur man går till väga för att uppmäta fysikaliska konstanter.

1.2 Frågeställning

Hur precist kan man genom enkla observationer och försök approximera ljushastigheten i vakuum?

2. Bakgrund

Bakgrunden till rapporten kommer bestå av två delar. Först kommer en redogörelse för de två gängse sätten att definiera det centrala fysikaliska begreppet hos rapporten, nämligen ljushastigheten. Därefter presenteras det noggrannare hur ljushastigheten uppmätts historiskt samt tidigare forskning i ämnet.

2.1 Några definitioner

Den här rapporten kommer som omnämnt kretsa kring hur man approximerar ljushastigheten, men för att kunna göra det måste det först finnas förståelse för vad det egentligen är man försöker mäta och hur ljushastigheten definieras. Det är nämligen något som förändrats genom historien och än idag finns det flera sätt att definiera vad som egentligen avses med begreppet.

Det självklara svaret på hur man definierar ljushastigheten är givetvis att det är hastigheten hos ljus, ett värde som i vakuum exakt uppmätts till $299\,792\,458\text{ m/s}^4$. Detta värde är en fysikalisk konstant (beteckning c) som används i en mängd samband i olika sammanhang inom fysiken, exempelvis i Einsteins berömda formel

$$E = mc^2$$

vilken visar sambandet mellan ett objekts energi (E) och massa (m). För att även klargöra vad som egentligen menas med termen "ljus" kan man kort definiera det som de frekvenser av elektromagnetisk strålning som är synliga för det mänskliga ögat⁵. Elektromagnetisk

⁴Nationalencyklopedin, *Ljushastigheten*,

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/ljushastigheten> (hämtad 3/12–23)

⁵Nationalencyklopedin, *Ljus*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/ljus>, Carl Nordling, professor i atom- och molekylfysik (hämtad 4/12–23)

strålning, i sin tur, kan kort förklaras som överföring av energi i form av en vågrörelse⁶. Elektromagnetiska vågor kan svänga olika snabbt (ha olika frekvens) och därigenom får de även olika energi. Exempel på elektromagnetisk strålning med annan frekvens än det synliga ljuset är radiovågor, mikrovågor och röntgenstrålning.

Vågorna som utgör den elektromagnetiska strålningen kan emellertid också i vissa sammanhang beskrivas som kvantiserade partiklar, så kallade fotoner, och därför har elektromagnetisk strålning både våg- och partikelegenskaper. Sambandet mellan en fotons energi och dess frekvens fås enligt sambandet

$$E = hf$$

där f betecknar vågornas frekvens och h är en konstant⁷ med det ungefärliga värdet $6,6261 \times 10^{-34}$. Detta brukar, som omnämnt i introduktionen, kallas för att ljuset har en dubbel natur.

Ljushastigheten kan emellertid också förklaras på andra sätt än att det enbart är hastigheten hos elektromagnetisk strålning. En person som förändrade synen på ljushastigheten och som grundligt utforskade dess natur var Albert Einstein som år 1905 publicerade sin så kallade speciella relativitetsteori, en teori som till stor del kretsar kring ljushastigheten. Den var för sin tid kontroversiell och medförde att man fick omvärdera det som tidigare varit känt kring begrepp som massa, hastighet och tid inom fysiken. Einstein presenterade nämligen en modell av universum med fyra olika dimensioner, där han utöver det tredimensionella rum vi lever i betraktade tiden som en fjärde dimension. Dessa fyra dimensioner utgör tillsammans det som senare kommit att kallas för rumtiden⁸ och utgör enligt relativitetsteorierna det universum vi lever i.

Grundprinciperna för den speciella relativitetsteorin och dess betydelse för definitionen av ljushastigheten skildras på ett pedagogiskt sätt i fysikern Brian Greenes bok *Ett utsökt universum* (1999) och det är därifrån som fakta presenterat i följande stycken hämtats. Greene går i boken bland annat in på hur den speciella relativitetsteorin säger att vissa grundläggande egenskaper hos ett objekt påverkas av vilken hastighet varmed objektet förflyttas. Ett exempel på det är hur tiden går långsammare desto snabbare objektet rör sig, en effekt som brukar kallas tidsdilatation. Tidsdilatationen hos ett föremål kan beräknas med formeln

⁶Nationalencyklopedin, *Elektromagnetisk strålning*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/elektromagnetisk-str%C3%A5lning>, Carl Nordling, professor i atom- och molekylfysik (hämtad 4/12–23)

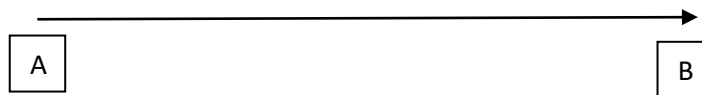
⁷Nationalencyklopedin, *Plancks konstant*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/plancks-konstant> (hämtad 6/2–24)

⁸Wikipedia, *Rumtiden*, <https://sv.wikipedia.org/wiki/Rumtid> (hämtad 6/2–24)

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

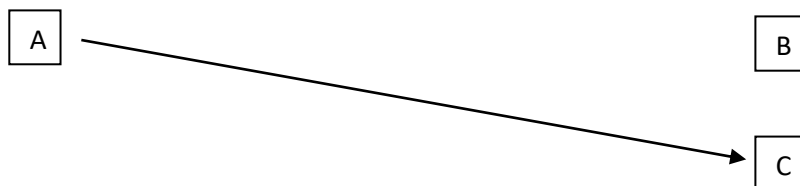
där t är tiden som en stillastående observatör uppmäter, t_0 är tiden en observatör i föremålet uppmäter och v är hastigheten hos föremålet. Bakgrunden till tidsdilatationen och det faktum att tiden verkar gå långsammare desto högre fart ett föremål förflyttas med är en följd av en av Einsteins upptäckter i den speciella relativitetsteorin: att rörelse *delas* mellan olika dimensioner.

Låt oss klargöra detta med ett exempel. Låt säga att en löpare springer över ett fält, längs en rätlinjig sträcka från punkt A till B med farten 3 m/s.



Exempel 1

Skulle löparen i stället med samma hastighet springa snett framåt från punkt A till punkt C skulle banan snarare få följande utseende:



Exempel 2

En högst naturlig följd av detta blir att tiden det tar för löparen att förflyttas från ena sidan av fältet till den andra ökar, något som är en följd av att denne gjort en tvådimensionell rörelse i stället för en endimensionell såsom i *Exempel 1*. Skulle löparen dessutom röra sig i den tredje rumsdimensionen, vertikalt, skulle tiden öka ytterligare. Slutsatsen blir följaktligen att desto fler dimensioner som ”delar” på löparens rörelse, desto långsammare tycks vederbörande röra sig. Detta eftersom hastigheten fördelas på fler dimensioner; i *Exempel 2* används en del av löparens hastighet på 3 m/s till en förflyttning vertikalt i stället för endast horisontellt. Detta medför att sträckan blir längre, något som vid rörelse med konstant hastighet medför att tiden blir längre enligt sambandet

$$t = \frac{s}{v}$$

där t representerar tiden, s är sträckan och v är hastigheten hos löparen.

Tidigare har det emellertid konstaterats att vår verklighet, rumtiden, enligt speciella relativitetsteorin inte enbart består av våra tre rumsdimensioner utan också en fjärde dimension – tiden. Eftersom Einstein upptäckte att rumtidens dimensioner kan dela på en och samma rörelse så medför det att det inte enbart är våra tre rumsdimensioner som delar på rörelse såsom den i *Exempel 1* och *Exempel 2*; även tiden delar på denna rörelse. Det vill säga, desto snabbare ett föremål rör sig i rummet, desto långsammare rör det sig i tiden. Vid den högsta möjliga rumsliga hastigheten – ljushastigheten – står tiden still. Skulle ett föremål å andra sidan röra sig långsamt i rummet så ökar föremålets hastighet enligt Einstein i tidsdimensionen och föremålet åldras därmed snabbare.

Enligt Greenes redogörelser av Einsteins upptäckt så rör sig allt i universum med en och samma ”hastighet”, nämligen ljushastigheten. Skillnaden mellan olika objekt är hur hastigheten fördelas mellan rums- respektive tidsdimensionen. En foton rör sig långsammare i tiden (inte alls) än en löpare på jorden, för att dess rumsliga hastighet är så markant mycket högre. På motsvarande sätt tickar tiden på för löparen medan förflyttningen i rummet är betydligt mindre. Poängen är dock att fotonens och löparens respektive hastighet genom tid och rum sammanlagt är densamma. Denna hastighet är således en mycket grundläggande egenskap hos rumtiden och är när ett föremål enbart rör sig genom rummet, men står stilla i tiden, det som brukar benämnas ljushastigheten.

2.2 Tidigare forskning

Ljushastigheten är något som försökt uppmätas av vetenskapsmän i hundratals år, även om tillvägagångssättet självklart ändrats genom åren då forskningen gått framåt och mätverktygen blivit mer precisa. En av de första som gjorde ett försök att uppmäta ljushastigheten sägs vara astronomen Galileo Galilei⁹ (1564–1642), som på 1600-talet utformade ett experiment¹⁰ med två försökspersoner med var sin lykta. Experimentet gick ut på att personerna placerades en lång sträcka ifrån varandra och att den ena personen därefter blinkade snabbt med sin lykta. Samtidigt som denne gjorde det startades också ett stoppur som pausades åter då person nummer två uppfattat blinkningen och blinkat tillbaka med sin lykta. Galileis idé var tämligen enkel, nämligen att beräkna hastigheten varmed ljuset förflyttades mellan personerna genom

⁹ Wikipedia, *Galileo Galilei*, https://sv.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei (hämtad 6/2–24)

¹⁰University of Groningen, *The speed of light is 392,000,000m/s?* <https://www.rug.nl/sciencelinx/leerlingen/diyscience/proefjes/afleveringennatuurkunde/aflevering011?lang=en>, Ernst Arbouw (hämtad 7/2–24)

att dividera sträckan mellan dem med tiden som uppmättes. Problemet var bara att tiden som uppmättes var samma oavsett hur lång sträckan mellan personerna gjordes och slutsatsen som fick dras var att ljusets hastighet var så hög att den inte gick att mäta med experimentet.

Ett annat försök¹¹ gjordes år 1676 då dansken Ole Rømer försökte mäta ljushastigheten genom observationer av Jupiters innersta måne Io¹². Det var ett experiment som kortfattat gick ut på att mäta skillnaderna i omloppstiden för Io under olika delar av året. Skillnaden beror nämligen på att Jupiter rör sig mot respektive bort från jorden under olika delar av året, en skillnad som ger upphov till att tiden vi på jorden uppmäter som Ios omloppstid varierar. Eftersom man på Rømers tid visste avståndet mellan jorden och Io kunde han använda tidsskillnaden för att beräkna ett närmevärde till ljushastigheten, ett värde som han fick till 226,663 km per sekund (24,4% lägre än det egentliga värdet).

Ytterligare framsteg¹³ gjordes under ett experiment år 1849 då den franska vetenskapsmannen Hippolyte Fizeau¹⁴ (1819–1896) approximerade ljushastigheten till 315 000 km per sekund. Experimentet gick enkelt förklarad ut på att låta ljuset passera genom ett roterande kugghjul med olika öppningar, för att därefter låta det färdas en cirka åtta kilometer lång sträcka till en spegel på vilken det reflekterades tillbaka till kugghjulet. Kugghjulets rotationshastighet anpassades precis för att ljuset skulle passera genom öppningarna och med hjälp av att veta rotationshastigheten samt sträckan till spegeln kunde Fizeau grovt approximera ljushastigheten.

Bara några år senare, 1861, genomfördes stora framsteg¹⁵ inom fysiken då James Clerk Maxwell¹⁶ (1831–1879) ställde upp ett antal ekvationer¹⁷ som än idag används för att beskriva de grundläggande lagarna för elektromagnetismen. Ekvationerna reviderades senare av bland

¹¹American Museum of Natural History, *Ole Roemer and the Speed of Light*, <https://www.amnh.org/learn-teach/curriculum-collections/cosmic-horizons-book/ole-roemer-speed-of-light>, redigerad av Steven Soter (astrofysiker) och Neil deGrasse Tyson (astrofysiker), hämtad 13/2–24

¹²Nationalencyklopedin, *Io*, [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/io-\(jupiter-i\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/io-(jupiter-i)), Hans Helander och Hans Rickman (hämtad 9/2–24)

¹³Spie, utdrag ur *Optical Engineering Fundamentals, Second Edition*, https://spie.org/publications/tt82_25_speed_of_light#, Bruce H. Walker (2009)

¹⁴Nationalencyklopedin, *Hippolyte Fizeau*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hippolyte-fizeau> (hämtad 9/2-24)

¹⁵Science Ready, *Maxwell's Contribution to Electromagnetism*, <https://scienceready.com.au/pages/maxwells-contribution-to-electromagnetism> (hämtad 13/2–24)

¹⁶Nationalencyklopedin, *James Clerk Maxwell*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/james-clerk-maxwell>, Ture Eriksson, fysiker (hämtad 13/2-24)

¹⁷Nationalencyklopedin, *Maxwells ekvationer*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/maxwells-ekvationer>, Bengt Y. E. Svensson (hämtad 13/2–24)

annat Heinrich Hertz och kan idag beskrivas med fyra partiella differentialekvationer, men var mycket viktiga då de konkret matematiskt beskriver elektromagnetiska fenomen. Det var även ur sina ekvationer som Maxwell drog slutsatsen att ljus är en form av elektromagnetiska vågor, då våghastigheten han kunde beräkna med sina ekvationer väl stämde överens med det då experimentellt uppmätta värdet på ljushastigheten. Maxwells formel för våghastigheten, och alltså även ljushastigheten, kan skrivas

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

där μ_0 och ϵ_0 är två magnetiska respektive elektriska proportionalitetskonstanter.

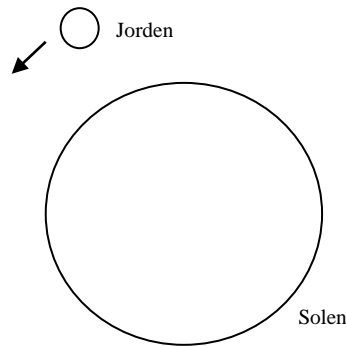
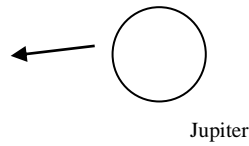
Allt sedan Maxwells stora bidrag till elektromagnetismen har vetenskapen gjort stora framsteg och idag är värdet på ljushastigheten en väldefinierad konstant, bland annat som ett resultat av flera experiment genomförda under 1970-talet¹⁸. Efter att värdet definierades specifikt används det även för att definiera längden på en meter, nämligen som den sträcka ljuset färdas i vakuum på tiden 1/299 792 458 sekund.

3. Metod

Tillvägagångssättet för approximationen av ljushastigheten i denna undersökning bygger på en klassisk metod, nämligen den som Ole Rømer använde sig av redan på 1670-talet. Den går som omnämnt ut på att observera Jupiters innersta måne, Io, och hur dess bana förändras i takt med att relationen mellan jordens och Jupiters rörelser genom rymden förändras. Metodtypen bygger alltså på observationer, och det är resultaten av dem som ligger till grund för slutsatsen. Detta eftersom himlakroppar, och särskilt de som ligger i vårt solsystem, ofta är ljusstarka och därmed enkla att observera. Eftersom det endast är konkreta mätvärden som ska uppmätas kan detta även ske på ett objektivt sätt, vilket ofta inte är fallet under observationer av exempelvis mänskligt beteende.

Observationerna som metoden i denna rapport utgår från bygger på faktumet att Jupiter befinner sig på ett markant längre avstånd från solen än jorden. Därav är radien i dess omloppsbana mycket längre än jordens. Det innebär också att det tar längre tid för Jupiter att kretsa ett varv runt solen än det gör för jorden, då dess omloppshastighet är i samma storleksordning som jordens, samt att jorden i perioder kommer röra sig mot Jupiter medan den i andra perioder kommer röra sig ifrån Jupiter.

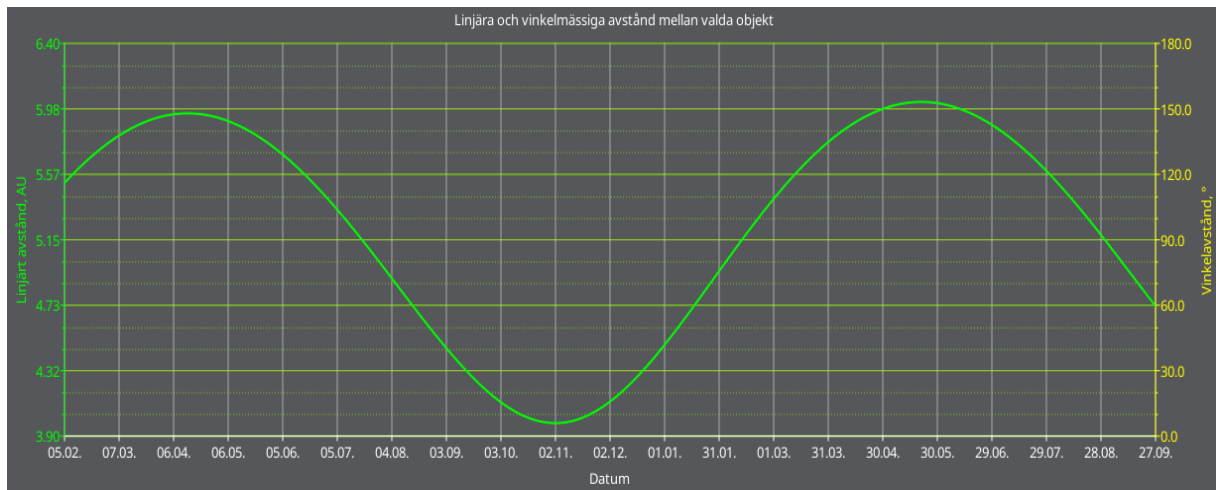
¹⁸ Wikipedia, *Ljusets hastighet*, https://sv.wikipedia.org/wiki/Ljusets_hastighet (hämtad 15/2–24)



Exempel 3

Ovanstående exempel, *Exempel 3*, är ett exempel på en tidpunkt i jordens och Jupiters banor då jorden rör sig bort från Jupiter. På motsvarande sätt hade jorden rört sig mot Jupiter om den befunnit sig på höger sida om Jupiter i figuren. Rømer, som hade tillgång till kartor över jordens respektive Jupiters banor, upptäckte att den uppmätta omloppstiden för Io varierade under olika tidpunkter på året. En situation som den i *Exempel 3*, då jorden rör sig ifrån Jupiter, var förknippad med längre omloppstid hos Io medan en situation då jorden rör sig mot Jupiter var förknippad med kortare omloppstid. Eftersom det inte kan bero på att Ios bana runt Jupiter faktiskt förändras måste det i stället ha att göra med faktumet att ljuset rör sig med en begränsad hastighet genom rymden. Det medför nämligen att tiden det tar för det att nå jorden blir kortare om jorden rör sig mot Jupiter. Detta eftersom sträckan jorden-Io då blir kortare jämfört med om Io stått still i förhållande till jorden.

Avståndsvariationen mellan Jupiter och jorden kan åskådliggöras med en sinusformad graf, exempelvis den i *Figur 1*.



Figur 1¹⁹. Avståndet mellan jorden och Jupiter åskådliggörs med en graf, där x-axeln är graderad med olika datum och y-axeln är graderad med det linjära (enhet AU²⁰) respektive vinkelmässiga (enhet grader) avståndet mellan himlakropparna.

Genom att mäta omloppstiden för Io vid två separata tillfällen, det ena då jorden rör sig bort från Jupiter och det andra då himlakropparna rör sig mot varandra, kommer man tack vare skillnaden i avstånd uppmäta två olika tider för Ios omloppstid. Tiden då jorden rör sig mot Jupiter motsvaras i grafen av de intervall då grafen är avtagande, eftersom det innebär ett minskat avstånd mellan himlakropparna. På samma sätt motsvaras de intervall då grafen är växande av att jorden rör sig bort från Jupiter.

Då två olika omloppstider vid två separata tillfällen uppmätts för Ios bana runt Jupiter, det ena då himlakropparna rör sig bort från varandra och det andra då de rör sig mot varandra, samt då avståndet mellan jorden och Io vid de olika observationerna kollats upp (i den här undersökningen via programvaran *Stellarium*²¹) är beräkningen för ljushastigheten tämligen enkel. Den görs nämligen med hjälp av den klassiska formeln för beräkning av en konstant hastighet

$$v = \frac{s}{t}$$

Hastigheten beräknas genom att ta *skillnaden* i sträcka mellan jorden och Io vid de olika observationerna dividerat med *skillnaden* i tiden uppmätt vid de olika observationerna.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Själva observationerna genomförs genom att med teleskop riktat mot Jupiter notera den tid då Io inträder över Jupiters yta (detta ser med amatörteleskop ut som att en liten ljusprick långsamt inträder över ytan) vid två på varandra följande tillfällen. Tidpunkten då detta

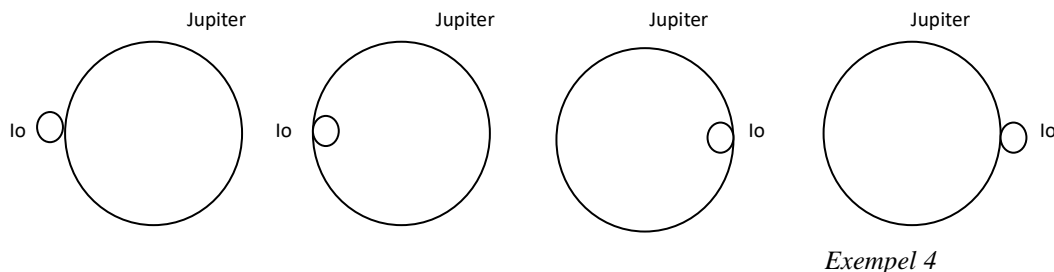
¹⁹Figur hämtad från datorprogrammet *Stellarium*, utvecklat av den franske programmeraren Fabien Chéreau.

²⁰AU är ett längdmått som är vanligt förekommande i rymdsammanhang. Det definieras som medelavståndet mellan jorden och solen och är således detsamma som cirka 150 miljoner kilometer.

²¹För mer information kring programvaran: <https://stellarium.org/>

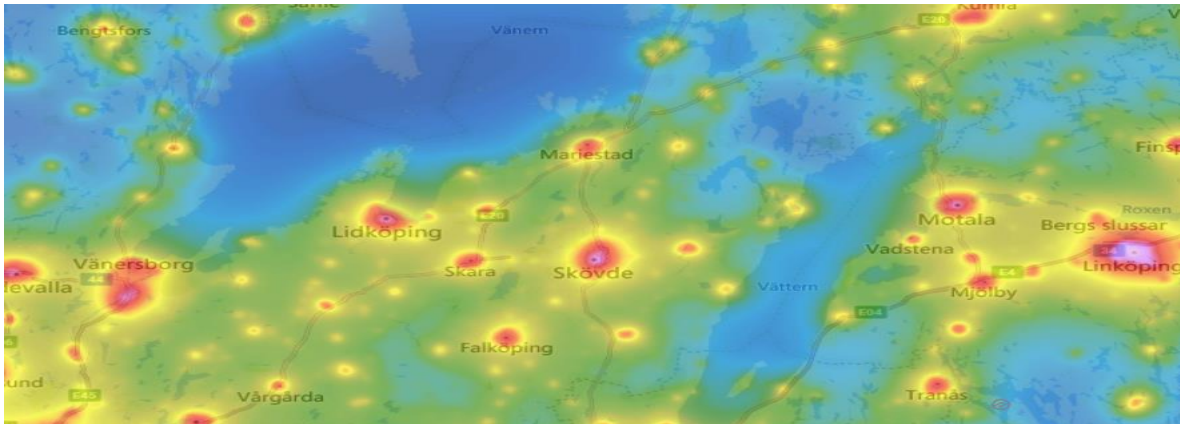
inträffar varierar från dag till dag, eftersom Ios omloppstid är cirka 1,8 jorddygn²², men kan tas reda på genom data från exempelvis *Stellarium*. Den uppmätta omloppstiden bestäms sedan genom att notera hur lång tid som förflutit mellan det att Io inträtt över Jupiterytan första och andra mätningen.

För att få ett så precist resultat som möjligt är det adekvat att uppmäta flera olika mätvärden vid en och samma observation, för att inte enbart förlita sig på ett värde. I det här fallet kan detta göras genom att notera tiden vid flera tillfällen i Ios färd över Jupiterskivan, exempelvis då Io kommer i kontakt med Jupiter, då den är helt ”inne” över Jupiter, då den är på väg att ”lämna” Jupiter samt då den är helt ”ute” ur Jupiter. På så vis får man efter mätningen fyra olika uppmätta omloppstider, och kan genom att beräkna deras medelvärde få ett så exakt värde på omloppstiden som möjligt.



För att få så bra mätvärden som möjligt är det också viktigt att tidpunkten för observationerna väljs med hänsyn till en mängd faktorer. Självklart måste det vara så molnfritt som möjligt för att undvika att molnen skymmer Jupiter på natthimlen. Mätningarna genomförs också med fördel på en från civilisationen avlägsen plats för att minimera risken att luft- och ljusföroreningar skymmer natthimlen. Eftersom observationerna blir bättre desto mörkare himlen är, vilket i sin tur beror på att stjärnorna då blir tydligare, är observationerna bäst att genomföra under vinterhalvåret.

²²Nationalencyklopedin, *Io*, [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/io-\(jupiter-i\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/io-(jupiter-i)) (hämtad 22/2-24)



Figur 2. Karta²³ över mängden ljusföroreningar i Skaraborgregionen.

Eftersom den ena omloppstidsbestämningen måste genomföras då jorden rör sig bort från Jupiter och den andra då jorden rör sig mot Jupiter måste en viss tid passera mellan observationstillfällena för att de ska bli korrekta. Ett bra sätt att bestämma adekvata tillfällen för dessa är att använda sig av en tabell eller graf som visar hur avståndet mellan jorden och Jupiter varierar, exempelvis *Figur 1*.

Att som amatörastronom urskilja Jupiter på natthimlen är enkelt då planeten är ljusstark och klar (den går alltså med lätthet att se med blotta ögat). För att hitta planeten med teleskopet kan antingen teleskopets inbyggda funktion för att hitta objekt på natthimlen användas, och om någon sådan inte finns kan man använda sig av stjärnkartor eller en programvara. Ett exempel på det är *Stellarium*, som tydligt visar objekten och deras namn på natthimlen och gör det enkelt att navigera bland stjärnorna, planeterna och constellationerna på den riktiga natthimlen.

Teleskopet som används för observationerna behöver vara tillräckligt starkt för att det ska gå att urskilja detaljer kring Jupiter, exempelvis dess största månars färd kring planeten (där bland annat Io ingår). Det får emellertid heller inte vara så starkt att hela planeten inte syns i linsen samtidigt. En optikdiameter på mellan 70 och 100 millimeter är att föredra.

4. Resultat

Följande tabell redovisar resultatet av observationerna då jorden var på väg *mot* Jupiter, hädanefter benämnt observationstillfälle 1. Observera även att resultaten korrigerades marginellt med data från programvaran *Stellarium* för att få mer korrekta mätvärden (mer

²³ Karta hämtad från webbplatsen

<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=7.32&lat=58.8117&lon=13.9604&state=eyJiYXNlbnRwFwIjojTGZlZlJCaW5nUm9hZCIsIm92ZXJsYXkiOiJ3YV8yMDE1liwib3ZlcmxheWVnbG9yIjpmYWxzZSwib3ZlcmxheW9wYWNpdHkiOiJYwLCjZWF0dXJlc29wYWNpdHkiOiJ1fQ==>

information om detta finns under rubriken ”resultatdiskussion”). Detta på grund av bristande väderförhållanden under observationerna.

<i>Observationstillfälle 1</i>			
<i>Observation 1 – 06/10 2023</i>		<i>Observation 2 – 7–8/10 2023</i>	
Avstånd jorden – Jupiter (AU)	4,090	Avstånd jorden – Jupiter (AU)	4,073
(1) Tid då Io kommer i kontakt med Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	04:33:05	(1) Tid då Io kommer i kontakt med Jupiterskivan:	22:58:10
(2) Tid då Io är helt inne i Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	04:35:42	(2) Tid då Io är helt inne i Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	23:01:04
(3) Tid då Io kommer är på väg att lämna Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	06:39:20	(3) Tid då Io kommer är på väg att lämna Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	01:06:53
(4) Tid då Io är helt ute ur Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	06:42:30	(4) Tid då Io är helt ute ur Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	01:08:37

Utifrån data i ovanstående tabell kan följande omloppstider beräknas genom att notera skillnaden i tid mellan observation 1 respektive 2 för Ios olika positioner:

<i>Observationstillfälle 1</i>	
Omloppstid 1 (sekunder)	152 705
Omloppstid 2 (sekunder)	152 722
Omloppstid 3 (sekunder)	152 853
Omloppstid 4 (sekunder)	152 767
Avståndsskillnad Jorden – Jupiter mellan observation 1 och 2 (AU)	0,017

För att få fram en så korrekt omloppstid som möjligt med data i ovanstående tabeller beräknas ett medelvärde av de fyra olika uppmätta omloppstiderna.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_i = \frac{1}{4} (152\,705 + 152\,722 + 152\,853 + 152\,767) \approx 152\,762$$

μ : medelvärdet

n : antalet mätvärden

152 762 sekunder är ekvivalent med **1 dag, 18 timmar, 26 minuter och 2 sekunder**, vilket alltså är den uppmätta omloppstiden för Io vid observationstillfälle 1.

Följande tabell redovisar resultatet av observationerna då jorden var på väg från Jupiter, hädanefter benämnt observationstillfälle 2. Observera dock att observation 2 delvis genomfördes digitalt via programvaran *Stellarium* på grund av bristande väder- och synlighetsförhållanden för Jupiter.

<i>Observationstillfälle 2</i>			
<i>Observation 1 – 09/3 2024</i>		<i>Observation 2 – 11/3 2024</i>	
Avstånd jorden – Jupiter (AU)	5,530 AU	Avstånd jorden – Jupiter (AU)	5,553
(1) Tid då Io kommer i kontakt med Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	20:07:39	(1) Tid då Io kommer i kontakt med Jupiterskivan:	14:35:25
(2) Tid då Io är helt inne i Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	20:10:48	(2) Tid då Io är helt inne i Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	14:38:12
(3) Tid då Io kommer är på väg att lämna Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	22:18:39	(3) Tid då Io kommer är på väg att lämna Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	16:45:51
(4) Tid då Io är helt ute ur Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	22:19:59	(4) Tid då Io är helt ute ur Jupiterskivan (timmar, minuter, sekunder)	16:48:01

Utifrån data i ovanstående tabell kan följande omloppstider beräknas genom att notera skillnaden i tid mellan observation 1 respektive 2 för Ios olika positioner.

<i>Observationstillfälle 2</i>	
Omloppstid 1 (sekunder)	152 866
Omloppstid 2 (sekunder)	152 844
Omloppstid 3 (sekunder)	152 832
Omloppstid 4 (sekunder)	152 882
Avståndsskillnad Jorden – Jupiter mellan observation 1 och 2 (AU)	0,023

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_i = \frac{1}{4} (152\,866 + 152\,844 + 152\,832 + 152\,882) \approx 152\,856$$

152 856 sekunder är ekvivalent med **1 dag, 18 timmar, 27 minuter och 36 sekunder**, vilket alltså är den uppmätta omloppstiden för Io vid observationstillfälle 2.

Omloppstid observationstillfälle 1 (sekunder)	152 762
Omloppstid observationstillfälle 2 (sekunder)	152 856
Avståndsskillnad Jorden – Jupiter observationstillfälle 1 (AU)	0,017
Avståndsskillnad Jorden – Jupiter observationstillfälle 2 (AU)	0,023

Att jorden rört sig 0,017 AU närmare Jupiter under observationstillfälle 1 samt 0,023 AU ifrån Jupiter under observationstillfälle 2 har alltså givit upphov till att den uppmätta omloppstiden ökat från 152 762 sekunder till 153 013 sekunder.

Skillnad i tid:

$$\Delta t = 152\,856 - 152\,762 = 94$$

Skillnaden i tid beror som tidigare nämnt på att sträckan mellan jorden och Jupiter inte varit samma under de båda observationstillfällena, till följd av himlakropparnas rörelser genom rymden. Eftersom jorden rört sig sammanlagt

$$\Delta s_{totalt} = 0,023 + 0,017 = 0,04$$

AU bort från respektive mot Jupiter är det denna variation i sträcka som givit upphov till skillnaden i den uppmätta omloppstiden.

0,04 AU är ekvivalent med 5 983 915 kilometer.

Ljushastigheten, mätt i kilometer per sekund, beräknas nu med hjälp av avstånds- och tidsskillnaden.

$$v = \frac{\Delta s_{totalt}}{\Delta t} = \frac{5\,983\,915}{94} = 63\,659$$

vilket är resultatet av observationerna.

5. Slutsats

Givet att det korrekta värdet på ljushastigheten är cirka 300 000 kilometer per sekund är inte resultatet av observationerna att betrakta som precist. 63 659 km/s är endast cirka 21,2 procent av det egentliga värdet. Svaret på rapportens frågeställning - hur precist man genom enkla observationer och försök kan approximera ljushastigheten i vakuum – blir således att den inte går att approximera särskilt precist.

6. Diskussion

Under detta avsnitt kommer såväl metoden som resultatet diskuteras.

6.1 Metoddiskussion

Det finns mycket att säga om rapportens metod. För det första kan det konstateras att frågeställningens formulering - hur precist man genom *enkla* observationer och försök kan approximera ljushastigheten i vakuum – direkt säger något om metodvalet, nämligen att det inte får vara för avancerat. Detta är en medveten formulering då korrekta approximationer av så höga hastigheter som ljusets kräver högteknologisk och hyperavancerad utrustning, något som givet den ekonomiska ramen för undersökningen inte var ett alternativ. Därför behövde metodvalet vara av sådan art att det trots de ekonomiska begränsningarna ändå skulle ha potential att ge upphov till ett någorlunda precist resultat.

Eftersom ljuset rör sig med en extrem hastighet och avstånden som finns på jorden i jämförelse är mikroskopiska krävs det som sagt svårtillgänglig, avancerad och dyr utrustning för att approximera hastigheten på jorden. I rymden, däremot, är avstånden så pass enorma att det även för ljuset tar lång tid att färdas mellan olika himlakroppar. De tiderna är betydligt enklare att mäta och basera ett resultat på, vilket är varför undersökningen grundar sig i astronomiska observationer.

Astronomiska observationer kräver emellertid också utrustning, nämligen teleskop. Dessa är inte sällan både dyra och otympliga och såväl priset som storleken ökar i takt med att upplösningen förbättras. Därför lämpade sig observationer av himlakroppar relativt nära jorden väl för metoden, givet att närheten gör att teleskopet inte behöver vara lika kraftfullt. Att just planeten Jupiter passar bra som observationsobjekt grundar sig just i det, nämligen att planeten ligger nära jorden och därmed är ljusstark och enkel att observera. Dessutom innebär dess månars rörelser runt planeten att det finns något konkret att mäta för att bestämma ljushastigheten, nämligen deras variationer i tid och sträcka i förhållande till jorden.

I efterhand kan man också konstatera att metodvalet medförde stora utmaningar vad gäller möjligheterna att genomföra de observationer som behövdes. För att kunna göra en mätning krävs bland annat:

1. Att väderförhållandena är korrekta, vilket framför allt innebär att det är molnfritt i så hög utsträckning som möjligt vid observationsplatsen.

2. Att platsen för observationen är adekvat. En från civilisationen avlägsen plats är att föredra då exponeringen för ljusföroreningar behöver minimeras. Desto mindre ljus från mänsklig aktivitet som påverkar natthimlen, desto bättre (det blir då enklare att urskilja objekt på natthimlen vilket i synnerhet är nödvändigt vid observationer av så pass små himlakroppar som Io).
3. Att tiden för Ios passage över Jupiterytan sker nattetid här på jorden. Eftersom Ios omloppstid är cirka 1,8 jorddygn framträder den över Jupiter vid oregelbundna tider på jorden. Det kan således hända att Io framträder över Jupiter då det är dag på jorden, vilket naturligtvis medför att en observation från jorden blir en omöjlighet.
4. Att observationerna genomförs under rätt tid på året. Eftersom två olika omloppstider för Io behöver uppmätas, då jorden är på väg såväl mot som bort ifrån Jupiter, kan observationerna inte ske när som helst. Datumen för observationerna måste nog väljas och för ett adekvat resultat ska det gärna gå minst tre månader mellan dessa.
5. Att Jupiter är synlig på himlen. Under vissa perioder under året är Jupiter bara synlig några timmar per dygn på himlen, vilket försvårar observationer av Io.

På grund av alla dessa utmaningar var det synnerligen svårt att hitta datum då observationerna kunde genomföras. Detta blev ännu svårare på grund av väderförhållandena då observationerna skulle genomföras (hösten 2023 – våren 2024), då det under denna period förekom ovanligt få molnfria kvällar.

Med bakgrund i det har tre av fyra observationer delvis genomförts via programvaran *Stellarium*, som visar en natthimmel i realtid och alltså kan användas för att genomföra astronomiska observationer. Detta genom att i programvaran notera tiderna då Io framträder över Jupiterytan i stället för att göra det genom ett teleskop. Självklart var detta inte ursprungstanken med experimentet men tyvärr en nödvändighet för att erhålla ett resultat.

6.2 Resultatdiskussion

Undersökningens resultat är baserat på de totalt fyra observationer som genomförts inom ramen för arbetet; två för att mäta Ios omloppstid då jorden är på väg från Jupiter, och två för att mäta omloppstiden då jorden är på väg mot Jupiter. Dessa observationer resulterade i mätvärden som gjorde att ljushastigheten kunde beräknas till runt 63 000 km/s, vilket är relativt långt ifrån det egentliga värdet på 300 000 km/s.

Det finns emellertid mycket att säga om resultatet. Som omnämnt under föregående rubriker var väderförhållandena vid tiden för observationerna anmärkningsvärt dåliga, vilket gjorde att

tiderna vid de tre sista observationerna korrigerades med data från programmet *Stellarium*. Tiderna som uppmättes vid den sista observationen togs helt från *Stellarium* då synlighetsförhållandena omöjliggjorde en fysisk observation.

Orsakerna till att resultatet blev så pass långt ifrån det egentliga värdet på ljushastigheten kan tänkas vara många. Det finns många atmosfäriska fenomen som kan påverka, exempelvis så kallat Airglow²⁴ vilket innebär att natthimlen aldrig blir helt mörk på grund av ljus som atmosfären utsöndrar. Dessutom gör så kallade ljusföroreningar, det vill säga ljus från mänsklig aktivitet, att natthimlen aldrig blir helt mörk. Även det är något som gör det svårt att göra helt korrekta mätningar.

Givet att det krävs mätningar med sekundnoggrannhet för att uppmäta korrekta tider för Ios passage är det, särskilt med ovannämnda atmosfäriska distraktionsmomenten tagna i beaktande, inte konstigt att resultatet inte blev helt korrekt. Detta förstärks av att mätningarna korrigerades med data från *Stellarium*, eftersom platsen för de fysiska observationerna inte nödvändigtvis är samma som de i programmet. Två olika observationsplatser medför att avståndet till Jupiter och Io inte är helt samma, vilket kan tänkas ha en påverkan på resultatet.

En positiv aspekt med resultatet var dock att det under observationerna noterades fyra olika tider för Ios position över Jupiter, vilket resulterade i fyra olika omloppstider. Det minskade felkällornas påverkan, eftersom felet fördelas på fyra olika tider av vilka ett medelvärde drogs. Medelvärdet kan således antas vara mindre påverkat av felkällorna än de fyra enskilda omloppstiderna som uppmättes via teleskopet och *Stellarium*.

7. Källor

Under detta avsnitt finns en fullständig källförteckning samt en analys utifrån äkthets-, tids-, beroende- samt tendenskriteriet av en av källorna.

7.1 Källförteckning

Internet:

1. American Museum of Natural History, *Ole Roemer and the Speed of Light*, <https://www.amnh.org/learn-teach/curriculum-collections/cosmic-horizons-book/ole-roemer-speed-of-light>, redigerad av Steven Soter (astrofysiker) och Neil deGrasse Tyson (astrofysiker), hämtad 13/2–24

²⁴Wikipedia, *Airglow*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Airglow> (hämtad 1/3-24)

2. Forskning & Framsteg, *Ljusets dubbla natur*, <https://fof.se/artikel/2002/1/ljusets-dubbla-natur/>, Hans Starnberg (hämtad 23/11–23)
3. Illustrerad vetenskap, *Vad är ljusets hastighet och hur räknade man ut den?* <https://illvet.se/fysik/ljusets-hastighet-hur-kom-man-fram-till-den> (hämtad 22/11–23).
4. Nationalencyklopedin, *Albert Einstein*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/albert-einstein>, Bengt E. Y. Svensson (hämtad 26/11–23)
5. Nationalencyklopedin, *Elektromagnetisk strålning*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/elektromagnetisk-str%C3%A5lning>, Carl Nordling, professor i atom- och molekylfysik (hämtad 4/12–23)
6. Nationalencyklopedin, *Hippolyte Fizeau*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hippolyte-fizeau> (hämtad 9/2-24)
7. Nationalencyklopedin, *Io*, [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/io-\(jupiter-i\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/io-(jupiter-i)), Hans Helander och Hans Rickman (hämtad 9/2–24)
8. Nationalencyklopedin, *James Clerk Maxwell*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/james-clerk-maxwell>, Ture Eriksson, fysiker (hämtad 13/2–24)
9. Nationalencyklopedin, *Ljushastigheten*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/ljushastigheten> (hämtad 3/12–23)
10. Nationalencyklopedin, *Ljus*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/ljus>, Carl Nordling, professor i atom- och molekylfysik (hämtad 4/12–23)
11. Nationalencyklopedin, *Maxwells ekvationer*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/maxwells-ekvationer>, Bengt Y. E. Svensson (hämtad 13/2–24)
12. Nationalencyklopedin, *Plancks konstant*, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/plancks-konstant> (hämtad 6/2–24)

13. Science Ready, *Maxwell's Contribution to Electromagnetism*,
<https://scienceready.com.au/pages/maxwells-contribution-to-electromagnetism> (hämtad 13/2–24)
14. Spie, utdrag ur *Optical Engineering Fundamentals, Second Edition*,
https://spie.org/publications/tt82_25_speed_of_light#_, Bruce H. Walker (2009)
15. University of Groningen, *The speed of light is 392,000,000m/s?*
<https://www.rug.nl/sciencelinx/leerlingen/diyscience/proefjes/afleveringennatuurkunde/aflevering011?lang=en>, Ernst Arbouw (hämtad 7/2–24)
16. Wikipedia, *Airglow*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Airglow> (hämtad 1/3-24)
17. Wikipedia, *Galileo Galilei*, https://sv.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei (hämtad 7/2–24)
18. Wikipedia, *Ljusets hastighet*, https://sv.wikipedia.org/wiki/Ljusets_hastighet (hämtad 18/2–24)
19. Wikipedia, *Rumtiden*, <https://sv.wikipedia.org/wiki/Rumtid> (hämtad 6/2–24)

Litteratur:

Brian Greene (2001). *Ett utsökt universum*. 1 uppl., Norstedts förslag.

Översättare: Hans-Uno Bengtsson

7.2 Källanalys

Inom ramen för arbetet kommer en källkritisk granskning av Nationalencyklopedins faktasida om Albert Einstein ingå, <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/albert-einstein>.

Äkthetskriteriet: Äkthetskriteriet är ett källkritiskt kriterium som utgår från källans äkthet. Tre relevanta frågor utifrån kriteriet är vem det är som ligger bakom källan, vart den är publicerad och om den kan vara en förfalskning. I det här fallet är det Nationalencyklopedin som utgör källan, vilket är ett svenskt digitalt uppslagsverk. Den angivna upphovsmannen är en person vid namn Bengt Y. E. Svensson, som enligt Wikipedia är professor emeritus i högenergifysik vid Lunds universitet. Därav kan man dra slutsatsen att han har hög kompetens inom sitt ämnesområde, givet att professorstiteln kräver lång och gedigen utbildning och erfarenhet, men det betyder inte nödvändigtvis att han har adekvat kunskap för att författa just den här artikeln. Den handlar ju om Albert Einstein som person vilket med

tanke på den långa tid som förflutit sedan han levde kanske snarare hade krävt en historiker som skribent.

Å andra sidan är Nationalencyklopedin att betrakta som en trovärdig källa då det är Sveriges nationella uppslagsverk och regelbundet granskas av experter på området. Faktasidan om Albert Einstein är hämtad från dess webbsida där det inte finns några indikationer på att det skulle röra sig om en förfalskning. Dessutom är det givet källans ställning som nationellt uppslagsverk inte särskilt troligt att den har som syfte att göra reklam för något; syftet är i stället fakta- och kunskapsförmedling. Därför är artikeln oaktat Svenssons eventuellt bristande kunskaper i ämnesområdet att betrakta som tillförlitlig utifrån äkthetskriteriet.

Tidskriteriet: En av de stora nackdelarna med Nationalencyklopedin är att sidan inte anger datumen då deras artiklar uppdaterades senast. Eftersom källor är som mest trovärdiga då de ligger nära i tid till det ämne de behandlar är det utifrån trovärdighetssynpunkt en stor belastning för Nationalencyklopedin att de inte anger när artiklarna uppdaterades senast. Det medför att det inte går att dra en slutsats huruvida källan är trovärdig utifrån tidskriteriet eller inte.

Beroendekriteriet: Källan är att betrakta som en sekundärkälla, då det längst ner i artikeln finns en tydlig litteraturhänvisning varifrån skribenten hämtat informationen. Detta kan betraktas som negativt för källans trovärdighet då information hela tiden vinklas då den går mellan olika led, vilket är varför man i vetenskapliga rapporter huvudsakligen bör använda sig av primärkällor. Detta då en primärkälla inte kan vinklas, eftersom den innehåller information i sitt första led.

Det är också möjligt att källan är en tertiärkälla, eftersom litteraturen som anvisats till inte nödvändigtvis behöver vara primärkällor. Det skulle i så fall ytterligare minska källans trovärdighet utifrån beroendekriteriet, eftersom informationen den innehåller då skulle vinklats och förvrängts i ytterligare ett led.

Tendenskriteriet: Som tidigare omnämnt är Nationalencyklopedin Sveriges nationella uppslagsverk och har som enda syfte att förmedla kunskap. Dessutom används sidan som källa åt en stor del av undervisningen i Sveriges kommuner där den lyfts fram som ett tillförlitligt och oberoende sätt att få tillgång till korrekt fakta.

Å andra sidan bör det poängteras att Nationalencyklopedin är ett företag och därmed finns det även ett vinstintresse, vilket är naturligt eftersom vinst krävs för att driva ett aktiebolag.

Bolagets intäkter kommer huvudsakligen från de privatpersoner och kommuner som innehar betalversioner av uppslagsverket. Eftersom dessa förväntar sig tillförlitlig och säker information i utbyte mot betalningen kan man emellertid anta att kostnaden för att använda tjänsten är något som stärker dess trovärdighet. Skulle informationen i uppslagsverket visa sig vara inkorrekt eller tendentiös skulle färre vara villiga att betala för den och således skulle affärsidén kollapsa. Därför kan man anta att vinstintresset och ägandeformen snarare är något som stärker trovärdigheten än undergräver den, och källan är därför inte att betrakta som tendentiös.