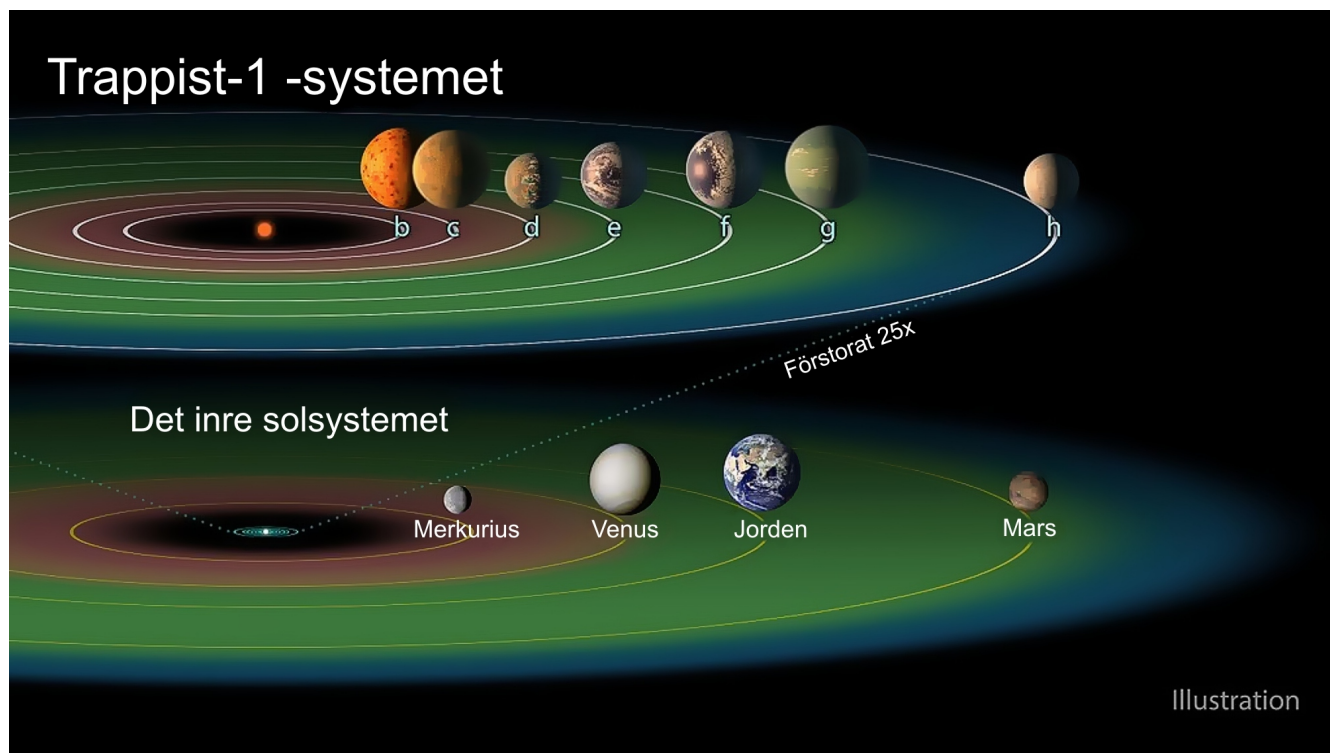


Trappist-1 -systemet

Den bruna dvärgen och de sju kloten



Trappist-1 är en sval dvärgstjärna, en brun dvärg, som man 2017 upptäckte flera planeter kring. För tillfället känner man till sju planeter i omloppsbana kring Trappist-1, alla är stenplaneter och väldigt nära jordens storlek. Men - hur lik jorden är planeterna?



Illustrationen visar vårt eget solsystem i jämförelse med Trappist-1-systemet. Den gröna färgen indikerar den "beboeliga zonen" Bild: NASA/JPL-Caltech

Att en planet finns i den "beboeliga zonen" betyder att planeten är på ett sådant avstånd från sin stjärna att strålningen från stjärnan räcker till för att det ska kunna finnas vatten i flytande form på planetens yta. Inget mer. Det betyder alltså inte att man behändigt skulle kunna bosätta sig där.

Läs artikeln "Vetenskap eller Science Fiction" som Elin Sandström skrev när hon gick i nian. Den finns på <https://edugalaxen.com/2016/10/20/vetenskap-eller-science-fiction/>

Gå sedan in på European Southern Observatory's webbsida, eso.org och ta reda på med om Trappist-1-systemet. <https://www.eso.org/public/sweden/news/eso1706/> (på svenska)

Fundera över avståndet till Trappist-1. Anta till exempel, som Elin i sin text, med den hastighet som New Horizons höll.

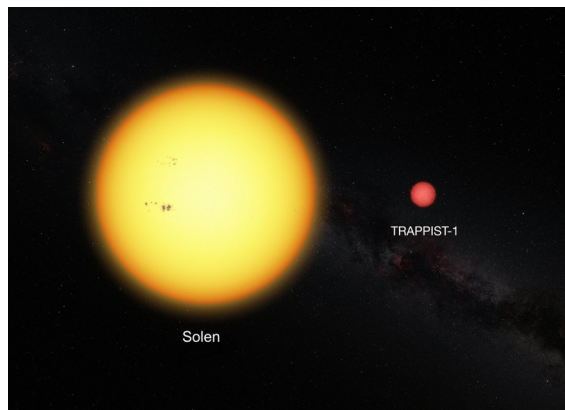
- Hur länge skulle det då ta att komma de 39 ljusåren till Trappist-1?

Själva stjärnan, Trappist-1 har en radie som är 0,114 gånger så lång som Solens ($0,114R_{\odot}$) med en felmarginal om 0,6% av $R_{\odot}$ och en massa som är 0,080 gånger Solens ($0,080M_{\odot}$).

- Kan du hitta två bollar som beskriver Trappist-1's storlek jämfört med Solen?
- Vilken densitet har stjärnan?

Hur gick det med storleksjämförelsen mellan Solen och Trappist-1 på förra sidan? Kan man hävda att Trappist-1 är något större än en tiondel av Solen ifall radien är drygt 11% av solens?

Vi måste komma ihåg att en stjärna är en tredimensionell kropp, en sfär. Solens radie är 696342 ± 65 km. Radien hos Trappist-1 är $(0,114 \pm 0,006) \cdot 696342$ km, 79383 ± 4178 km. Vi kan för enkelhetens skull säga att solens radie är 700000 km och Trappist-1's 80000 km. Vi kan räkna ut volymen av de två stjärnorna med hjälp av formeln:



Originalbild: ESO

$$V = \frac{4\pi r^3}{3} \quad \text{Då är Solens volym} \quad V = \frac{4\pi(7 \cdot 10^5)^3}{3} = 1,4 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$$

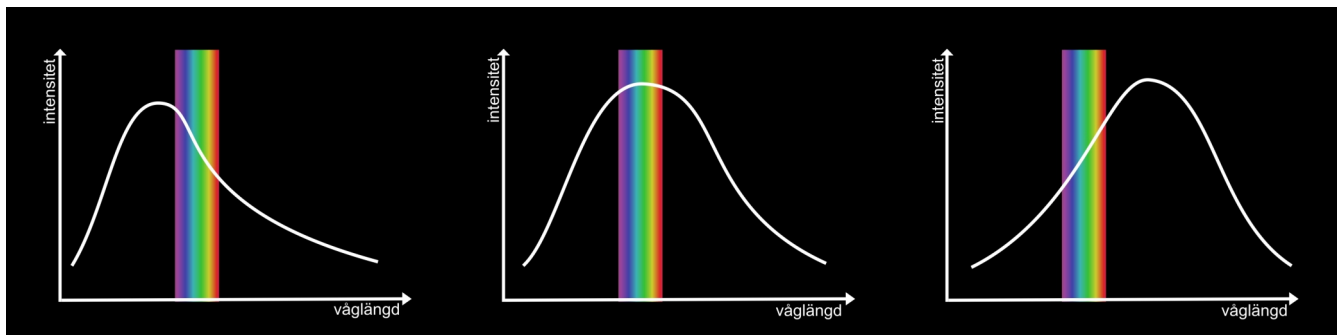
Räkna på samma sätt ut volymern på Trappist-1. Hur stor är skillnaden i volym mellan de två stjärnorna?

Vill man behändigt jämföra storleksförhållandet mellan de två stjärnorna kan vi direkt använda oss av jämförelsetalen. Solens radie är $1 R_{\odot}$ och radien på Trappist-1 är $0,114 R_{\odot}$. Vi ser ovan att det är möjligt att bruka endast radien, eftersom den är den enda som förändras. Då kan hela uträkningen reduceras till

$$\frac{1^3}{0,114^3} = 675 \quad \text{eller} \quad \frac{0,114^3}{1^3} = \frac{1}{675} \quad \text{Solen är 675 gånger så stor som Trappist, eller Trappist-1 är en 675:e-del så stor som Solen, beroende på hur man vill se det.}$$

Kan du visa att vi inte tagit en genväg som kan leda uträkningen vilse? Börja med formeln för volymberäkning av en sfär och visa att den, med insättning av storleksförhållandet mellan Solen och Trappist-1, leder till den reducerade uträkningen.

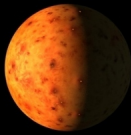
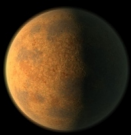
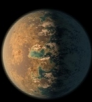
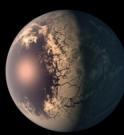
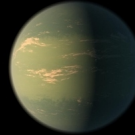
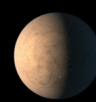
Förutom att stjärnan Trappist-1 är knappt större än Jupiter (kontrollera gärna) är den också en mycket sval stjärna, med en yttemperatur på 2250 ± 55 Kelvin jämfört med Solens fotosfär som är 5778 Kelvin. Det betyder också att Trappist-1 sänder ut största delen av sin energi i infrarött. Solen ger mest energi i de våglängder vi kan se och beskriver som synligt ljus.

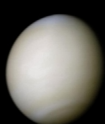


Längst till vänster ser vi en graf som illustrerar ljuset från en het stjärna. Solen, vars energiflöde vi och övrigt levande på jorden är anpassade till, visas i mitten. Längst till höger har vi en sval stjärna.

Vilken färg uppfattar vi att en het stjärna har? Vilken färg skulle vi beskriva ljuset från den mycket svala stjärnan Trappist-1 ha?

Det framgår redan i bilden på första sidan att planetsystemet kring Trappist-1 är väldigt litet till sin utbredning. Den planet som är längst bort från värdstjärnan är på ett avstånd motsvarande en sjättedel av avståndet mellan Merkurius och Solen.

Trappist-1 systemet		Illustrationer						
								
		b	c	d	e	f	g	h
Omloppstid		1,51 dygn	2,42 dygn	4,05 dygn	6,10 dygn	9,21 dygn	12,35 dygn	~20 dygn
Banradie		0,011 AU	0,015 AU	0,021 AU	0,028 AU	0,037 AU	0,045 AU	~0,06 AU
Radie		1,09 r_{Jorden}	1,06 r_{Jorden}	0,77 r_{Jorden}	0,92 r_{Jorden}	1,04 r_{Jorden}	1,13 r_{Jorden}	~0,76 r_{Jorden}
Massa		0,85 m_{Jorden}	1,38 m_{Jorden}	0,41 m_{Jorden}	0,62 m_{Jorden}	0,68 m_{Jorden}	1,34 m_{Jorden}	

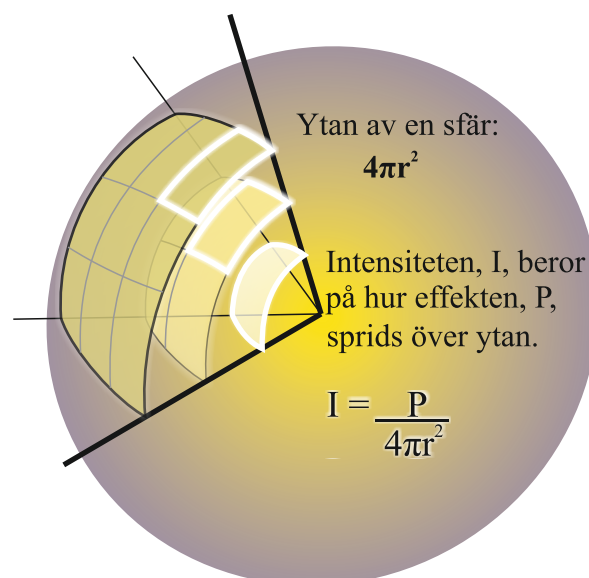
Det inre Solsystemet					
		Merkurius	Venus	Jorden	Mars
Omloppstid		87,97 dygn	224,70 dygn	365,26 dygn	686,98 dygn
Banradie		0,387 AU	0,723 AU	1,000 AU	1,524 AU
Radie		0,38 r_{Jorden}	0,95 r_{Jorden}	1,00 r_{Jorden}	0,53 r_{Jorden}
Massa		0,06 m_{Jorden}	0,82 m_{Jorden}	1,00 m_{Jorden}	0,11 m_{Jorden}

Trappist-1-systemets planeter i jämförelse med vårt solsystems innersta planeter. Bild: NASA/JPL

I bilden ovan jämförs alla planeter med jorden. Avståndet till solen mäts i AU, Astronomical Unit, eller Astronomisk Enhet, vilket är avståndet mellan vår hemplanet och Solen. r_{Jorden} är Jordens radie och m_{Jorden} är Jordens massa. Sådana enheter är behändiga när det gäller att jämföra en annan planet med Jorden.

Ser vi på planeterna i vårt eget solsystem ser vi till exempel att Mars är 1,525 gånger så långt från Solen som Jorden. Mängden energi som når Mars från Solen är därför betydligt mindre än den energi som når oss på Jorden. Ljuset från en ljuskälla sprids åt alla håll och bildar så en sfär där alla föremål på samma avstånd från ljuskällan får samma mängd ljus och samma mängd energi.

Ytan av en sfär beräknas enligt $4\pi r^2$. Notera att sfären växer med kvadraten på radien. Kan du förklara det utgående från bilden intill?

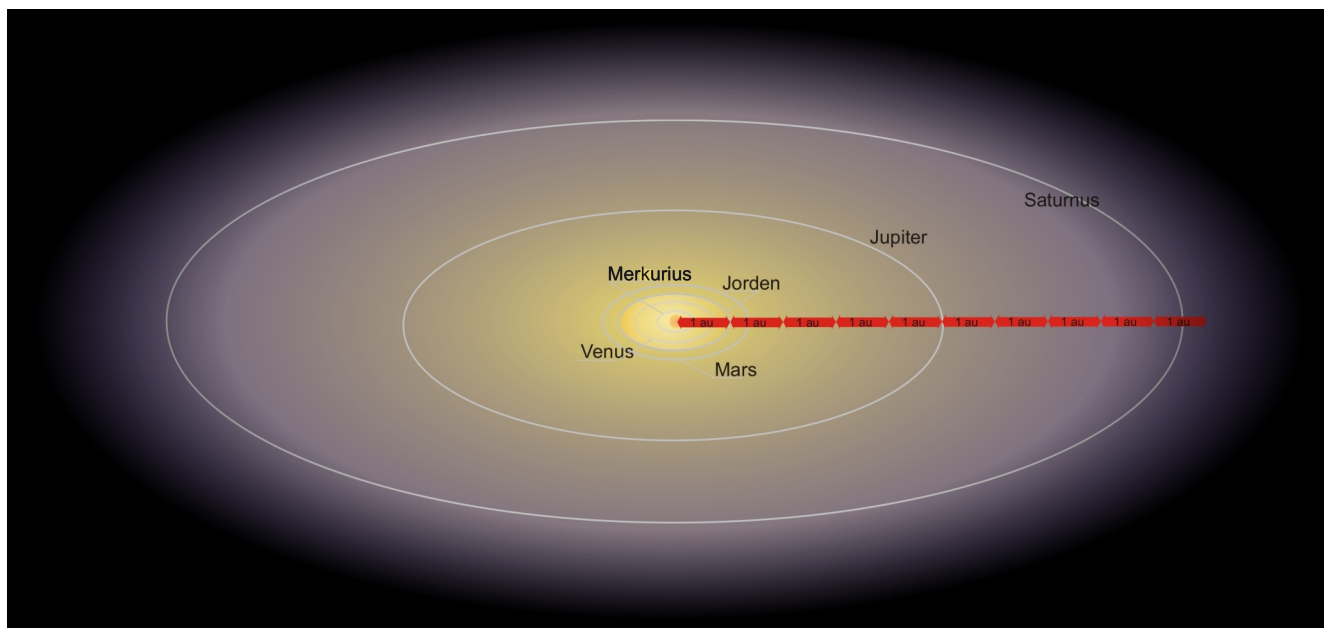


Använder vi Jorden som referenspunkt och dividerar Jordens avstånd till solen med avståndet och den planet vi ska jämföra förenklas arbetet rejält om vi använder enheten AU. Då är avståndet mellan Jorden och solen 1. En etta som också kvadrerad är 1.

Mängden energi som når Merkurius respektive Mars beräknas, om vi jämför med jorden, enligt följande:

$$\frac{Jorden}{Merkurius} = \frac{4\pi I^2}{4\pi \cdot 0,387^2} = \frac{I^2}{0,387^2} \approx \frac{1}{0,150} \approx 6,68 \qquad \frac{Jorden}{Mars} = \frac{4\pi I^2}{4\pi \cdot 1,524^2} = \frac{I^2}{1,524^2} \approx \frac{1}{2,33} \approx 0,43$$

Mars får mindre än hälften, 43%, av den solenergi Jorden får. Merkurius å andra sidan får närmare sju gånger så mycket solenergi som jorden. [Hur kan skillnaderna vara så stora?](#)



Hur vore det då om vi befann oss på Trappist-1d, på gränsen till den beboeliga zonen? Avståndet till stjärnan är då bara 0,021 AU. Skulle vi vara på det avståndet från vår egenstjärna, Solen skulle vi få 2300 gånger så stor energidos som vi nu får från Solen.

Trappist-1 är dock långt ifrån så stor och varm som vår stjärna. Den mängd energi den utstrålar motsvarar endast 252 miljondelar av den energimängd Solen utstrålar. Det gäller alltså den totala utstrålningen, bolometrisk luminositet, och betecknas $0,000525 L_{\odot}$, eller $5,25 \cdot 10^{-4} L_{\odot}$. Ser vi till det synliga ljuset, den visuella luminositeten, bjuder Trappist-1 bara på $0,00000373 L_{\odot}$, $3,73 \cdot 10^{-6} L_{\odot}$, knappt 4 miljondelar av den mängd synligt ljus Solen utstrålar. Med andra ord får Trappist-1d inte så mycket energi som vi räknade tidigare – utan att ta stjärnans utstrålning i beaktande.

Nu gör vi om beräkningen och beaktar att bolometriska luminositeten hos Trappist-1 är 525

Total utstrålad energi från Trappist-1 på ett avstånd om 0,021 AU:

$$\frac{\text{Bolometrisk luminositet jämför med Solen}}{\text{Avstånd från stjärnan}} = \frac{5,25 \cdot 10^{-4}}{0,021^2} \approx 1,19 = 119\%$$

119% här visar att Trappist-1d, som finns på ett avstånd av 0,021 AU från stjärnan är 19% mer än den energimängd vi får från Solen.

Mängden synligt ljus från Trappist-1, 3,73 miljondels $L_{\odot}$, på ett avstånd om 0,021Au är då:

$$\frac{\text{Visuell luminositet jämför med Solen}}{\text{Avstånd från stjärnan}} = \frac{3,73 \cdot 10^{-6}}{0,021^2} \approx 0,0085 = 0,85\%$$

Trappist-1d får alltså mindre än en procent synligt ljus jämfört med det vi får från Solen. Vad betyder detta i praktiken för eventuellt liv på planeten vi kallar Trappist-1d?

Fyll gärna tabellen med uträkningarna som ett sammandrag av data i jämförelse med Jorden. De tre planeterna i vårt eget solsystem som fått plats både i grafik och text är bra att ha med som jämförelse. Den ultimata frågan är: Vilken planet är den som är mest jordlik. Det finns tomma rader i tabellen som kan användas för att tillföra fler variabler. Hur vore det med omloppstid eller ytgravitation? Vi kommer strax till gravitationen.

	b	c	d	e	f	g	Merkurius	Venus	Mars
Energi									
Synligt ljus									
Omloppstid									
Gravitation									

Det finns rätt mycket som kan jämföras när det gäller Jorden och en ”jordlik planet”. Förutom alla livsviktiga variabler kan man ju också fundera på hur det ser ut på, exempelvis, Trappist-1d. Här finns en jämförelse mellan fullmånen som den ser ut från Jorden och motsvarande vy från Trappist-1d. I den senare bilden har planeterna e, f och g placerats in så som de skulle se ut om de fotograferades på motsvarande sätt som bilden till höger av månen. Varför är bilden t.v. rödaktig?

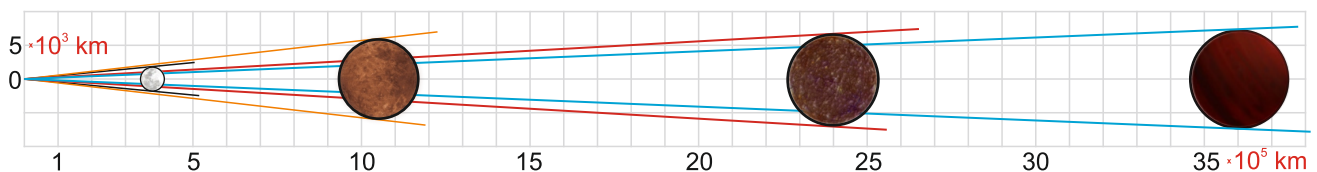


För att räkna ut hur stor en himlakropp skulle se ut i jämförelse med månen kan man använda klassisk analogi. Vi börjar med att jämföra hur Månen ser ut från oss med hur Trappist-1e ser ut från Trappist-1d:

$$\frac{\text{Avstånd mellan Trappist-1d och 1e}}{\text{Trappist-1e's radie}} = \frac{\text{Avståndet mellan Jorden och Månen}}{\text{Skenbar storlek jämfört med Månen}}$$

Det är viktigt att ha allt i samma enhet. Här är allt i km. Det vi får ut av uträkningen är hur stor Trappist-1e skulle se ut från Trappist-1d om man jämför den med hur fullmånen ser ut från Jorden.

Man ju också göra en grafisk framställning: Observera att skalan är olika på x- och y-axeln. Varför kan vi inte ha samma skala?



Ytgravitationen då?

Bland allt som skiljer sig från livet på den planet vi är vana med är ofta gravitationen. När man pratar om ytgravitation beskriver man den oftast som en acceleration i enheten m/s². På Jorden är accelerationen kring 9,8 m/s², vilket betyder att hos en kropp som faller fritt ökar hastigheten mot jordens masscentrum med 9,8m/s varje sekund. Rullar du ut ett järnklot från en höjd har det efter en sekund nått en hastighet om knappt 10 m/s. Efter två sekunder är hastigheten uppe i knappa 20 m/s.

Befinner du dig i en simmhall och gör ett hopp 0 m/s. Efter en sekund är hastigheten, som sagt, nära 10 m/s. Däremot är medelhastigheten (0 m/s + 10 m/s) / 2 = 5 m/s. Stiger du ut från fem meters höjd tar det alltså en sekund innan du når vattenytan. Prova nästa gång du tar dig ett bad.

Ytgravitationen räknas ut enligt följande: $\frac{G \cdot m}{r^2}$

G är den universella gravitationskonstanten ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$), m är himlakroppens massa och r är avståndet till himlakroppens masscentrum. "r" kan i vanliga fall likställas med planetens radie när vi söker ytgravitationen på en planet. Vi kan ju räkna ut Jordens ytgravitation genom att sätta in Jordens massa på $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ och medelradie på $6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$:

$$\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{\text{kg} \cdot \text{s}^2 \cdot (6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^2} \quad \text{Gör det gärna och märk att vi kommer fram till välkända 9,8 m/s}^2$$

Går vi tillbaka till informationsbilden på sid 3 hittar vi samma bekväma sätt att jämföra med förhållandena på jorden vi brukat tidigare. Ytgravitationen beräknas lika och G har samma värde oberoende av himlakropp vilket gör att det mesta blir ettor när vi dividerar. Jämför vi med Jorden är både dess massa och radie 1 så länge den andra planetens värden uttrycks i förhållande till Jorden.

Vi jämför ytgravitationen på Trappist-1d med den ytgravitation vi har på Jorden:

$$\frac{\text{Trappist-1d}}{\text{Jorden}} = \frac{\left[\frac{G \cdot 0,41 m_J}{(0,77 r_J)^2} \right]}{\left[\frac{G \cdot 1 m_J}{(1 r_J)^2} \right]} = \frac{G \cdot 0,41 m_J \cdot (1 r_J)^2}{G \cdot 1 m_J \cdot (0,77 r_J)^2} = \frac{0,41}{0,77^2} \approx 0,69 = 69\%$$

Med andra ord är ytgravitationen på Trappist-1d 69% av Jordens, $0,69 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \approx 6,8 \text{ m/s}^2$.

Räkna ut gravitationen för de övriga kända planeterna kring Trappist-1.

Hur vore det att ha en tävling i läng- eller höjdhopp på en planet vars gravitation är 69% av den vi är vana med?

En vältränad människas styrka och spänst räcker i stora drag till för att hållas i luften en sekund. Om vi då skulle ha just den styrkan och just den spänsten på Trappist-1d - hur skulle då tiden vi skulle hålla fötterna över marken påverkas?

Vad kan förhållandet $\frac{1}{0,69}$ ge för ledtrådar till hur högt ett hopp på Trappist-1d skulle vara jämfört med samma hopp på Jorden?

Har en planet med högre densitet också högre ytgravitation?

Den frågan kan – liksom många – undersökas på flera sätt. Vill man, kan man givetvis också googla några planeters massa och volym och räkna med dem.

$$\text{Densitet} = \rho = \frac{m}{V}$$

Enheten enligt SI-systemet är $\rho = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Det går också att uttrycka planeters massa och volym utgående från jämförelse med Jorden, så som vi gjort tidigare. Vi har reducerat jämförelse av både volym och gravitation. Ifall man nöjer sig med att besvara frågan med ett "Ja" eller ett "Nej" kan man från tidigare jämförelser fixa frågan. Gillar man algebra kan man utveckla tanken.

Häri från framöver har du en del redskap som hjälper dig jämföra exoplaneter med Jorden. Men – Ska vi komma överens om att det är en god lösning för tillfället att ta hand om den planet vi har?

