

Innehåll

Förord **5**

Författarens förord **9**

1. En resa till ett svart hål **14**

2. Det snabba ljuset **38**

3. En ny syn på rummet och tiden **57**

4. Ett nytt sunt förnuft **80**

5. Absurt, sa Newton **100**

6. En ny syn på gravitationen **120**

7. Svarta hål **150**

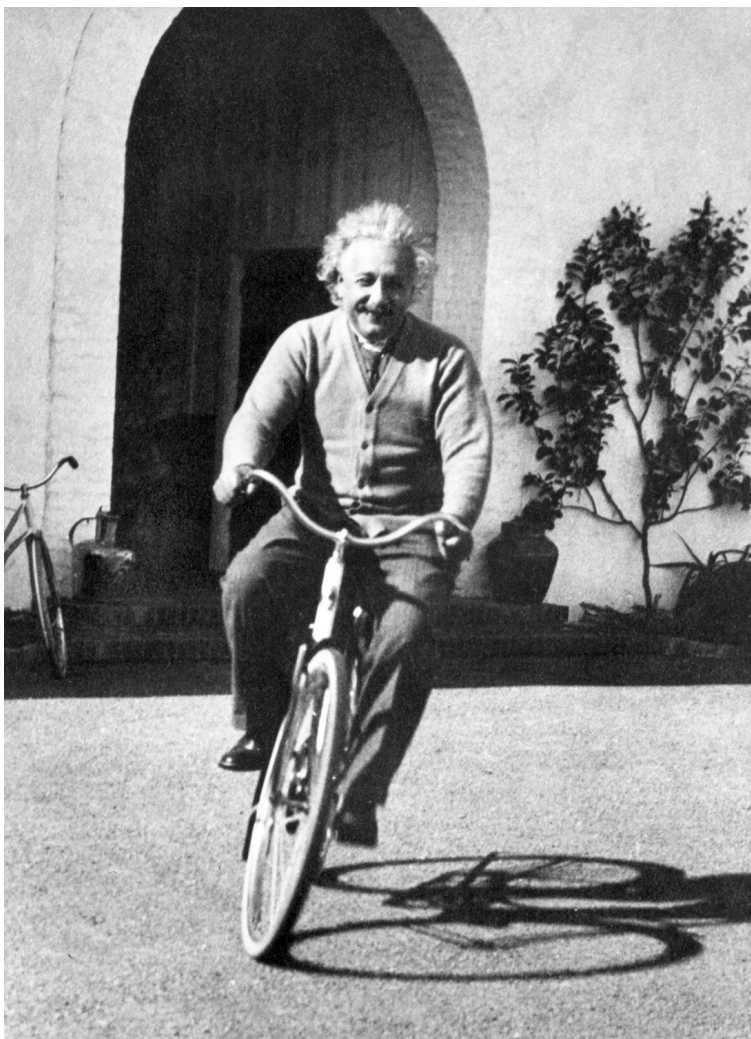
8. Vårt expanderande universum **179**

Slutord **197**

Författarens tack **200**

Noter **202**

Register **210**



2015 är det hundra år sedan Einstein formulerade den allmänna relativitetsteorin. Bild ur California Institute of Technologys arkiv.

Författarens förord

MIN FÖRSTA EGENTLIGA kontakt med Einsteins relativitetsteori fick jag under mitt första år på universitetet. Som alla andra hade jag alltid fått höra att relativitetsteorin var väldigt svår att få grepp om. Men ju mer jag lyssnade på min professor och fördjupade mig i kurslitteraturen, desto mer insåg jag att ryktet om teorins svårtillgänglighet var överdrivet. Allt blev inte mer svårbegripligt av relativitetsteorin, utan tvärtom mycket enklare, åtminstone när man väl hade förstått resonemanget. Dessutom kändes teorin viktig – jag insåg plötsligt att det inte var förrän jag satte mig in i relativitetsteorin som jag verkligen förstod rummets och tidens beskaffenhet. Med tanke på att vi vistas hela vårt liv på en planet i rummet och rör oss genom tiden upplevde jag detta som en rätt allvarlig kunskapslucka.

Det dröjde bara något år innan jag höll en sommarkurs för rymd- och vetenskapsintresserade mellanstadieelever och undervisade dem i relativitetsteorins grunder. Jag häpnade när jag såg hur snabbt många av dem tog till sig de bärande idéerna, och deras förmåga att greppa resonemangen fick mig att inse något grundläggande: Att så många uppfattar relativitetsteorin som svår beror till stor del på att den verkar strida mot våra djupt rotade föreställningar om rummet och tiden. Hos barn är dessa föreställningar inte lika djupt rotade och för dem framstår relativitetsteorin inte som lika besynnerlig, vilket gör att de accepterar den lättare än vuxna.

Denna insikt visade sig komma till nytta några år senare när jag började undervisa på universitetet och lät relativitetsteorin gå som en röd tråd genom min grundkurs i astronomi. Vis av erfarenheten med barnen försökte jag få studenterna att övervinna sitt motstånd mot att tänka i nya banor om rummet och tiden. En ytterligare fördel med den metoden var att den gick att använda utan att man behövde blanda in särskilt mycket av den matematik som relativitetsteorin bygger på, vilket gjorde att studenterna kunde koncentrera sig på att lära sig själva tankesättet. Vid kursutvärderingarna var relativitetsteorin år efter år det avsnitt som studenterna hade tyckt bäst om. På frågan om varför de hade tyckt att relativitetsteorin var så intressant angav de som främsta skäl (1) att den hade lärt dem tänka i nya och oväntade banor och (2) att de hade blivit glatt överraskade över att den faktiskt gick att begripa eftersom de alltid hade hört att den var så komplicerad.

Genom åren fortsatte jag att betona relativitetsteorin i mina kurser i astronomi samtidigt som jag förfinade mina undervisningsmetoder. När tre av mina vänner (Mark Voit, Megan Donahue och Nick Schneider) och jag själv fick i uppdrag att författa en lärobok i astronomi ägnade vi två hela kapitel åt relativitetsteorin, trots att undersökningar visade att mycket få institutioner lade särskilt mycket tid på relativitetsteorin i sina astronomikurser för icke-specialister. Vi ser nu att de här kapitlen har inspirerat fler lärare att inkludera ämnet i sin undervisning.

Därmed är vi framme vid syftet med den här boken. Jag hoppas kunna få dig som läsare att uppskatta relativitetsteorin lika mycket som jag själv gör, och förhoppningsvis har jag kunnat förmedla denna känsla till mina studenter och läsare genom åren. Jag tror att du kommer att tycka att ämnet är mycket lättare och intressantare än du hade föreställt dig. Jag hoppas också att du kommer att hålla med mig om att

relativitetsteorin är *viktig* för vårt sätt att se på oss själva som människor i ett vidsträckt universum. När vi nu firar hundraårsjubileet av Einsteins formulering av den allmänna relativitetsteorin anser jag att det är dags att ta fram teorin ur vetenskapernas dunkla garderob och föra in den i allmänhetens medvetande. Om den här boken kan bidra till detta ser jag det som en framgång.

Jeffrey Bennett

Boulder, Colorado

1

En första lektion

1. En resa till ett svart hål

TÄNK DIG ATT solen på något mystiskt sätt kollapsade så att den hade kvar sin massa men krympte så mycket i storlek att den blev till ett svart hål. Vad skulle då hända med jorden och andra planeter? Minsta barn skulle utan att sväva på målet svara att planeterna »skulle sugas in i det«.

Tänk dig nu att du är en framtida resenär på stjärnhimlen. Plötsligt upptäcker du att ett svart hål lurar till vänster om dig. Vad bör du göra? Personer i din omgivning skulle antagligen råda dig att ge full gas och försöka styra bort från hålet för att inte »sugas in i tidens glömska«.

Men jag kan avslöja en liten hemlighet som är viktig för att vi ska kunna förstå relativitetsteorin: svarta hål suger inte in något. Om solen plötsligt blev till ett svart hål skulle jorden bli väldigt kall och mörk. Men eftersom vi har antagit att det svarta hålet kommer att ha samma massa som solen skulle jordens bana knappt påverkas alls.

När det gäller din framtid som resenär i rymden ... För det första kommer du aldrig att »plötsligt« upptäcka ett svart hål till vänster om dig. Det finns olika sätt att upptäcka svarta hål till och med från jorden, och om vi en dag kommer att kunna företa resor i rymden kommer vi garanterat att ha kartor som visar var eventuella svarta hål finns längs vår rutt. Och även om ett svart hål osannolikt nog inte skulle finnas med på kartan skulle dess gravitation påverka din farkost alltmer ju närmare du kom och på så sätt förvarna dig. För

det andra skulle du, såvida du inte styr rakt på hålet, helt enkelt kunna väja för det på ungefär samma sätt som vi har sett rymdfarkoster (som *Voyager* och *New Horizons*) väja för Jupiter på sin färd till det yttre solsystemet.

Jag inser att en del av er blir väldigt besvikna när ni hör detta. Som min dotter på högstadiet uttryckte det: »Det är ju cool att tänka sig att svarta hål suger.« Jag lyckades lugna henne lite genom att påpeka att begrepp som »cool« och »suger« inte brukar gå så bra ihop. Men du undrar förmodligen: om svarta hål nu inte suger, vad gör de då?

Frågan måste besvaras i två steg. Det första är rätt intetsägende, men i det andra uppträder så otroliga fenomen att du aldrig kommer att sakna den Brustna illusionen om en kosmisk dammsugare. Det första steget gäller svarta hål som betraktas på långt avstånd, för på långt håll verkar det svarta hålets gravitation inte annorlunda än något annat objekts gravitation. Därför skulle jordens bana inte påverkas om solen förvandlades till ett svart hål, och ett rymdskepp kan som sagt väja för ett svart hål på samma sätt som det väjer för Jupiter. De otroliga fenomenen uppträder när man närmar sig ett svart hål. Där skulle man bli vittne till de dramatiska förvrängningar av rummet och tiden som vi bara kan förstå med hjälp av Einsteins *relativitetsteori*.

Detta för oss till själva poängen. Jag har inlett presentationen av relativitetsteorin med att tala om svarta hål, för även om nästan alla har hört talas om sådana går det inte att förstå svarta hål om man inte har förstått grundbegreppen i Einsteins teori. Ett syfte med den här boken är alltså att förklara de begreppen för läsaren. Men det finns ett syfte till, och det är ännu viktigare.

Efter hand som dina kunskaper om relativitetsteorin ökar kommer du att märka att din vardagliga uppfattning om tiden och rummet inte speglar universums verklighet särskilt väl. I korthet kommer du att inse att du har fått lära dig ett

»sunt förnuft« som inte fungerar så bra för att beskriva hur det verkligen är. Men det är inte ditt fel, utan det beror på det faktum att vi normalt inte upplever de extrema villkor då tidens och rummets verkliga natur framträder som tydligast. Det egentliga syftet med den här boken är därför att hjälpa dig att förstå verkligheten som den är och inte som den föreställning vi har vuxit upp med. Skillnaden mellan verklighet och föreställning får djupgående konsekvenser och Einstein var den förste att inse det.

Låt oss börja med att resa till ett svart hål i fantasin. Under färden kommer du att få uppleva båda de villkor då konsekvenserna av Einsteins tankegångar blir som mest dramatiska, nämligen vid hastigheter som närmar sig ljushastigheten och vid den extremt starka gravitation som råder i närheten av svarta hål. Vi nöjer oss tills vidare med att beskriva det du faktiskt observerar på färden och väntar med förklaringarna till de följande kapitlen.

Vi väljer ut ett svart hål

Om du tänker besöka ett svart hål är det första du måste göra att hitta ett. Du tror kanske att det är svårt eftersom själva termen *svart hål* för tankarna till något som man förväntar sig är osynligt i rymdens svärta. Det ligger något i det. Ett svart hål är definitionsmässigt ett objekt som ljus inte kan komma ut från, vilket innebär att ett isolerat svart hål faktiskt skulle vara kolsvart. Men såvitt vi vet är alla svarta hål även ganska massiva – med åtminstone ett par gånger vår sols massa, ibland betydligt mer. Det gör att vi teoretiskt sett kan spåra dem genom deras gravitationella påverkan på omgivningen.

Gravitationell påverkan kan avslöja ett svart hål på två sätt. För det första kan det svarta hålet påvisas genom sin inverkan på mer synliga följeslagare i omloppsbana runt hålet.