

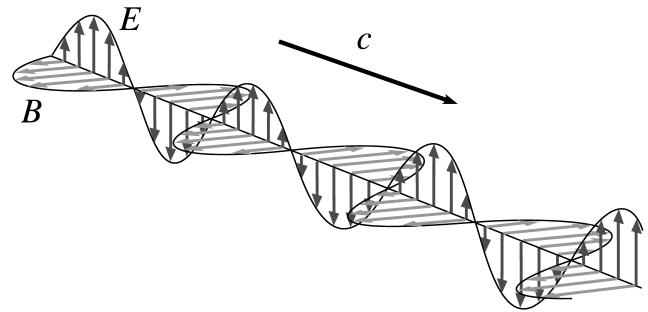
Einstein rider på en ljuspuls

Sören Holst

I populärvetenskapliga sammanhang nämns ibland att Einstein i tidig ålder fantiserade om att rida på en ljuspuls. Men sällan förklaras vad han kan ha fått ut av tankeleken.

Einstein har faktiskt själv beskrivit hur han redan vid 16 års ålder grubblade över ljusets natur. Hur skulle man, frågade han sig, uppfatta de elektromagnetiska fälten, om man färdades intill en ljuspuls med samma fart som den?

Svaret borde ges av Maxwells teori. Det är ju den som säger att ljuset är en elektromagnetisk våg – att det utgörs av ett elektriskt och ett magnetiskt fält som oscillerar i takt. Figuren visar hur det ser ut. Hela fältkonfigurationen rör sig med farten c snett ner åt höger. Om nu Einstein själv färdades med samma fart, borde han uppfatta vågen som stillastående eller “frusen” – på samma sätt som man uppfattar en vattenvåg om man färdades med den. Einstein skulle uppfatta en statisk elektromagnetisk våg.



Problemet är att något sådant inte kan förekomma. En statisk elektromagnetisk våg – en våg där fältstyrkorna varierar i rummet som i figuren ovan men där ingenting förändras i tiden – är förbjuden enligt Maxwells teori. Teorin förutsäger att en sådan fältkonfiguration, om den skulle uppstå, nödvändigtvis måste röra sig med farten c åt det håll som pilen i figuren visar. Skumt, tyckte Einstein.

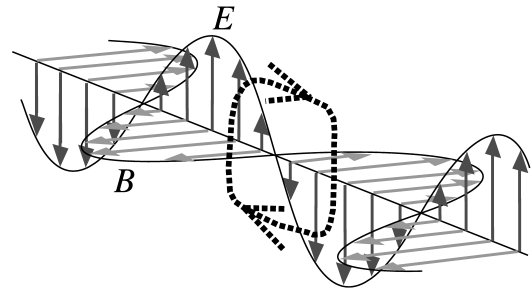
För att se hur problemet uppstår räcker det att betrakta en enda av Maxwells fyra ekvationer, den som brukar kallas Faradays induktionslag. Låt oss påminna oss om vad den säger.

Betrakta en liten sluten kurva (d.v.s. en som kommer tillbaka till utgångspunkten), var som helst i rummet. Följ kurvan ett helt varv runt, och notera för varje punkt på kurvan *projektion av det elektriska fältet E längs med kurvan*. Alltså, i vilken grad det elektriska fältet pekar åt samma håll som kurvans tangent. Lägg slutligen samman alla dessa fältprojektioner. Proceduren kan illustreras med en analogi: om fältet i stället motsvarade vindstyrka och kurvan sträckningen hos en promenad, skulle vi för varje punkt på promenaden runt kurvan notera graden av motvind respektive medvind just där. Därefter skulle vi lägga samman alla vindvärden, och på så sätt erhålla ett enda sammanfattande värde för medvinden under promenaden. Ett positivt resultat skulle betyda övervägande medvind; ett negativt övervägande motvind.

Faradays induktionslag säger att “medvinden” av det *elektriska* fältet runt en hel kurva precis ska motsvara hur mycket det *magnetiska* fältet genom kurvan förändras. Om fältprojektionerna summerar till noll är magnetfältet genom kurvan oförändrat; annars finns där ett magnetfält som förändrar sig.

Och omvänt: om vi har ett magnetfält i förändring någonstans måste det också finnas ett elektriskt fält längs en kurva runtom. (En välkänd tillämpning av lagen är förstås principen för en generator: det faktum att ström uppstår då en magnet förs genom en spole.)

Vi återvänder till Einsteins tankeexperiment, och till den "frusna" elektromagnetiska våg som han borde observera när han färdas jämte ljuset med farten c . Betrakta en sluten kurva placerad som i figuren till höger, d.v.s. i det elektriska fältets plan, och omkring en punkt där detta fält byter riktning. Om man tänker sig att man promenerar runt denna kurva medurs kommer man att ha "medvind" hela vägen: längs kurvans vänstra del, där man promenerar uppåt i figuren, är även fältet riktat uppåt, och längs kurvans högra del, där man promenerar nedåt, är även fältet riktat nedåt.¹ Summan av fältets projektion längs hela kurvan blir således inte noll. Men eftersom det är en statisk situation som Einstein observerar finns där inget magnetfält som förändras. Det som Einstein borde se strider mot Faradays lag!



Problemet uppstår förstås inte om fältkonfigurationen rör sig. I så fall förändras ju det magnetiska fältet genom den slutna kurvan. Faradays lag anger precis hur stor denna förändring måste vara för att väga upp det elektriska fältets projektion längs kurvan. Därmed ger den också hastigheten hos vågen: det visar sig att den måste vara just c .

Här framträder dilemmat: Maxwells teori förutsäger att det existerar elektromagnetiska vågor som utbreder sig i vakuum med farten c . Men om Einstein själv rör sig med farten c intill en sådan våg bör han uppfatta den som stillastående, något som är förbjudet enligt samma teori. Vi tycks stå inför en paradox. Men ur varje paradox finns en utväg – det gäller bara att hitta den!

Den utväg som i Einsteins samtid framstod som den naturligaste, utgick från den då förhärskande idén om en eter. Etern, tänkte man sig, var en substans som fyllde ut hela universum, även områden med perfekt vakuum. Den utgjorde substansen hos självaste rummet. Etern var det medium genom vilket de elektromagnetiska vågorna fortplantade sig, och de elektriska och magnetiska fälten betraktades som uttryck för olika "etertillstånd".

Det var då naturligt att uppfatta Maxwells teori som giltig endast i det unika referenssystem där etern befinner sig i vila. Bara den som är i vila i förhållande till etern kan tillämpa teorin i dess vanliga formulering. Så när Einstein rör sig med farten c i förhållande till etern och ser den frusna ljusvågen, kan han inte förvänta sig att Faradays lag ska vara uppfylld. En frusen elektromagnetisk våg kan, enligt detta synsätt, visst existera – bara inte i etersystemet.

¹ Figuren är egentligen något missvisande. Den visar endast fältens utseende längs en en-dimensionell axel, medan kurvan ju även passerar punkter utanför denna linje. För att erhålla hela fältkonfigurationen måste man tänka sig den en-dimensionella fältaxeln parallellförskjuten uppåt och nedåt i figuren.

Detta utgjorde dock ingen acceptabel lösning för Einstein. Michelsons och Morleys berömda experiment var bara det senaste i en rad observationer som tydde på att etersystemet inte gick att fastställa experimentellt. Maxwells teori verkade uppfylla relativitetsprincipen åtminstone i observationell mening: de elektromagnetiska fenomenen tycktes uppföra sig på samma sätt i alla referenssystem. Men den föreslagna lösningen på paradoxen skulle innebära att etersystemet faktiskt fastställs: den som observerar en frusen elektromagnetisk våg vet att hon rör sig med farten c i förhållande till etern.

En annan utväg fanns i så kallade emissionsteorier – en typ av alternativa elektromagnetiska teorier som diskuterades i slutet av 1800-talet och som även Einstein övervägde under en period. Enligt en emissionsteori existerar ingen eter. Ljusets hastighet c ska här i stället uppfattas som en fart i förhållande till *ljuskällan*. Som analogi kan man föreställa sig en pistolkula som skjuts iväg: kulan rör sig med en viss fart i förhållande till pistolens mynning. Kulans fart när den svishar förbi oss beror naturligtvis på hur pistolen själv rör sig när den avlossas. Enligt en emissionsteori kan ljus således passera oss med olika hastighet beroende på ljuskällans rörelse. En källa som avlägsnar sig med ljushastigheten skulle exempelvis ge upphov till just en frusen elektromagnetisk våg.

Problemet med emissionsteorier blir dock tydligt just i detta tankeexperiment: Maxwells teori tillåter inte frusna vågor, och skulle därför behöva modifieras. Och det är ingen liten modifiering som skulle krävas. Även den mest grundläggande delen av elektromagnetismen – den som handlar om statiska situationer – måste rivas upp. Inte heller denna utväg tedde sig särskilt sannolik.

Det skulle dröja nästan tio år innan Einstein fann en tillfredsställande lösning på problemet: den speciella relativitetsteorin. Med dess beskrivning av tid och rum blir det omöjligt att färdas med ljushastigheten c . Och om tankeexperimentet modifieras så att Einstein bara färdas mycket nära ljushastigheten (vilket vore principiellt möjligt), så skulle han ändå inte se en (nästan) frusen elektromagnetisk våg. Einstein skulle då bara observera en helt vanlig elektromagnetisk våg fara förbi honom med farten c . Just så som Faradays lag faktiskt implicerar. Ljusets hastighet är densamma i alla referenssystem.

Så tanken på att rida på en ljuspuls spelade förmodligen en viss roll i Einsteins tänkande – den satte fingret på ett akut problem i den samtida fysiken.

“No progress without a paradox!” som J A Wheeler sa.