

# ÄR DET MÖJLIGT MED TIDSRESOR & MASKHÅL?

av Sören Holst



V i har alla mött dem. Inte i verkligheten, men väl inom populärkulturen, science fiction-världen och kanske i något glansigt vetenskapsmagasin. Berättelserna om hur någon reser tillbaka till ett tidigare århundrade med hjälp av en tidsmaskin. Eller försvinner in genom en "portal" och – vips – befinner sig i en avlägsen galax.

Även de mest fantasifulla scenarierna av detta slag är ofta tydligt inspirerade av vetenskap. Men vad är egentligen möjligt? Kan man resa i tiden? Finns maskhål?

Det handlar här om grundläggande egenskaper hos rum och tid. Låt oss börja med att se hur frågorna besvaras i den klassiska mekaniken – Newtons världsbild. Här är allt enkelt.

Newtons rum är tredimensionellt och vad en matematiker skulle kalla euklidiskt. Det har oändlig utsträckning i alla riktningar, och det är inte krökt. Därmed kan det heller inte finnas några direktförbindelser eller genvägar mellan annars avlägsna platser – olika delar av rummet sitter inte ihop på oväntade sätt.

Även tiden är enkel hos Newton. Tiden är det som driver skeendena i rummet. Den är universell: det är samma tid – eller samma "Nu" – överallt och för alla i hela universum. Tidens gång innebär att detta Nu obönhörligt flyttas framåt i tiden. Eftersom det är samma tid överallt åldras vi alla på samma sätt och lika snabbt oavsett var i universum vi befinner oss eller vad vi har för oss.

Newton talar om rummet och tiden som "absoluta". Deras existens och egenskaper är oberoende av vad som i övrigt försiggår i universum. Här finns tydligen inget utrymme för vare sig tidsresor eller maskhål.

Om vi skiftar fokus till den speciella relativitetsteorin finner vi en dramatiskt annorlunda bild – en avgrund skilljer Einsteins världsbild från Newtons.

I den speciella relativitetsteorin upplöses Nuet. Detta ögonblick innefattar enligt Newton alla händelser i hela universum som inträffar samtidigt just Nu. Men i relativitetsteori finns ingen objektiv samtidighet. Olika observatörer, beroende på hur de rör sig, har olika begrepp om vilka händelser som är samtidiga. Det kan därför inte

finnas något objektivt och entydigt Nu. Det som existerar i relativitetsteori kan därmed inte enbart utgöras av allt som finns i universum Nu, vid just den här tidpunkten för en viss observatör. Det som existerar måste snarare vara allt vid alla tidpunkter. Det som finns är rumtiden som helhet.

## Rum + tid = rumtid

Rum och tid visar sig alltså vara olika aspekter av något mer fundamentalt: rumtiden. Därmed är de inte heller så väsensskilda som vi vanligen föreställer oss. Olika tidpunkter blir lite som olika platser – men olika platser i tiden snarare än i rummet. Vi är till exempel vana vid att tänka att både solsystemet och stjärnan Vega finns – men på olika platser i rummet. Nu kan vi också säga att både vi själva och dinosaurierna finns – men på olika platser i tiden. Och den framtid då vi själva är döda finns lika mycket som den tid då vi ännu inte är födda, bara inte här och nu, utan någon annanstans i den eviga och oföränderliga rumtiden.

Utsiktarna för tidsresor ter sig, i ett sådant perspektiv, plötsligt mer lovande. Om olika tider finns lika väl som olika platser förefaller det inte längre uteslutet att man också skulle kunna färdas mellan dem. Men är det möjligt?

Här är den så kallade tidsdilatationseffekten relevant: en klocka som rör sig i förhållande till oss, går långsammare än vår egen klocka – den drar sig efter. Detta låter paradoxalt: enligt den klocka som rör sig förbi oss (och som vi menar går för långsamt) är det ju i stället vår klocka som rör sig och som, enligt samma påstående, borde gå för långsamt! Hur kan både vår egen klocka och den som passerar oss gå för långsamt i förhållande till den andra?

Vad som i förstone ser ut som en paradox är det inte. Lösningen ligger i den relativa samtidigheten som nämndes ovan, att vad man uppfattar som samtidigt beror på den egna rörelsen. För att jämföra sin egen klocka med en som passerar förbi måste man utgå från ett visst begrepp om samtidighet. Man måste besvara frågor av typen "Vad visar

den förbipasserande klockan just i detta ögonblick när min egen klocka visar 16:42?". Man utgår då naturligtvis från sin egen samtidighetsuppfattning. Eftersom man själv och den förbifarande klockan har olika samtidighet är alltså måttstocken för jämförelsen olika. Det är då ingen motsägelser att båda menar att den andras tid går långsammare.

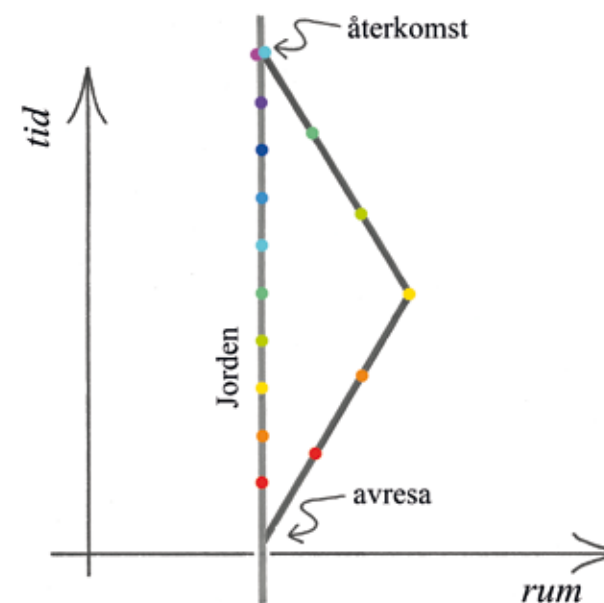
## Ett enkelt slags tidsresa

Uttryckt på detta sätt – som en effekt av olika standarder för jämförelser av tid – ter sig tidsdilatationen harmlös, eller kanske rentav ointressant. Men faktum är att effekten kan utnyttjas för att åstadkomma en form av tidsresa, något som Einstein själv insåg och tycks ha funnit tämligen odramatiskt:

"Om vi exempelvis placerade en levande organism i en låda, och lät den utföra [en] rörelse tur och retur [...], skulle organismens förändring kunna vara hur liten som helst då den återvände till utgångsläget, även om färden varit mycket lång. De identiska organismer som förblivit i vila i utgångsläget skulle däremot sedan länge ha gett plats åt nya generationer." (Min översättning. Einstein, 1911)

Einstein beskriver här det scenario som senare skulle komma att kallas tvillingparadoxen. En organism – en rymdresenär – åker i hög fart (dvs. i en hastighet jämförbar med ljusets) bort från jorden, vänder och kommer tillbaka. Eftersom organismens klockor (dvs. tid) går långsammare än klockorna hemma på jorden under hela resan kommer den när den återvänder att ha åldrats mindre än jorden (se bild t. h.).

Och nej. Vi kan inte vända på resonemanget och åstadkomma en paradox. Vi kan inte hävda att det snarare är organismen som kommer att anse att det är jorden som åldrats mindre. Skälet är åter samtidigheten: då organismen vänder hemåt igen förändrar organismen också sitt samtidighetsbegrepp. Organismens standard med vilken den jämför sina egna klockor med jordens ändras i och med detta. Jorden använder däremot samma standard för samtidighet under hela förloppet. Situationen är inte symmetrisk.



Einsteins tur och retur-resa illustrerad i ett rumtidsdiagram. Tiden representeras på den vertikala axeln och (en dimension av) rummet på den horisontella axeln. Jorden, som befinner sig vid samma position i rummet vid alla tidpunkter, avbildas som en rak vertikal linje i diagrammet. Den andra kurvan representerar Einsteins rymdresenär, som först färdas bort från jorden och sedan tillbaka. De färgade punkterna längs linjerna visar den tid som förflyter på jorden respektive för henne. Avståndet mellan två punkter på respektive linje motsvarar tiden ett år. I detta exempel kommer alltså vår astronaut att åldras sex år under resan, medan det förflyter hela tio år på jorden. Bilden illustrerar även hur man kan förvandla ett maskhål till en tidsmaskin (se texten).

Exemplet rymdresenär gör, som Einstein noterar, en resa in i framtiden. När hen återkommer finns inte de forna organismvännerna kvar, men väl deras avkomma flera generationer framåt. Tyvärr har organismen i detta läge inte någon möjlighet att resa tillbaka i tiden. I den speciella relativitetsteori är det endast möjligt att resa framåt i tiden.





I filmen åldras astronauten Romilly (David Gyasi) medan han väntar på kollegorna – som känner att de bara varit borta i några timmar.

### Krökt rumtid ger nya möjligheter

Möjligheterna ökar dock ytterligare i och med den allmänna relativitetsteorin – Einsteins teori för gravitationen.

Fenomenet gravitation förklaras här, inte som i Newtons teori som en kraft, utan som en följd av att rummet (eller egentligen hela rumtiden) är krökt. Jag tänkte här inte gå närmare in på vad detta innebär eller hur det kan förklara gravitationen. Det enda väsentliga i sammanhanget är att i ett krökt rum är det inte längre så självklart vilka punkter som sitter ihop med vilka. Rummets topologi blir plötsligt något att ta i beaktande. Betrakta ytan av ett klot till exempel, dvs. en sfärisk yta – det kanske enklaste fallet med en krökt tvådimensionell yta. Här kommer man tillbaka till utgångspunkten om man går i en valfri riktning tillräckligt länge. Att så är fallet har uppenbarligen något att göra med ytans krökning.

Bara det faktum att den allmänna relativitetsteorin handlar om krökta rum gör det alltså relevant att fråga sig hur rummets punkter faktiskt är förbundna med varandra.

Är exempelvis Andromedagalaxen, omkring 2 miljoner ljusår bort, nödvändigtvis så avlägsen? Kanske är rummet krökt på ett sådant sätt att rummet här i vår galax sitter ihop med rummet där, och bildar ett slags genväg mellan galaxerna?

Bilden på sidan 19 visar en enkel tvådimensionell modell av ett sådant så kallat maskhål. Den nedre ytan i figuren kan vi tänka på som vår egen del av universum (fast i en tvådimensionell version), och den övre som Andromedagalaxens närområde. Dessa delar, kan vi tänka, sitter ihop med varandra långt utanför bilden, och om vi skulle färdas till Andromedagalaxen "den vanliga vägen" är det den vägen som vi skulle färdas. Men vi ser att det även finns en närmare förbindelse – representerad som ett rör mellan ytorna. Detta utgör själva maskhålet. Det har en mynning i vår del av universum och en mynning i Andromeda.

### Ett maskhål i lasten

Säg att vi upptäckte ett maskhål vars båda mynningar råkade vara belägna i närheten av jorden. Det kan låta som ett oanvändbart maskhål. Men icke.

Låt oss föreställa oss att vi lämnade den ena mynningen vid jorden medan vi tog med den andra ombord på ett rymdskepp, på en tur och retur-resa som den i bilden på sidan 19. Betänk hur praktiskt detta skulle vara. Säg att vi efter ett år ombord på rymdskeppet kommer på att vi har glömt något hemma på jorden. Vi skulle då bara kunna dyka in i vår medhavda maskhålmynning och hämta det vi glömt på jorden, för att sedan omedelbart återvända till rymdskeppet.

Nu måste man fråga sig: Om vi gjorde denna manöver efter ett år ombord på rymdskeppet – vid den röda prickerna i figuren – när skulle vi då dyka upp på jorden? Svar: Efter ett år på jorden – vid den röda prickerna på jordens linje. Och om vi i stället gick in i maskhålet efter två år på rymdskeppet – vid den orange prickerna – skulle vi dyka upp på jorden efter att två år passerat där. (Detta är en följd av att rumtiden måste vara kontinuerlig inuti maskhålet.) Om vi tänker på prickarna i figuren som maskhålmynningarna vid olika tider, visar alltså deras färger hur de sitter ihop i tiden.

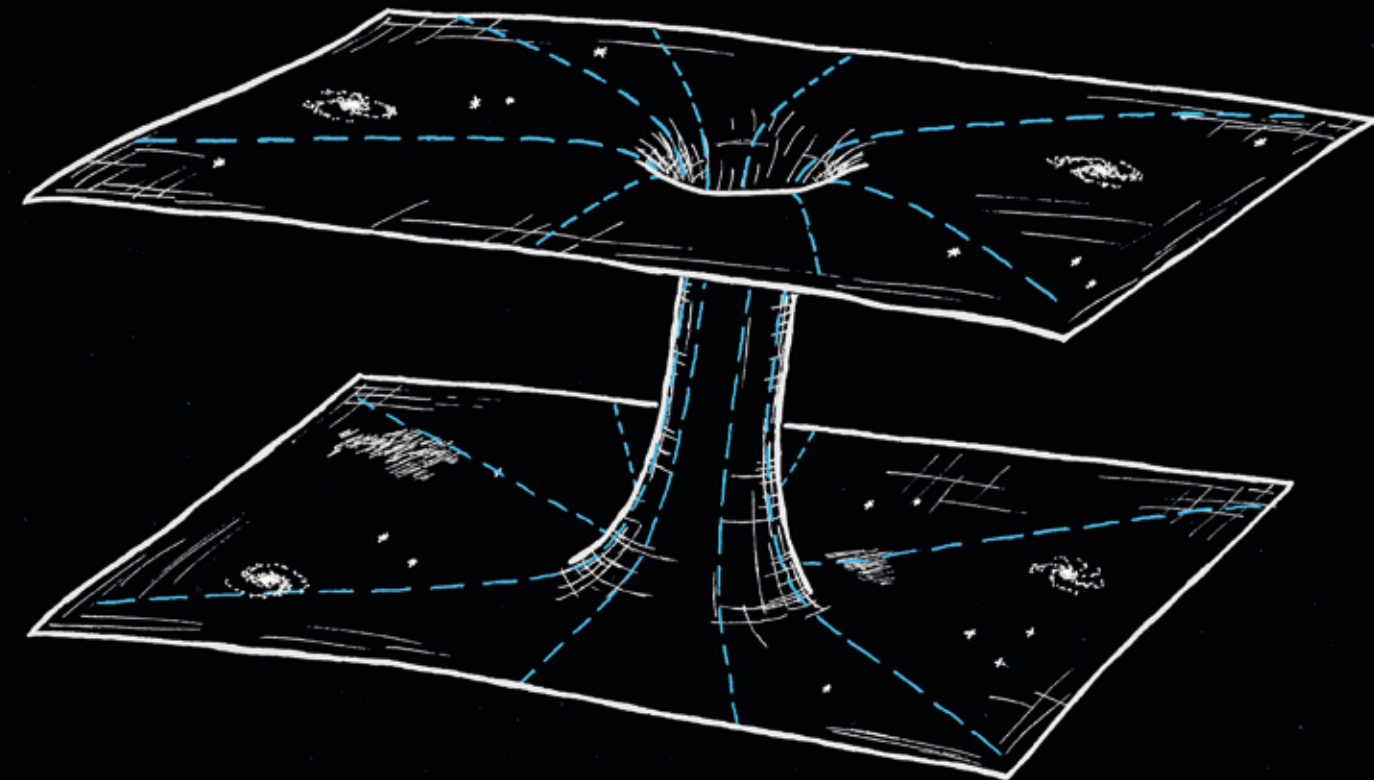
Säg nu att vi går in i rymdskeppets maskhålmynning efter att hela resan fullgjorts, alltså vid den ljusblå prickerna högst upp. Var – eller snarare när – skulle vi hamna på jorden? Tydligt fyra år tidigare! Tur och retur-resan har förvandlat maskhålet till en tidsmaskin! Notera dock att vi inte kan ta oss tillbaka till tidpunkter innan vi påbörjade tur och retur-resan. Detta är något som gäller allmänt (utom i sagans värld): en tidsmaskin kan aldrig användas för att resa till tidpunkter då tidsmaskinen ännu inte fanns.

Den allmänna relativitetsteorin medger alltså inte bara maskhål, utan även resor bakåt i tiden. Men det finns tyvärr starka skäl att tro att sådana rumtids-strukturer ändå aldrig kan uppstå eller konstrueras. Rumtider som innehåller sådana "tidsloopar" är nämligen instabila (på grund av materians inverkan på rumtidens krökning). I exemplet med maskhålet, så skulle det sannolikt förstöras innan tidsloopen hann uppstå, och vi skulle bli snuvade på tidsresan.

Låt oss återvända till de "vanliga" maskhålerna, de som förbinder olika delar av rummet snarare än olika tider. Kan sådana existera, och skulle vi i så fall kunna använda oss av dem?



Ett stressigt planetbesök för astronauten Brand (Anne Hathaway) i filmen *Interstellar* blir också en tvillingparadox-resa.



En modell av ett maskhål. De två planen representerar var sin del av universum, och röret som förbinder dem utgör själva maskhålet. Observera att de två dimensionerna hos figurens krökta yta motsvarar hela vårt tredimensionella rum. De blåa streckade linjerna visar en samling ljusstrålar som passerar genom maskhålet: de konvergerar på sin väg in, men divergerar när de kommer ut.

### Negativ energi – en förutsättning

I den allmänna relativitetsteorin är det materia som orsakar rummets krökning. Ju mer materia, desto påtagligare är krökningen, och därmed de gravitationella effekterna. Men den speciella form av rumtidskrökning som måste till för att man ska ha ett maskhål visar sig förutsätta en väldigt märklig form av materia: så kallad negativ energi.

"Vanlig" materia har positiv energi. Det betyder att dess gravitationella verkan på omgivande materia är attraktiv: vanlig materia attraherar annan materia. Sådan materia har också en annan karaktäristisk egenskap som har att göra med dess inverkan på ljus.

Betrakta en samling ljusstrålar riktade ut i universum och som från början är parallella med varandra. När knippet av strålar passerar genom den krökta rumtiden på sin väg förbi stjärnor och svarta hål, genom gasmoln och nebulosor, kommer det att deformeras på olika sätt. Ett tvärsnitt genom strålnippet kommer att ändra form: det kommer plattas till, vridas eller kanske krympa. Men man kan visa att så länge strålarna bara passerar materia med positiv energi på sin färd så kommer de aldrig att börja divergera. Med andra ord: ett tvärsnitt genom strålnippet kommer att kunna förändras på en massa komplicerade sätt, men det kommer aldrig att växa.

Jämför detta med vad som måste ske med ljusstrålar som passerar genom ett maskhål. Bilden ovan visar hur en samling ljusstrålar, som från början konvergerar, i stället divergerar efter att de passerat igenom maskhålet – och detta utan att strålarna har korsat varandras väg inne i maskhålet. Här börjar tydligt tvärsnittet hos ljusknippet att växa trots att det från början minskade!

Detta är ett symptom på negativ energi. Utan sådan kan ett maskhål inte vara stabilt nog för att ljus ska kunna passera igenom det. Och om inte ens ljus kan ta sig igenom, kan förstås inget annat göra det heller. Ett maskhål utan negativ energi kommer inte gå att resa genom.

Praktiskt taget all känd materia har positiv energi. Men faktum är att det inom kvantfältteorin finns ett antal fenomen som faktiskt ger upphov till små mängder negativ energi (mest känd är den så kallade Casimireffekten). Tyvärr måste det i dessa fall alltid finnas betydligt större mängder positiv energi i det omedelbara närområdet, så sådana effekter tycks inte heller medge någon möjlighet att åstadkomma ett stabilt maskhål.

Så även om Einsteins båda relativitetsteorier öppnat dörren för vetenskapliga studier av såväl tidsresor som maskhål måste nog utsikterna för att sådana fenomen verkligen ska existera, eller någonsin kunna utnyttjas praktiskt, sägas vara minimala. Åtminstone om man får tro nuvarande fysik. Vi kommer sannolikt aldrig att kunna kliva in genom en portal för att i nästa ögonblick dyka upp i en annan galax, eller vid en annan tid.

Men för teoretiska överväganden fortsätter både tidsresor och maskhål att spela en viktig roll. De utgör ett par av alla de redskap som återfinns i en teoretisk fysikers verktygslåda – redskap användbara för att testa teorier och utvärdera deras följder. Och så förstås – de lär fortsätta att inspirera filmskapare och författare under överskådlig tid. ★

SÖREN HOLST är fysiker vid Stockholms universitet och författare till böckerna *Rumtid: en introduktion till Einsteins relativitetsteori (Studentlitteratur 2006)* och *Tankar som ändrar allt: om tankeexperiment och nya världsbilder (Fri tanke 2012)*.