

Den gäckande eterns gåta

Något som finns överallt, även där det råder perfekt vakuum. En sorts grundsubstans för själva rummet. Så föreställde sig fysiker etern under det sena 1800-talet. Men det fanns de som tvivlade.

Fysiker hade länge spekulerat om en eter, men i och med Maxwells teori för elektromagnetismen föreföll begreppet outhålligt. Hur skulle man förstå till exempel det karakteristiska mönster som järnfilspån bildar omkring en magnet, om inte som uttryck för ett förändrat tillstånd hos etern orsakat av magneten?

Framför allt tycktes Maxwells revolutionerande beskrivning av ljuset som en våg av elektriska och magnetiska fält förutsätta något slags medium. Här kom etern väl till pass. Ljusvågornas utbredningshastighet c fick då också en naturlig tolkning som en fart i förhållande till denna.

Men dessa förklaringar väckte nya frågor. Är etern trögflytande? Kan den utöva tryck? Hur sker växelverkan med annan materia? Vid 1800-talets slut fanns ett flertal mekaniska modeller för etern. Det verkade dock omöjligt att finna experimentellt stöd för någon av dem. Rummets grundsubstans föreföll lika undflyende som nödvändig för fysikerna.

Det fanns dock skäl att tvivla på att etern över huvud taget existerade.

Jorden susar fram i sin bana kring solen med ungefär 30 000 meter per sekund. Om det fanns en eter borde jorden röra sig minst lika snabbt i förhållande till denna. Vår planet färdas dessutom åt olika håll olika tider på året. Så om etern verkligen existerade och vore relevant för fysiken kunde man förvänta sig ett tydligt riktningberoende hos de jordiska fenomenen, ett som dessutom skulle variera med årstiden. Men något sådant har aldrig observerats. Detta talar starkt mot att det skulle finnas någon eter. Samtidigt utgör det ett kraftfullt belegg för den så kallade relativitetsprincipen: att alla fenomen uppträder på samma sätt i alla (icke-accelerande) referenssystem.

Så gick den unge Albert Einsteins tankar. 1905 publicerar han den artikel som skulle komma att kullkasta den då rådande bilden av rum och tid. Han inleder med ett enkelt tankeexperiment i syfte att peka på en besynnerlig egenhet hos Maxwells teori.

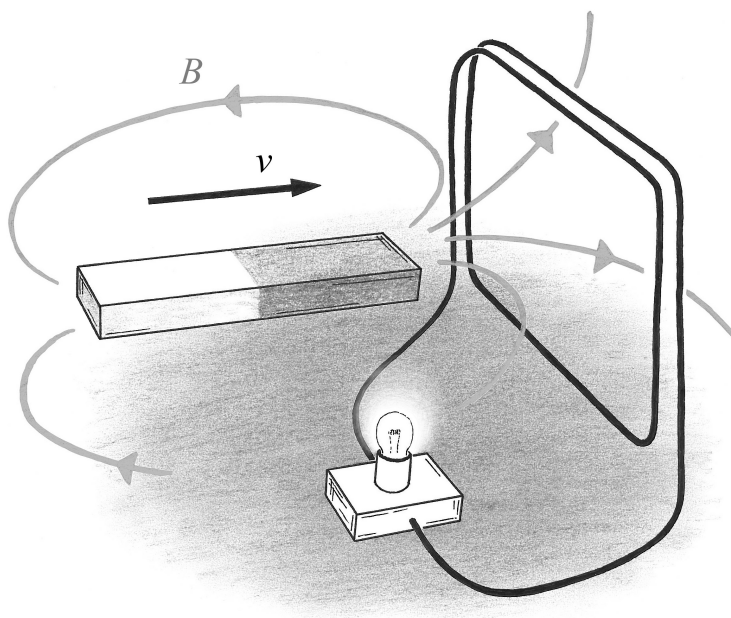
Välkänt är att en magnet som förs nära en ledare kan ge upphov till ström. Betrakta för enkelhets skull det fall då en stavmagnet förs genom en spole (se figuren, där spolen utgörs av en enda ögla i en sladd). Den ström som då uppstår i spolen kan påvisas med hjälp av en lampa: den blinkar till två gånger, när magneten är på väg in genom spolen och när den är på väg ut.

Fenomenet är lätt att förklara med hjälp av Faradays induktionslag. När magneten förs in genom spolen förändras magnetfältet genom den. Denna förändring ger upphov till ett elektriskt fält längs spolens tråd varvid ström uppstår. Att magneten sedan passerar ut ur spolen innebär åter en förändring av magnetfältet genom den. I första fallet blev detta magnetfält starkare, nu försvagas det. Förändringen måste även denna gång åtföljas av ett elektriskt fält längs ledaren, och därmed en ström.

Så långt är det bara en beskrivning av ett enkelt och välkänt experiment. Men Einstein uppmanar oss att även betrakta fenomenet ur ett annat referenssystem, nämligen ett som följer med magneten. Här är det alltså magneten som befinner sig i vila medan spolen kommer forande med jämn fart och under några ögonblick omsluter den. Beträktat på detta sätt finns inte längre något magnetfält som förändras; magneten befinner sig i vila och dess omgivande fält är statiskt. Ändå blinkar lampan till två gånger – den bryr sig förstas inte om vårt val av referenssystem. Men hur förklaras lampans

blinkningar av Maxwells teori i detta fall?

Jo, när spolen rör sig över magneten rör sig förstå även de fria laddningarna i spolens koppartråd genom magnetfältet. Det innebär att de påverkas av en magnetisk kraft – Lorentzkraften – och det är denna som nu sätter fart på laddningarna genom tråden och får lampan att blinka. (Kom ihåg att för att en laddning ska påverkas av ett magnetfält måste den ha en hastighetskomponent i rät vinkel mot fältet. Så är fallet endast när spolen är *på väg in* över magneten samt när den är *på väg ut*. Därmed blinkar lampan till två gånger även som en följd av beskrivningen i magnetens referenssystem.)



Det märkliga är att lampans blinkningar förklaras på så olika sätt i de båda referenssystemen. Enligt den första beskrivningen, den där spolen är i vila, gör magnetens rörelse att det uppstår ett elektriskt fält som sätter spolens laddningar i rörelse; enligt den andra är det i stället magnetens eget magnetfält som ger upphov till strömmen. Två olika förklaringar av exakt samma fenomen.

Einstein drar två lärdomar av detta.

För det första: Elektriska och magnetiska fält kan inte sägas vara objektivt existerande storheter var för sig; huruvida de ingår i beskrivningen av en given situation beror på betraktarens rörelse. I tankeexperimentet uppstår det elektriska fältet endast i det ena referenssystemet, nämligen det där spolen är i vila. I det andra systemet är det magnetens eget fält som sätter fart på laddningarna i spolens tråd. Att försöka beskriva dessa fält som faktiska tillstånd hos en eter är därför dömt att misslyckas.

För det andra: Maxwells teori *ger sken av* att bryta mot relativitetsprincipen, eftersom dess sätt att förklara ett och samma fenomen så drastiskt skiljer sig åt mellan olika system. Av detta ska man dock inte låta sig luras: de *observerbara effekterna* är desamma oberoende av referenssystem. Lampan blinkar på samma sätt, oberörd av de skilda förklaringar den pådyvlas. Maxwells teori ger alltså inget stöd för uppfattningen att relativitetsprincipen måste överges.

I tankeexperimentet gör Einstein således upp med kollegernas fördomar. Han illustrerar att elektromagnetiska fenomen är förenliga med relativitetsprincipen, att faktiska observationer är oberoende av referenssystem och att en eter därmed ter sig överflödig.

Men gäller detta verkligen Maxwells teori som helhet? Uppfyller den relativitetsprincipens starka

diktat under alla omständigheter?

En aspekt av elektromagnetismen ter sig särskilt svår att förena med relativitetsprincipen: förutsägelsen att ljuset fortplantar sig med farten c genom vakuum.

Betrakta till exempel en ljuspuls som sänds iväg invid ett järnvägsspår, parallellt med banvallen. Enligt Maxwells teori far pulsen fram längs spåret med farten c . (Vi föreställer oss att all luft har avlägsnats så att färden går genom vakuum.) Ett tåg kommer nu körande på spåret med farten v . Om en tågresenär försöker mäta vilken fart ljuspulsen har *i förhållande till tåget* bör resultatet bli mindre än c , nämligen $c - v$. Varför?

Jo, under en viss tid t färdas ljuset en sträcka $c \cdot t$ längs banvallen. Detta är vad det betyder att dess fart är c . Under samma tid t färdas tåget en sträcka $v \cdot t$ i samma riktning. Det innebär att den sträcka som pulsen färdas i förhållande till tåget är $c \cdot t - v \cdot t = (c - v) \cdot t$. Tågresenären som mäter upp denna färdsträcka under tiden t menar således att ljusets fart är just $c - v$.

Slutsatsen verkar oundviklig. Ändå står resultatet i strid med relativitetsprincipen: påståendet att ljusets hastighet är c i vakuum måste omfatta *alla* referenssystem, inte enbart banvallens. Annars skulle Maxwells teori bara gälla i banvallens system. Relativitetsprincipen och påståendet om ljushastigheten synes därmed oförenliga. Etern förefaller nödvändig.

Einstein är inte beredd att ge upp vare sig relativitetsprincipen eller Maxwells resultat beträffande ljushastigheten. I stället börjar han att ifrågasätta resonemanget som leder till slutsatsen att ljuspulsens fart enligt tågresenären bör vara $c - v$. Är detta verkligen så oskyldigt som det ser ut? Har man inte i själva verket förutsatt en hel del om mätningar i rummet och tiden, nämligen om de som krävs för att fastställa farten hos en ljuspuls? Resonemanget förutsätter exempelvis att den tid som observatören ombord på tåget mäter upp för ljuspulsens färd mellan två punkter är densamma som enligt observatören vid banvallen. Men hur kan vi veta detta? Vad menar vi över huvud taget med att klockorna ombord på tåget visar "samma tid" som de vid banvallen? Hur jämförs dessa tider?

Detta ifrågasättande av innebörden av tidmätningar beskrev Einstein senare som det avgörande steget i relativitetsteorins tillkomst. Det leder honom att börja nysta i ett virrvarr av aldrig tidigare ifrågasatta försanthållanden. När han så småningom är färdig uppenbarar sig en ny bild av rum och tid – en som ingen före Einstein hade kunnat föreställa sig ens i sin vildaste fantasi.