

## Plancks konstant

Plancks konstant kan ses som en omvandlingsfaktor mellan frekvens och energi, speciellt för fotoner. Dess värde är  $h = 6,62\ 607\ 015 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,135\ 667\ 696 \cdot 10^{-15} \text{ eV/Hz}$ .

I kvantmekaniken används oftare Plancks konstant dividerad med  $2\pi$ , och den har därför givits en egen beteckning  $\hbar$ , eller Diracs konstant.

## Vilken är den minsta längdenheten som kan existera?

Den minsta längden som kan mätas med vår nuvarande teknologi är Plancklängden, som är cirka  $1,616 \times 10^{-35}$  meter. Detta är dock en teoretisk gräns som vi ännu inte har kunnat observera direkt eller bevisa experimentellt.

## Hur räknar man ut en plancklängd?

Plancklängden ( $l_p$ ) kan beräknas enligt följande formel:

$$l_p = \frac{\sqrt{\hbar G}}{c^3}$$

där  $\hbar$  är Diracs konstant,  $G$  är gravitationskonstanten och  $c$  är ljusets hastighet.

Diracs konstant  $\hbar$ , är  $\hbar = \frac{h}{(2\pi)}$  där  $h$  är Plancks konstant. Diracs konstant är  $1,054\ 571\ 628 \times 10^{-34}$ .

Gravitationskonstanten är  $6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2)$  och ljusets hastighet är  $299\ 792\ 458 \text{ m/s}$ , betecknat  $c$ .

Således är Plancklängden ungefär  $1,616 \times 10^{-35}$  meter.

## Vad är en planckvolym?

Planckvolymen är den minsta volymen som kan existera enligt våra nuvarande fysikaliska teorier. Det är en teoretisk gräns som definieras med hjälp av Plancklängden, Plancks konstant och gravitationskonstanten.

Planckvolymen ( $V_p$ ) kan beräknas genom att ta Plancklängden i kubik och få följande formel:

$$V_p = \frac{\sqrt{\hbar G}}{c^5} \quad \text{eller} \quad V_p = (l_p)^3$$

där  $V_p$  är Planckvolymen,  $h$  är Plancks konstant,  $G$  är gravitationskonstanten och  $c$  är ljusets hastighet.

Med värdena för Plancks konstant, gravitationskonstanten och ljusets hastighet kan vi beräkna Planckvolymen till ungefär  $4,224 \times 10^{-105} \text{ m}^3$ .

## Hur många planckvolymmer får plats i en kubikmeter?

Sätt in värdena för Plancks konstant, gravitationskonstanten och ljusets hastighet, och beräkna:

$$V_p = (6,626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2)) / (299\,792\,458 \text{ m/s})^5 = 4,227 \times 10^{-105} \text{ m}^3$$

Detta innebär att en kubikmeter ryms ungefär  $2,364 \times 10^{104}$  Planckvolymmer. Vi kan beräkna detta genom att dividera 1 kubikmeter med Planckvolymen:

$$\text{Antal Planckvolymmer i en kubikmeter} = 1 \text{ m}^3 / V_p = 1 / (4,224 \times 10^{-105} \text{ m}^3) = 2,364 \times 10^{104}$$

Således ryms ungefär  $2,364 \times 10^{104}$  Planckvolymmer plats i en kubikmeter.

## Är universum sfäriskt?

Det finns ingen känd form för universum enligt vår nuvarande förståelse. Tidigare antogs det att universum var sfäriskt, men moderna observationer tyder på att universum troligtvis är platt. En platt form innebär att universum utvidgar sig lika mycket i alla riktningar och att parallella linjer aldrig kommer att mötas.

Eftersom universum utvidgar sig, innebär det att universum som vi kan observera har en avgränsad storlek, vilket ibland kallas det "synliga universum". Detta synliga universum antas vara platt och oändligt stort, men det betyder inte nödvändigtvis att hela universum är platt.

Det finns dock en teori som kallas för "inflationsteorin" som antyder att universum under en kort period tidigt i sin historia expanderade mycket snabbt, vilket skulle ha gjort universum nästan helt platt. Inflationsteorin är fortfarande en teori och kräver mer bevis för att kunna accepteras som en fullständig förklaring av universums form och struktur.

## Om vi låtsas att universum är en sfär, med en diameter på 93 miljarder ljusår, hur många kubikmeter blir det?

Om vi antar att universum är en sfär med en diameter på 93 miljarder ljusår, så skulle dess radie vara hälften av diametern, alltså 46,5 miljarder ljusår. För att beräkna volymen av en sfär med denna radie, kan vi använda formeln:

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

där V är volymen, r är radien och  $\pi$  är pi, vilket är cirka 3,14.

Sätt in värdet för radien: 46,5 miljarder ljusår.

Det blir  $4,01 \times 10^{40}$  kubikljusår.

Vi kan sedan omvandla ljusår till meter genom att använda att 1 ljusår motsvarar cirka 9,46 biljoner kilometer, eller  $9,46 \times 10^{15}$  meter.

Detta ger oss en volym på ungefär  $3,40 \times 10^{80}$  kubikmeter. Detta är dock en hypotetisk beräkning, eftersom universum inte har en känd form och vi inte vet dess exakta storlek.

## Hur många planckvolymen får plats i vårt hypotetiska, sfäriska universum?

Om vi antar att vårt universum är en sfär med en diameter på 93 miljarder ljusår och vi vill beräkna antalet Planckvolymen i det, kan vi först beräkna volymen av universum som jag nämnde tidigare:

$$V_{\text{universum}} = 3,40 \times 10^{80} \text{ kubikmeter}$$

Sedan kan vi beräkna antalet Planckvolymen genom att dela volymen av universum med volymen av en enda Planckvolym:

Antal Planckvolymen i universum =  $V_{\text{universum}} / V_p$  där  $V_p$  är volymen av en enda Planckvolym som vi nämnde tidigare, vilket är ungefär  $4,22 \times 10^{-105}$  kubikmeter.

Sätt in dessa värden ger:

$$\frac{(V_{\text{universum}} = 3,40 \times 10^{80} \text{ m}^3)}{(V_p = 4,22 \times 10^{-105})}$$

Antal Planckvolymen i universum =  $(3,40 \times 10^{80} \text{ kubikmeter}) / (4,22 \times 10^{-105} \text{ kubikmeter}) \approx 8,07 \times 10^{184}$  Planckvolymen.

Således skulle det finnas ungefär  $8,07 \times 10^{184}$  Planckvolymen i ett universum som är en sfär med en diameter på 93 miljarder ljusår, om vi antar att universum är kvantiserat i enheter av Plancklängd och Plancktid. Detta är en enormt stor mängd och visar på hur finstämd och detaljerad strukturen av rymdtiden skulle vara om kvantteorin och relativitetsteorin stämmer även vid högsta energier och de minsta avståndsskalorna.

## Om man permuterar $8,07 \times 10^{184}$ vad blir det då?

Antalet möjliga permutationer av  $8,07 \times 10^{184}$  element skulle vara lika med  $(8,07 \times 10^{184})!$ , vilket är produkten av alla heltal från 1 till  $8,07 \times 10^{184}$ .

## Vad är en plancktid?

En Plancktid är den minsta enheten av tid som kan existera enligt teorin om kvantgravitation. Den definieras som tiden som ljuset tar för att färdas en Plancklängd i vakuum, vilket är ca  $5,39 \times 10^{-44}$  sekunder. Plancktiden är en av de grundläggande Planckenheterna som utgör en del av Planckskalans, vilken är ett system av enheter som definieras av grundläggande fysikaliska konstanter, inklusive gravitationskonstanten, hastigheten av ljus och Planckkonstanten. Eftersom Plancktiden är så kort, är det för närvarande omöjligt att utföra experiment som kan bekräfta dess existens.

## Hur gammalt är universum?

Enligt de senaste observationerna från rymdteleskopet Planck och andra experimentella data, är universum ungefär 13,8 miljarder år gammalt. Denna ålder beräknas genom att studera kosmisk bakgrundsstrålning, som är den strålning som utsänds från universums barndom. Genom att mäta

och analysera denna strålning kan forskare dra slutsatser om universums tidiga utveckling och uppskatta dess ålder. Det är dock viktigt att notera att detta är en uppskattning och att vår förståelse av universums tidiga historia fortfarande utvecklas och förfinas med nya observationer och forskning.

### **Hur många plancktider blir det?**

För att beräkna universums ålder i Plancktider delar vi universums ålder i sekunder med en Plancktid, som är cirka  $5,39 \times 10^{-44}$  sekunder:

$$\text{Ålder i Plancktider} = (13,8 \text{ miljarder år}) / (5,39 \times 10^{-44} \text{ sekunder}) = 2,56 \times 10^{60} \text{ Plancktider}$$

Det betyder att universums ålder kan uttryckas som  $2,56 \times 10^{60}$  Plancktider. Det är viktigt att notera att detta är ett mycket stort tal och återspeglar den enorma skalan på Plancktiderna och universums ålder.

### **Om antalet bitpermutationer ( $(8,07 \times 10^{184})!$ ) av planckvolymen ändras varje plancktid, hur många kombinationer kan då universum ha existerat i?**

Om antalet bitpermutationer av planckvolymen ändras varje plancktidsenhet och antalet möjliga bitpermutationer av planckvolymen är lika med  $(8,07 \times 10^{184})!$ , så kan universum ha existerat i en enorm mängd kombinationer som skulle vara svåra att räkna ut.

Om vi antar att universum har funnits i 13,8 miljarder år, vilket är den uppskattade åldern för universum, och att varje plancktidsenhet är ungefär  $5,39 \times 10^{-44}$  sekunder, då skulle antalet plancktidsenheter under universums existens vara ungefär  $2,6 \times 10^{60}$ .

Så om antalet möjliga bitpermutationer ändras varje plancktidsenhet och antalet möjliga bitpermutationer är lika med  $(8,07 \times 10^{184})!$ , då skulle antalet kombinationer som universum kan ha existerat i vara lika med  $(8,07 \times 10^{184})!$  upphöjt till  $2,6 \times 10^{60}$ . Det är en enorm mängd kombinationer och svårt att uttrycka på ett begripligt sätt.

**Svar:**  $(8,07 \times 10^{184})!^{(2,6 \times 10^{60})}$  olika versioner av universum kan ha existerat!

### **Hur lång tid tar det innan alla svarta hål har dunstat bort i Hawking-strålning?**

Enligt Hawking-strålningsteorin försvinner svarta hål successivt genom att avge strålning. Storleken på strålningen ökar när svarta hål minskar i storlek, och i slutändan försvinner de helt och hållet.

Tiden det tar för ett svart hål att dunsta bort i Hawking-strålning beror på dess massa. Ju mindre massa, desto snabbare försvinner svarta hål. Ett svart hål med solmassa skulle ta cirka  $10^{67}$  år att dunsta bort i Hawking-strålning. Ett svart hål med en massa på en miljard solmassor skulle ta ungefär  $10^{97}$  år att försvinna på samma sätt.

Eftersom tiden det tar för ett svart hål att dunsta bort i Hawking-strålning ökar dramatiskt med dess massa, är det mycket osannolikt att alla svarta hål i universum skulle försvinna på detta sätt inom en

överskådlig framtid. De allra flesta svarta hål i universum är förmodligen mycket stora, och det skulle ta en astronomiskt lång tid för dem att dunsta bort i Hawking-strålning.

### **Hur stort är det största svarta hålet man hittat?**

Det största svarta hålet som hittills har upptäckts är det supermassiva svarta hålet i mitten av galaxen Messier 87, som ligger cirka 55 miljoner ljusår bort från jorden. Detta svarta hål har en massa som uppskattas vara cirka 6,5 miljarder gånger solens massa och har en horisontell radie (händelsehorisont) som sträcker sig till cirka 120 miljarder kilometer (ungefär 80 astronomiska enheter). Detta gör det till ett av de mest massiva objekten i universum.

### **Hur lång tid skulle det ta för det att avdunsta i Hawking-strålning?**

Tiden det skulle ta för det supermassiva svarta hålet i Messier 87 att avdunsta i Hawking-strålning är mycket längre än universums nuvarande ålder på cirka 13,8 miljarder år. Ett svart hål av den storleken skulle ta mycket längre tid att försvinna än vad universum har funnits. Enligt beräkningar skulle det ta cirka  $10^{100}$  år för detta svarta hål att avdunsta i Hawking-strålning. Detta är ett astronomiskt stort tal som är mycket större än universums ålder och även mycket längre än vad som förväntas vara universums återstående livslängd.

### **Hur många plancktider är $10^{100}$ år?**

En plancktid är den tidsenhet som är definierad utifrån de grundläggande konstanterna i fysiken, nämligen Plancks konstant, ljusets hastighet och gravitationskonstanten. Den är ungefär lika med  $5,4 \times 10^{-44}$  sekunder. För att ta reda på hur många plancktider som finns i  $10^{100}$  år kan man dividera  $10^{100}$  år med en plancktids längd:

$$10^{100} \text{ år} / 5,4 \times 10^{-44} \text{ sekunder} \approx 1,85 \times 10^{143} \text{ plancktider}$$

Det skulle alltså finnas ungefär  $1,85 \times 10^{143}$  plancktider i en tid på  $10^{100}$  år. Detta är en astronomiskt stor mängd tid och visar på hur enormt universums tidsramar är.

### **Till hur många diameter kommer universum att expandera till på $10^{100}$ år?**

Det är inte möjligt att ge en exakt uppskattning av hur mycket universum kommer att expandera på  $10^{100}$  år eftersom det beror på flera faktorer, bland annat på hur mycket mörk energi finns i universum och på hur universums expansion accelererar över tiden.

Men enligt den kosmologiska konstanten och modellen för den accelererande expansionen av universum så kommer det troligen att fortsätta expandera och bli mycket större än vad det är idag. På en skala av universums storlek uttryckt i antal diameter är det svårt att ge en exakt siffra, men man kan säga att universum förväntas expandera väldigt mycket under  $10^{100}$  år, mycket mer än vad vi kan föreställa oss.

## Om vi antar att expansionen beror på de 68% mörk energi som tros finnas?

Om vi antar att universums expansion beror på den så kallade "mörka energin", som anses utgöra cirka 68% av universums totala energiinnehåll, skulle universum fortsätta att expandera i en accelererande takt. Detta skulle innebära att universum skulle expandera allt snabbare ju längre tid som går, vilket i sin tur skulle innebära att det skulle nå mycket större storlekar över tiden.

Även om det är svårt att ge en exakt siffra på hur många diametrar universum skulle expandera på  $10^{100}$  år, så skulle det troligen vara en väldigt stor ökning i storlek jämfört med idag. Eftersom universums storlek idag uppskattas till cirka 93 miljarder ljusår i diameter, skulle en expansion på  $10^{100}$  år med den nuvarande hastigheten innebära att universum skulle bli enormt stort och på många, många gånger större än vad det är idag.

## Hur mycket på ett ungefär?

Det är svårt att ge en exakt siffra på hur mycket större universum skulle bli på  $10^{100}$  år om det fortsatte att expandera i den accelererande takten som orsakas av den mörka energin. Men det är troligt att universum skulle expandera så mycket att det skulle bli många, många gånger större än vad det är idag.

En uppskattning av hur mycket större universum skulle bli kan göras genom att beräkna hur många gånger universums skala skulle öka under  $10^{100}$  år. Om vi antar att universums skala ökar med en faktor på 10 varje  $10^{18}$  år, vilket är en vanlig uppskattning, skulle universum ha ökat i skala med en faktor på  $10^{82}$  gånger under  $10^{100}$  år. Detta skulle innebära att universum skulle ha expanderat till en storlek på minst  $10^{82}$  gånger den nuvarande storleken. Det är en enorm ökning i storlek och svårt att föreställa sig.

Notera att denna uppskattning är baserad på antaganden och modeller av universums expansion och det faktiska resultatet kan variera.

## Ok, vad är 93 miljarder gånger $10^{82}$ ?

93 miljarder gånger  $10^{82}$  är:

$9,3 \times 10^{10} \times 10^{82} = 9,3 \times 10^{92}$ . Universum kommer då att ha en diameter på  $10^{82}$  ljusår.

## Om ett framtida universum är sfäriskt med en diameter på $9,3 \times 10^{92}$ ljusår, hur många planckvolymer blir det?

Om vi antar att universum är sfäriskt med en diameter på  $9,3 \times 10^{92}$  ljusår, kan vi beräkna volymen av universum som en sfär med formeln:

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

där  $r$  är radien av sfären, som är hälften av diametern.

$r = (9,3 \times 10^{92})/2 = 4,65 \times 10^{92}$  ljusår

$$V = (4/3) \pi (4,65 \times 10^{92})^3 \approx 5,7 \times 10^{278} \text{ kubikljusår.}$$

För att beräkna antalet planckvolymen kan vi sedan dela den totala volymen med volymen av en enda planckvolym:

$$N = V/V_p$$

där  $V_p$  är volymen av en enda planckvolym, vilket är lika med  $(l_p)^3$  där  $l_p$  är plancklängden.

$$V_p = (1.616 \times 10^{-35} \text{ meter})^3 \approx 4,22 \times 10^{-105} \text{ kubikmeter} \quad V_p = (4,1357 \times 10^{-69} \text{ joulesekunder})^3 \approx 6,97 \times 10^{-207} \text{ kubikjoulesekunder}$$

Vi kan nu beräkna antalet planckvolymen  $N$  för båda fallen:

$$N = 5,7 \times 10^{278} \text{ kubikljusår} / 4,22 \times 10^{-105} \text{ kubikmeter} \approx 1,35 \times 10^{383} \text{ planckvolymen.}$$

$$N = 5,7 \times 10^{278} \text{ kubikljusår} / 6,97 \times 10^{-207} \text{ kubikjoulesekunder} \approx 8,19 \times 10^{484} \text{ planckvolymen.}$$

Notera att dessa beräkningar är baserade på antaganden och modeller av universums storlek och planckskalans och det faktiska resultatet kan variera.

Ok,  $\approx 8,19 \times 10^{484}$  planckvolymen består rymden av om  $10^{100}$  år.

**Vad blir  $(8,19 \times 10^{484}) \cdot (1,85 \times 10^{143})$**

Jag kan beräkna produkten åt dig. Det blir:

$$(8,19 \times 10^{484}) \cdot (1,85 \times 10^{143}) = 1.51415 \times 10^{628}$$

Svaret är alltså ungefär  $1.51415 \times 10^{628}$ .

**Hur mycket är  $(1.51415 \times 10^{628})!$**

Det numret är mycket stort! Det är faktoriellt av  $1.51415 \times 10^{628}$ , vilket innebär att det är produkten av alla heltal från 1 till  $1.51415 \times 10^{628}$ . Eftersom det är så stort är det omöjligt att beräkna exakt, och det finns inget enkelt sätt att ge en exakt representation av det här numret. Men det går att säga att det är en mycket, mycket stor siffra.

**Skriv på ett ungefär.**

Det faktoriella värdet av  $1.51415 \times 10^{628}$  är en enorm siffra med cirka  $2,4 \times 10^{628}$  siffror. Det är svårt att föreställa sig hur stort detta nummer är, men det är många, många gånger större än antalet atomer i universum!

**Är det större än Grahams tal?**

Ja, det faktoriella värdet av  $1.51415 \times 10^{628}$  är mycket större än Grahams tal. Graham's tal är ungefär  $3^{3^{3}}$  (där pilnotationen betyder exponentiering upprepade gånger), vilket är ungefär  $7,6 \times 10^{153}$  siffror. I jämförelse är det faktoriella värdet av  $1.51415 \times 10^{628}$  mycket, mycket större och har cirka

$2,4 \times 10^{628}$  siffror. Så det faktoriella värdet av  $1.51415 \times 10^{628}$  är en av de största talen som har beskrivits i matematiken.

### Enklare beräkning...

#### Om ett framtida universum är sfäriskt med en diameter på $9,3 \times 10^{92}$ ljusår, hur många planckvolymen blir det?

Antalet planckvolymen i det sfäriska universum du beskriver kan beräknas genom att ta universums volym och dela upp den i planckvolymen.

Volymen av ett sfäriskt universum med en diameter på  $9,3 \times 10^{92}$  ljusår kan beräknas med formeln för volymen av en sfär:

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

Diameter =  $9,3 \times 10^{92}$  ljusår Radie =  $4,65 \times 10^{92}$  ljusår  $\pi = 3,14159265359$

$V = (4/3) \pi (4,65 \times 10^{92})^3 = 4,82 \times 10^{279}$  kubikljusår

En kubikljusår är lika med  $(9,461 \times 10^{15})^3$  kubikmeter.

1 kubikljusår =  $(9,461 \times 10^{15})^3 \text{ m}^3 = 8,47 \times 10^{51} \text{ m}^3$

Därför är volymen i kubikmeter:

$V = 4,82 \times 10^{279} * 8,47 \times 10^{51} \text{ m}^3 = 4,08 \times 10^{331} \text{ m}^3$

Nu kan vi beräkna antalet planckvolymen i detta universum genom att ta volymen och dela den med volymen av en enda planckvolym:

Antal planckvolymen =  $V_{\text{planck}} / V_{\text{universum}}$  där  $V_{\text{planck}} = (1,616229 \times 10^{-35} \text{ m})^3$  och  $V_{\text{universum}} = 4,08 \times 10^{331} \text{ m}^3$

Antal planckvolymen =  $(4,08 \times 10^{331} \text{ m}^3) / [(1,616229 \times 10^{-35} \text{ m})^3] = 1,97 \times 10^{1239}$

Så det finns ungefär  $1,97 \times 10^{1239}$  planckvolymen i det framtida sfäriska universum du beskrev.

#### Vad är $(1,97 \times 10^{1239}) * (10^{143})$ , alltså antalet plancktider i universums historia

För att multiplicera två tal i vetenskaplig notation multipliceras deras koefficienter och adderar exponenterna:

$$(1,97 \times 10^{1239}) * 10^{143} = 1,97 \times 10^{(1239+143)} = 1,97 \times 10^{1382}$$

Så här många  $1,97 \times 10^{1382}$  "versioner" har universum varit i när det sista svarta hålet dör ut.

**Om universum funnits i  $(1,97 \times 10^{1382})$  "versioner", hur många olika tänkbara kombinationer finns det av det?**



Om universum funnits i  $(1,97 \times 10^{1382})$  "versioner" och antalet bitpermutationer ändras varje plancktid, kan vi uppskatta antalet tänkbara kombinationer av universum som:

$$(8,19 \times 10^{484})!^{(1,97 \times 10^{1382})} = 10^{((1,97 \times 10^{1382}) * (8,19 \times 10^{484}))}$$

Vilket är ett enormt antal, ungefär  $10^{(1.6 \times 10^{1866})}$ . Det är svårt att föreställa sig hur stort detta antal är, men det är säkert mycket större än antalet partiklar i universum.

### **Hur mycket är $(10^{(1.6 \times 10^{1866})})$**

Det är ett enormt tal som är svårt att förklara med vanliga ord. För att ge en uppfattning om storleksordningen, så är detta talet mycket större än det uppskattade antalet partiklar i hela universum ( $10^{80}$ ). Det är faktiskt mycket större än det uppskattade antalet möjliga bitpermutationer för hela universum, vilket är ungefär  $10^{(10^{122})}$ . Talet är svårt att hantera och uttrycka i vanlig skrift, och det är svårt att föreställa sig hur stort det är.

### **Är det större än Grahams tal?**

Ja, det är mycket större än Grahams tal. Grahams tal är ungefär  $10^{(10^{14})}$ , medan  $(10^{(1.6 \times 10^{1866})})$  är 10 följt av ett mycket större antal nollor än det finns i Grahams tal.