

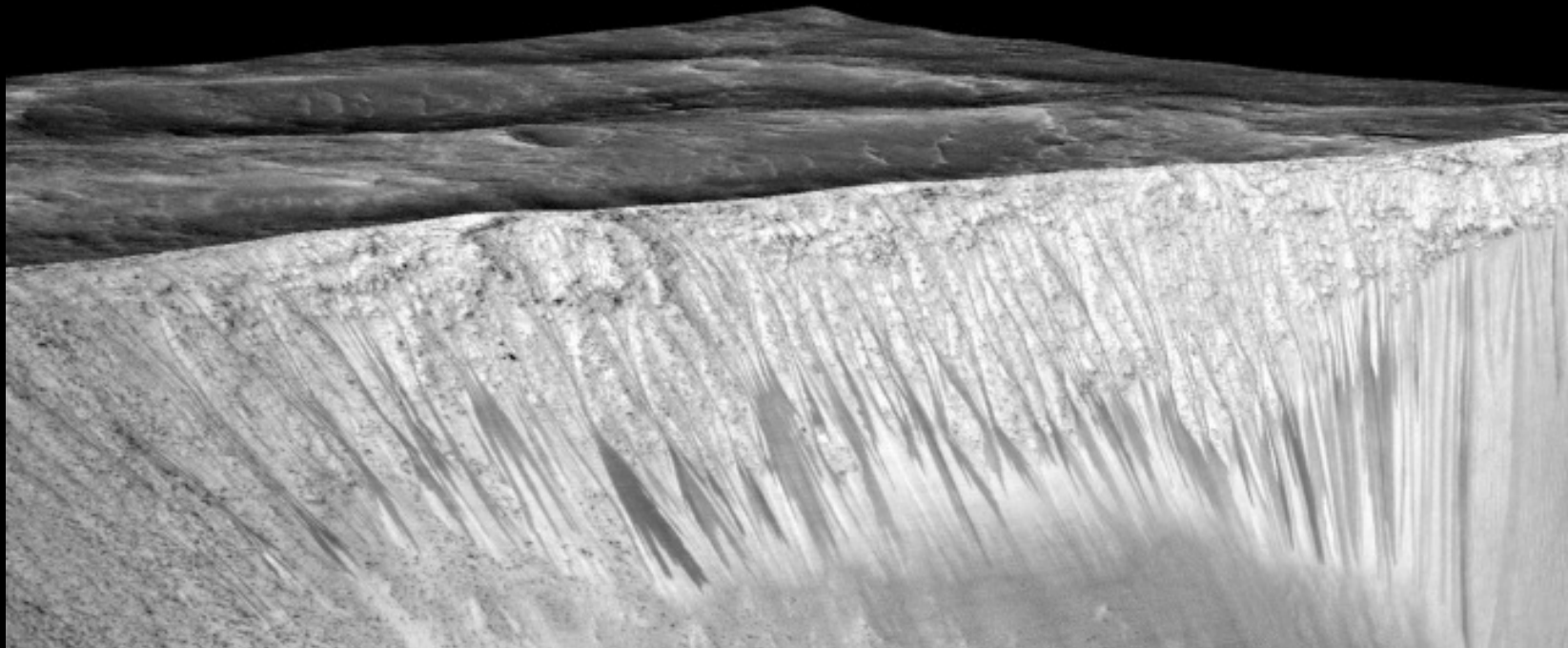
# Sökandet efter intelligent liv i rymden

## Föreläsning 7: SETIs historia och sökstrategier



# NASA pressrelease måndag 28/9: Stöd för flytande vatten på Mars

Man har sedan tidigare vetat att de mörka fårorna på Mars sluttningar ändrar form, som om flytande vatten sipprar fram då och då. Nu har Mars Reconnaissance Orbiter med spektroskopi upptäckt förekomster av saltlösningar när fårorna är som bredast – ett ytterligare stöd för att flytande vatten emellanåt rinner nedför sluttningarna



# Upplägg

SETI = Search for Extraterrestrial Intelligence

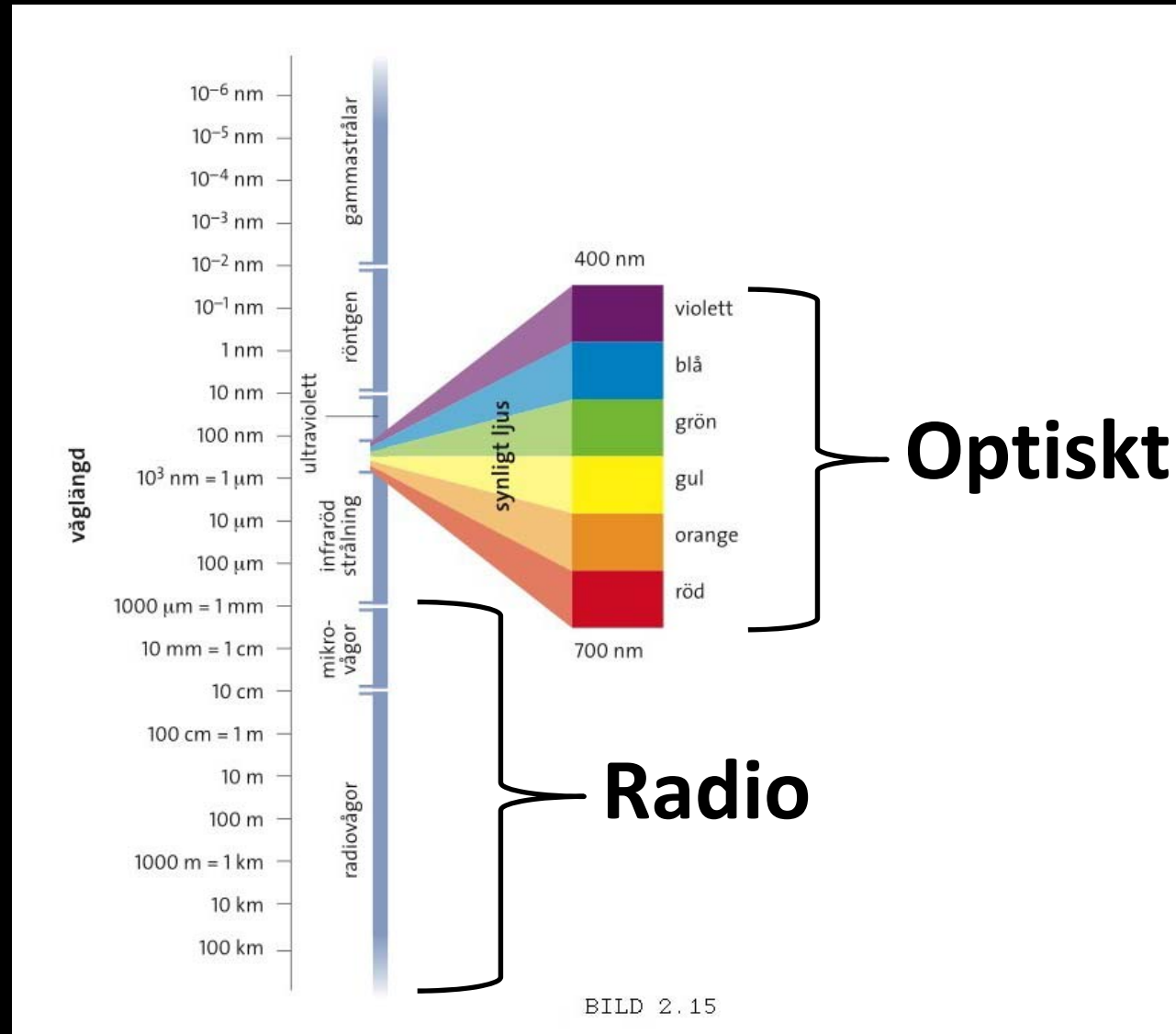
- Lite om ljus, frekvens och våglängd
- SETIs historia
- SETI@home
- Sökstrategier

Davies: Kapitel 5 + Appendix (sid 209-210)

I läsanvisningarna redan tidigare:

Davies: Kapitel 1 (sid 13-16) + Webb: sid 132-144

# Lite om elektromagnetisk strålning



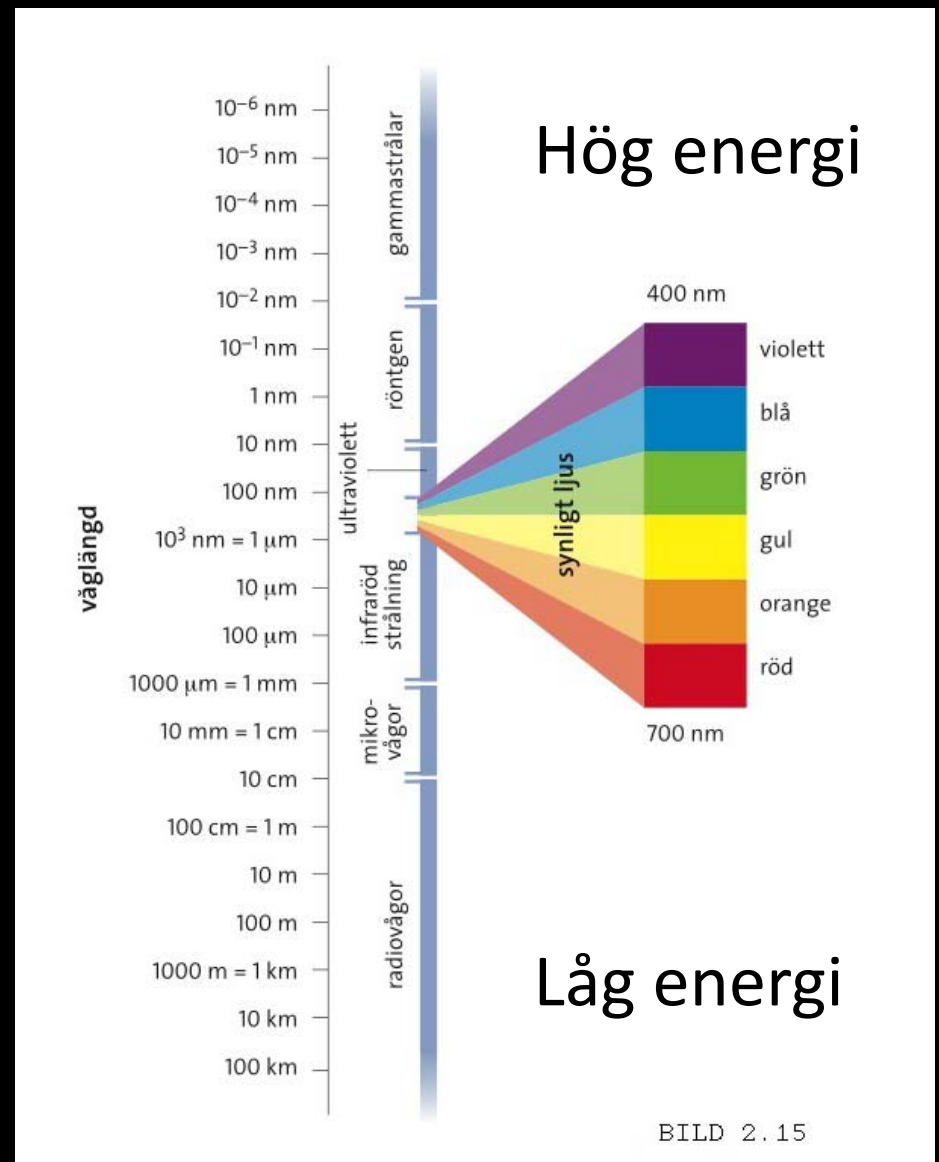
# Radiovågor och optiskt ljus

- Radiostrålning/vågor och optiskt/synligt ljus är båda exempel på **elektromagnetisk strålning**
- Elektromagnetisk strålning uppvisar både våg- och partikelegenskaper (den s.k. "vågpartikeldualiteten")
- Ljuspartiklarna kallas fotoner
- Man säger "radiovåg" och inte t.ex. "radioljus", men även radiostrålning kan anses vara fotoner

Gammastrålning, synligt ljus, radiovågor etc. är samma typ av strålning – endast frekvensen  $f$  eller våglängden  $\lambda$  skiljer dem åt

I optisk astronomi talar man vanligtvis om våglängd medan radioastronomi oftare använder frekvens (men inte alltid)

Strålning med lång våglängd (ex. radiostrålning) har låg energi, medan strålning med kort våglängd (ex. gammastrålning) har hög



# Våglängd och frekvens I

- Relationen mellan ljushastigheten  $c$  (mäts i meter per sekund), frekvensen  $f$  (mäts i "svängningar per sekund" alt. Hertz, Hz) och våglängden  $\lambda$  (mäts i meter) kan skrivas:

$$c = f \lambda$$

- I vakuum rör sig all elektromagnetisk strålning med hastigheten  $c = 3 \times 10^8$  m/s
- Andra våglängdsenheter som astronomer använder:
  - $\mu\text{m}$  (mikron eller mikrometer),  $10^{-6}$  m
  - nm (nanometer),  $10^{-9}$  m
  - Å (Ångström),  $10^{-10}$  m

# Våglängd och frekvens II

- Radiostrålning:  $\lambda > 1 \text{ mm}$  ( $f < 300 \text{ GHz}$ )
- Optisk strålning: ca 400-700 nm
- Men: Ett "optiskt teleskop" kan ofta detektera strålning upp till ca 1000 nm



Nordiska optiska teleskopet

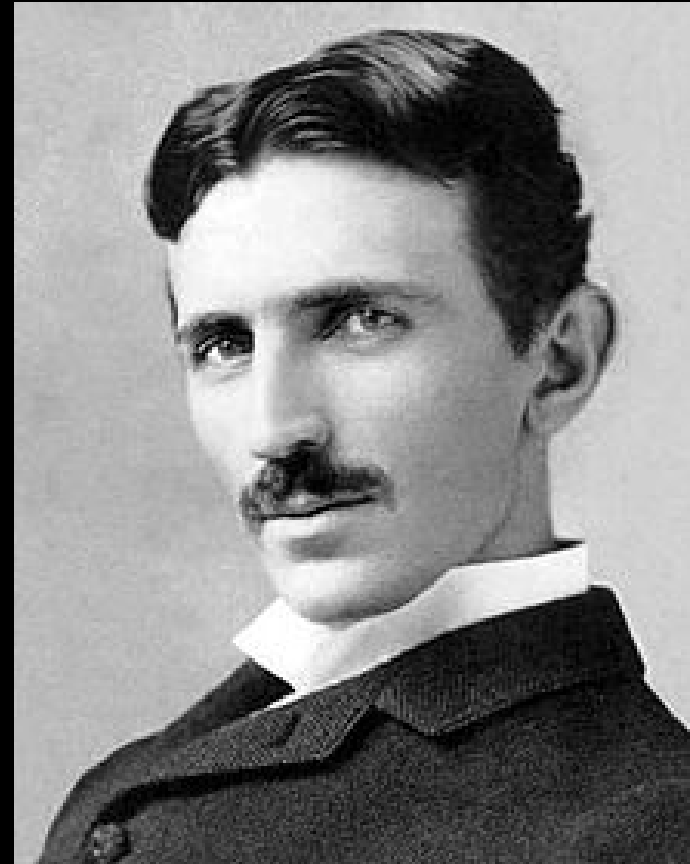


Onsalas 25-metersteleskop (radio)

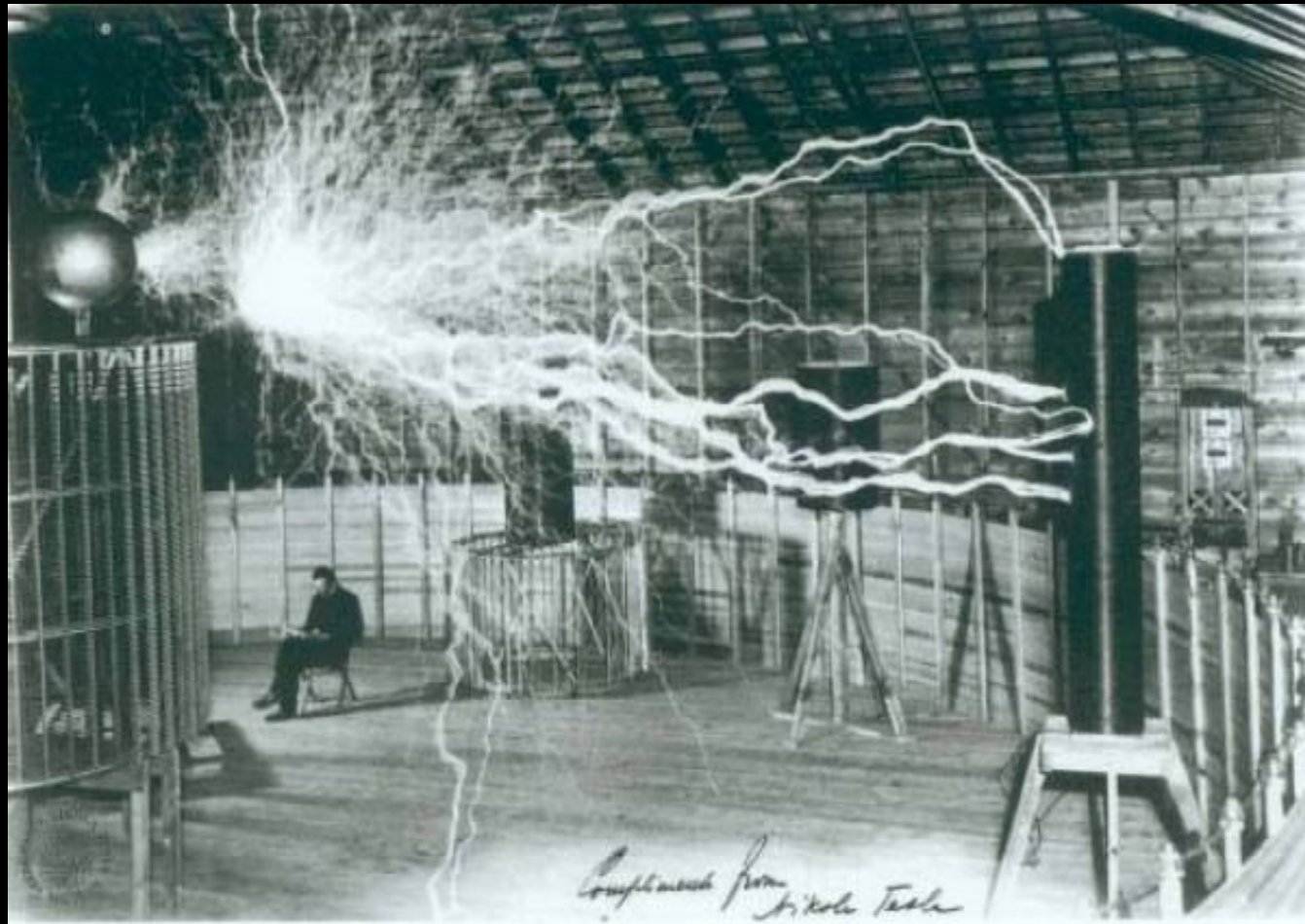


# SETIs historia I: Tesla

- Nikola Tesla (1856-1943)
- Pionjär inom växelströmsteknik och användandet av trådlös kommunikation med radiovågor
- Föreslog att radio kunde användas för att kommunicera med utomjordiska livsformer
- Sade sig ha upptäckt radiosignaler (pulser som räknade 1-2-3-4) som han trodde härstammade från Mars
- Än idag är det mycket oklart vad han egentligen uppfångade



# Teslapole



# SETIs historia II: Cocconi & Morrison

- I en artikel i *Nature* 1959 föreslog Cocconi & Morrison att man skulle söka efter radiopulser från civilisationer kring närbelägna stjärnor vid en frekvens nära 1.42 GHz (väte)

## SEARCHING FOR INTERSTELLAR COMMUNICATIONS

By GIUSEPPE COCCONI\* and PHILIP MORRISON†

Cornell University, Ithaca, New York

NO theories yet exist which enable a reliable estimate of the probabilities of (1) planet formation ; (2) origin of life ; (3) evolution of societies possessing advanced scientific capabilities. In the absence of such theories, our environment suggests that stars of the main sequence with a lifetime of many billions of years can possess planets, that of a small set of such planets two (Earth and very probably Mars) support life, that life on one such planet includes a society recently capable of considerable scientific investigation. The lifetime of such societies

To the beings of such a society, our Sun must appear as a likely site for the evolution of a new society. It is highly probable that for a long time they will have been expecting the development of science near the Sun. We shall assume that long ago they established a channel of communication that would one day become known to us, and that they look forward patiently to the answering signals from the Sun which would make known to them that a new society has entered the community of intelligence. What sort of a channel would it be ?

# SETIs historia III: Project Ozma



- 1960: Frank Drake implementerar Cocconi & Morrisons förslag med ett 26-meters radioteleskop vid Green Bank, West Virginia
- Söker efter pulslika signaler kring 1.420 GHz från två av de stjärnor C&M pekat ut:
  - Tau Ceti (12 ljusår)
  - Epsilon Eridani (10 ljusår)
- En möjlig signal upptäcks, men tillskrivs ett flygplan på hög höjd

# SETIs historia IV: Sovjets SETI-forskning

- Forskare i Sovjetunionen (ex. Shklovskii, Kardashev) var ledande i fältet under 60-talet
- Mer avvaktande hållning (“Hur bör man söka?”, Kan vi verkligen förstå utomjordiska signaler?”)  
→ Hamnade snart på efterkälken eftersom amerikanerna satte igång direkt, ”utan eftertanke”



# SETIs historia V: SETI-institutet grundas

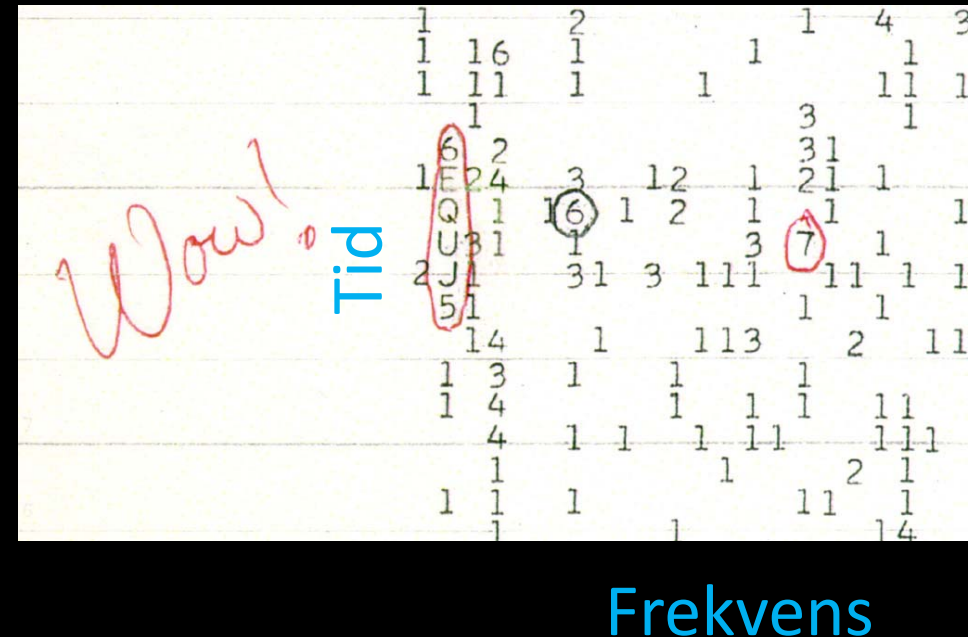
- Grundas 1984 av bl.a. Jill Tarter (nuvarande överhuvud för SETI-delen av verksamheten) i Kalifornien
- Bedriver forskning om SETI, astrobiologi och exoplaneter
- Finansieras av privata donationer
- Hyser ett 50-tal forskare



Jill Tarter

# SETIs historia VI: Wow-signalen

- Fångades upp av Big Ear i Ohio 1977 från skyttens stjärnbild, nära 1.42 GHz
- Varade 72 s (den tid teleskopet kunde följa enskilda källor)
- Svepande observationsteknik → tidsvariation även om radiokällan är konstant
- Signalen kompatibel med stark, jämn utomjordisk källa
- Har aldrig upprepat sig och förblir oförklarad

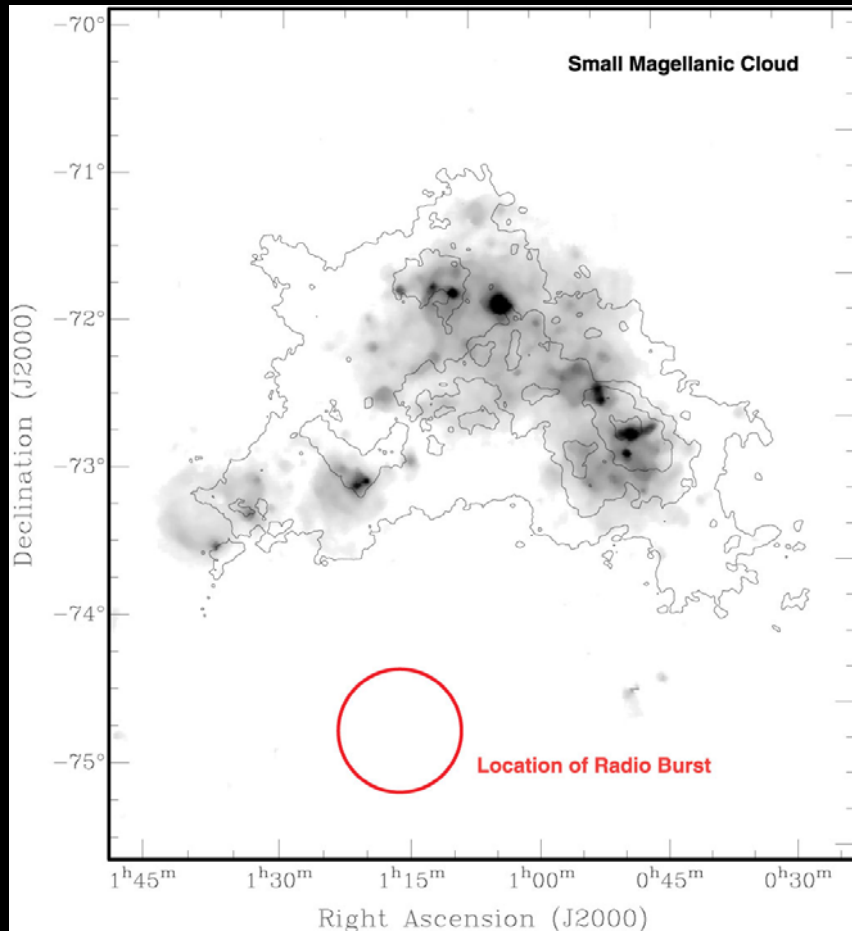




Bokstäverna är bara ett intensitetsmått –  
det finns alltså inget (synbart) meddelande i signalen



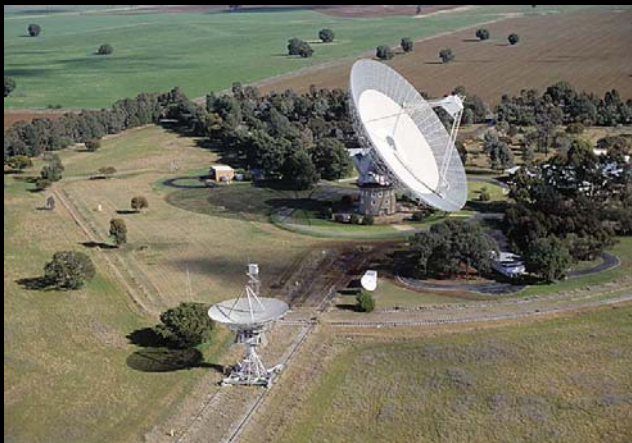
# Lorimer's pulse



- Upptäcktes under sökning efter pulsarer
- Publicerades 2007 i Science, baserad på data från 2001
- Stark puls vid 1.4 GHz, som varade mindre än 5 millisekunder
- Källan okänd – supernova eller stjärnkollision långt bortom Vintergatan?
- Idag känner vi till många pulser av det här slaget ("Fast radio bursts")
- Visar att rymden förmodligen är full av kortvariga signaler från okända astrofenomen

# SETIs historia VII: Project Phoenix

- SETI-institutets ambitiösaste projekt hittills
- Under 1995-2004 (total 11000 observationstimmar) söktes 800 lovande stjärnor inom 240 ljusårs avstånd av på jakt efter svaga, stadiga signaler vid 1-3 GHz
- Teleskop som deltog: Parkes (Australien), Green Bank (West Virginia, USA), Arecibo (Puerto Rico)



Parkes



Arecibo

# SETIs historia VIII: Optisk SETI

- Schalow & Townes (1961, Nature): Föreslår att optisk laser kan användas för interstellär kommunikation
- 80-talet: Forskare i sovjetunionen utför en mindre sökning efter optisk laser från andra civilisationer
- Slutet av 90-talet och framåt: Massor av projekt startas – mer än 10000 stjärnor söks av med mindre teleskop (~ 1m)



# SETIs historia IX: Project Argus



- Försök att från 1996 och framåt att koordinera hemmabyggda, privatägda radioantennor i SETI
- Projektet drivs av SETI league – en oberoende organisation
- **Mål: 5000 antenner** → Kontinuerlig avsökning av hela himlen
- **I nuläget: ca 140 antenner i 27 länder**
- En Argus-antenn kostar ca 35000 SEK och har känslighet jämförbar med Big Ear (som uppfångade Wow-signalen)

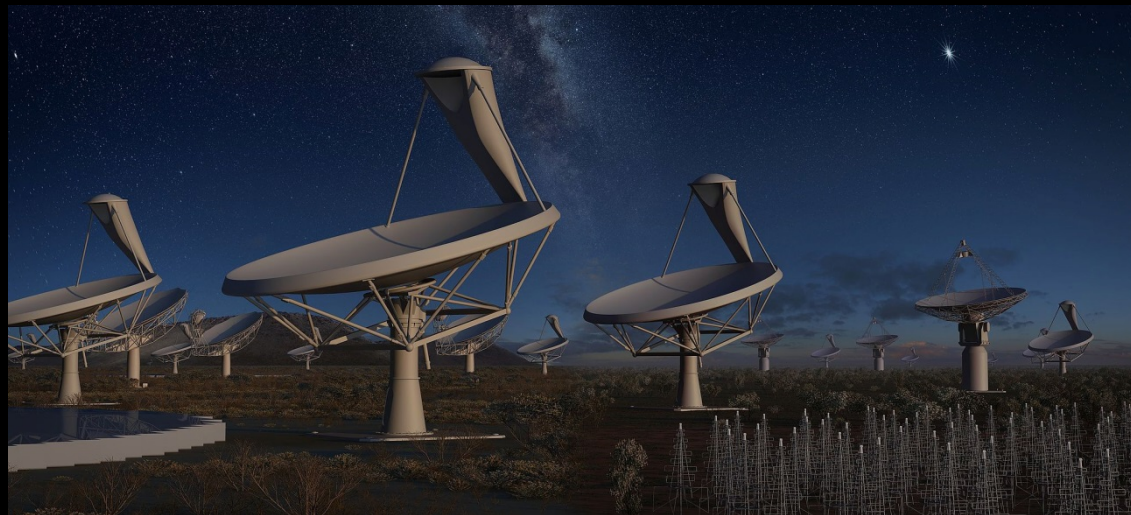
# SETIs historia X: Allen Telescope Array

- Byggs vid Hat Creek utanför San Francisco
- Tänkt att innefatta 350 antenner, men har i nuläget bara 42
- Tänkt att söka av en miljon stjärnor inom 1000 ljusårs avstånd efter intelligenta signaler mellan 1 och 10 GHz
- Tänkt att söka av ~10 miljarder stjärnor i de inre delarna av Vintergatan efter intelligenta signaler mellan 1.42-1.72 GHz (ungefär vattenhålet)



# SETIs framtid: Square Kilometer Array

- Tänkt att bli världens största radio teleskop - börjar byggas 2020 i Sydafrika och Australien (Sverige är det enda nordiska landet som gått med i projektet)
- SETI-data kan inhämtas samtidigt som arrayen utför observationer för andra projekt ("piggy-back observations")
- Kan upptäcka en artificiell radiosänderare motsvarande vår flygplansradar upp till 100 ljusår bort



# SETIs sökstrategier

## ”Klassiska” sökstrategier:

- Radiosignaler
- Laser (optisk SETI)

## Några alternativa strategier:

- Variabla stjärnor
- Artefakter (SETA)
- Rymdskepp
- Internet
- Dyson-sfärer



Tas upp senare i kursen

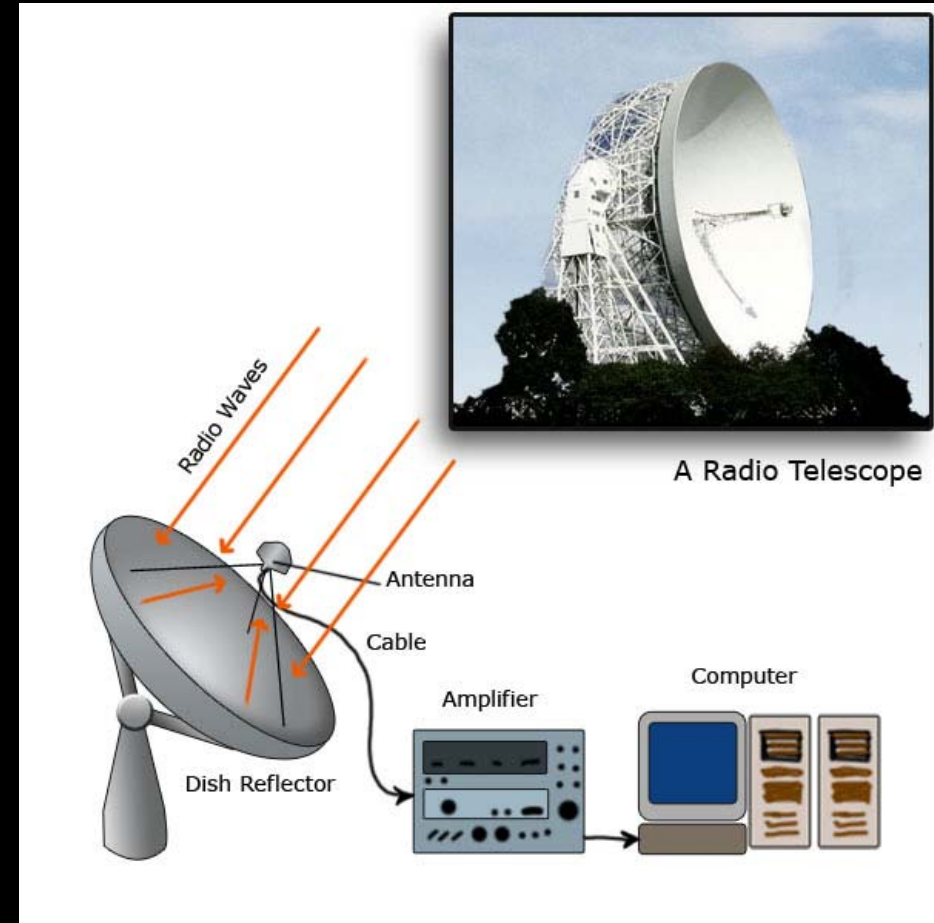


Konstnärlig vision av  
Bracewell-sond

# SETI med radioteleskop I

Två strategier:

- Sveg över stora areor av himlen → Kan detektera starka signaler
- Rikta teleskopet mot enskilda objekt (ex. närbelägna sollika stjärnor) → Kan detektera svagare signaler



Miljontals kanaler (frekvenser) övervakas samtidigt



# SETI med radioteleskop II

Vad man söker efter:

- Kontinuerlig radiostrålning med smalt frekvensintervall vid frekvens som inte motsvarar känd astrofysikalisk process
- Pulslik radiostrålning som inte motsvarar känd astrofysikalisk process (ex. pulser vid 1.4 GHz)



# SETI med radioteleskop III

- Flera radioteleskop kan kopplas samman för att ge överlägsen upplösningsförmåga – ex. 27 antenner i Very Large Array (VLA) i New Mexico
- Men: SETI kräver ofta specialmottagare, och behöver bra känslighet mer än bra upplösning
- Enskilt, stort teleskop ofta bättre för SETI (men arrayer med mindre teleskop är billigare att bygga)



Very Large Array

# Poetiska friheter man tagit sig i filmen *Kontakt* (1997)

Very Large Array  
– olämplig för SETI

Observatoriets datorerna övervakar miljontals kanaler samtidigt, men Ellie väljer att lyssna i hörlurar på *en* kanal, och upptäcker ändå signalen



# SETI@home I

- Datorprogram som använder outnyttjad processortid ("Skärmsläckare") på stort antal frivilligt upplåttna datorer för att söka efter utomjordiska signaler
- Analyserar data från Arecibo-teleskopet
- Släpptes 1999, har haft 5.2 miljoner användare,
- $\sim 10^{21}$  operationer (Guinness: "Största beräkningen i historien")
- Versioner för Windows, Mac OS, Linux, Solaris, HP-UX, Playstation 3...



Arecibo-teleskopet (305 m)

<http://setiathome.berkeley.edu/>

# SETI@home II



The Search for  
Extraterrestrial Intelligence at HOME



Press F1 for info

Version 3.07

<http://setiathome.berkeley.edu>

## Data Analysis

Searching for Pulses / Triplets 21%   
Doppler drift rate: 0.0000 Hz/sec Resolution: 76.294 Hz  
Pulse: power 1.22, period 0.7274, score 0.54



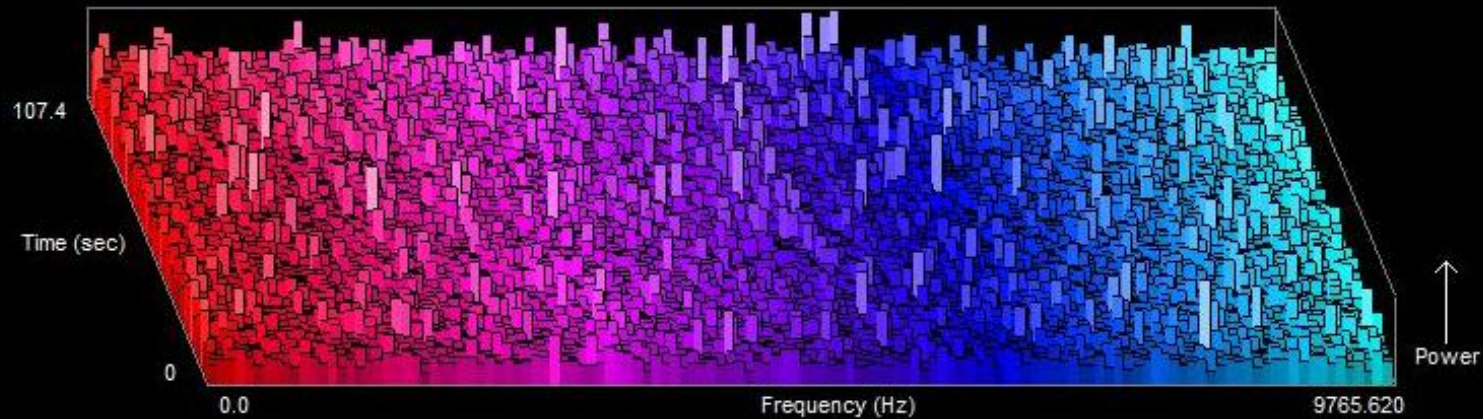
Overall: 0.198% done CPU time: 0 hr 01 min 33.2 sec

## Data Info

From: 12 hr 1' 1" RA, + 25 deg 51' 36" Dec  
Recorded on: Fri Oct 03 16:10:19 2003 GMT  
Source: Arecibo Radio Observatory  
Base Frequency: 1.420019531 GHz

## User Info

Name: nnn  
Data units completed: 2216  
Total computer time: 20330 hr 06 min 07.0 sec



# SETI Live

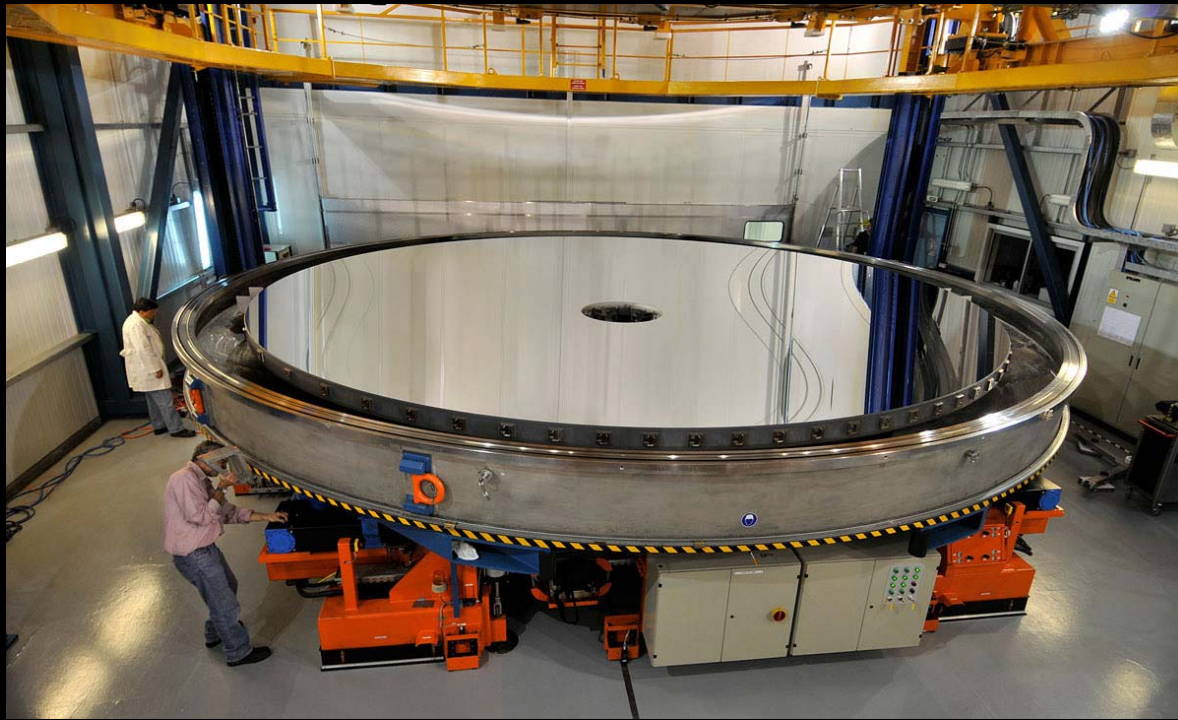


Sedan 2012 kan allmänheten hjälpa till att skilja intressanta signaler från brus i data som kommer in i realtid ("Live") från Allen Telescope Array. Om flera personer noterar något intressant påverkar det vilken stjärna Allen Telescope Array riktas mot närmast.

[www.setilive.org](http://www.setilive.org)

# SETI med optiska teleskop I

Optiska teleskop: Använder en stor spegel för att fånga upp fotonerna



Spegeln (8.2 m) på Very Large Telescope (VLT)

# SETI med optiska teleskop II

- Söker efter laserpulser från intelligenta civilisationer med mindre optiska teleskop (~1 m)
- En radiosändare kan skicka ut signaler i alla riktningar, men en laser måste vara riktad mot oss
- Många fotoner per nanosekund över litet våglängdsintervall →  
Lätt att få signalen tusentals gånger ljusare än stjärnan vid just denna våglängd
- Hög informationstäthet i signalen





# SETI med optiska teleskop III

- Nutida jordisk laserteknologi tillåter kommunikation upp till ca  $\sim 1000$  ljusår bort (om mottagaren är ett 10-metersteleskop)
- Strålen smal när den utsänds, men bred när den mottas
- Nutida Jordisk laser skulle vara flera astronomiska enheter bred på avstånd av 1000 ljusår



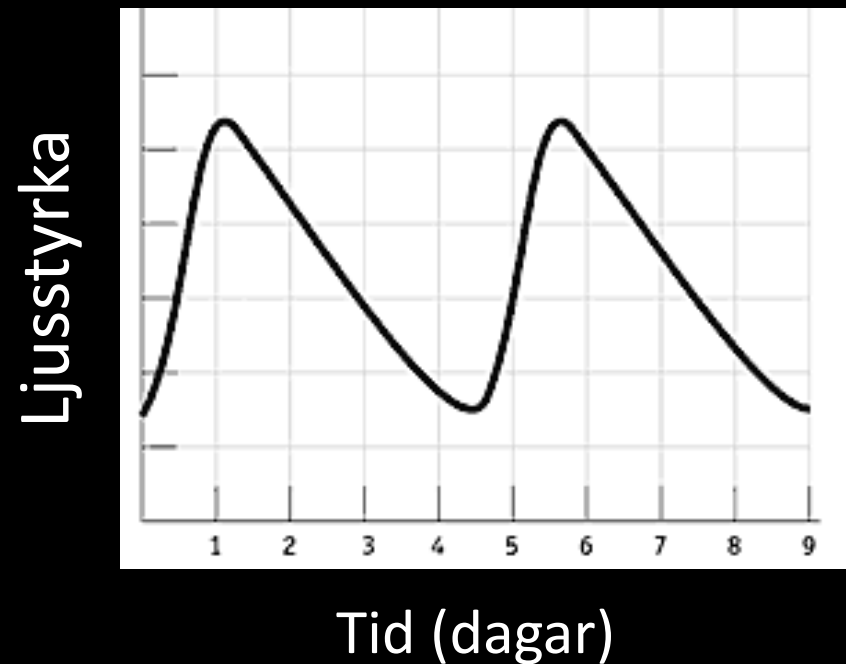
Laser guide star vid  
Very Large Telescope  
används för att korrigera  
för luftoro

# SETI med Cepheider

- **Cepheider:** Typ av variabel stjärna som ändrar storlek och ljusstyrka på ett regelbundet sätt.

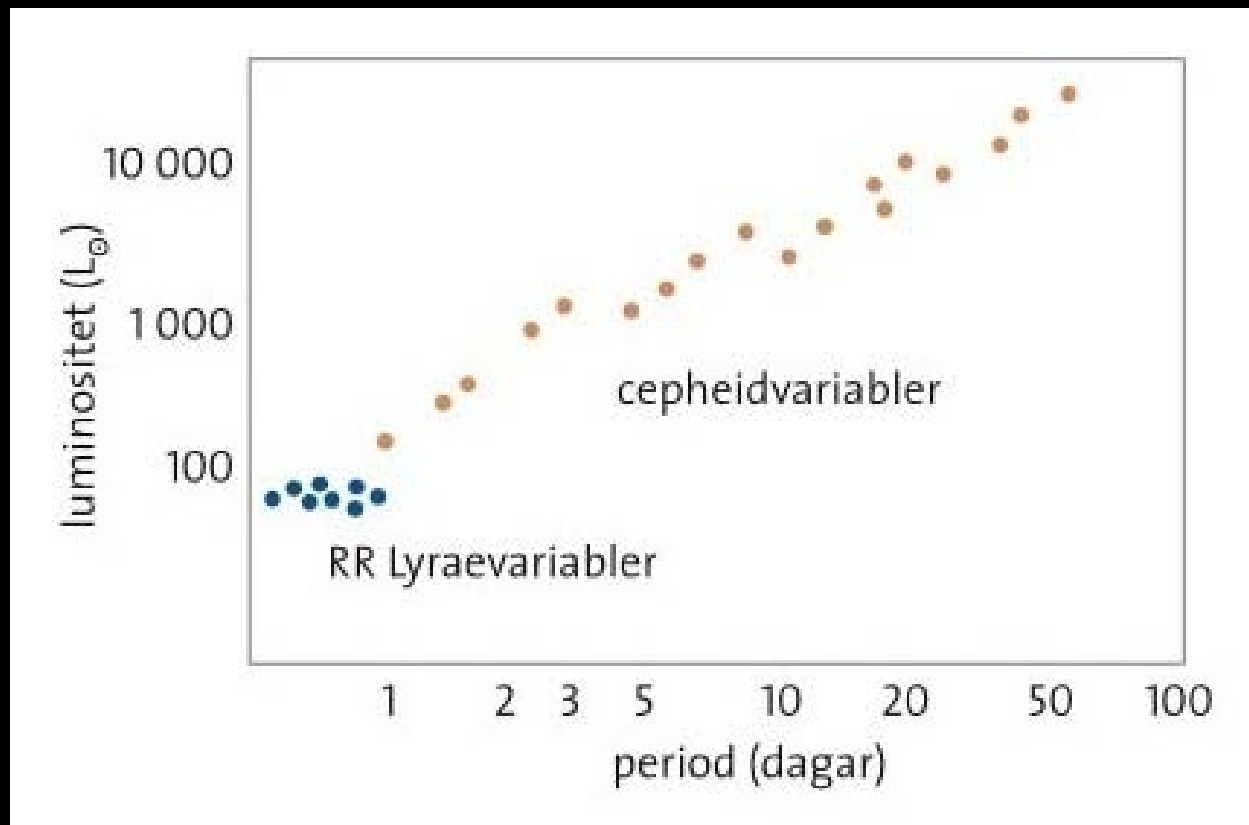


Exempel på ljuskurva



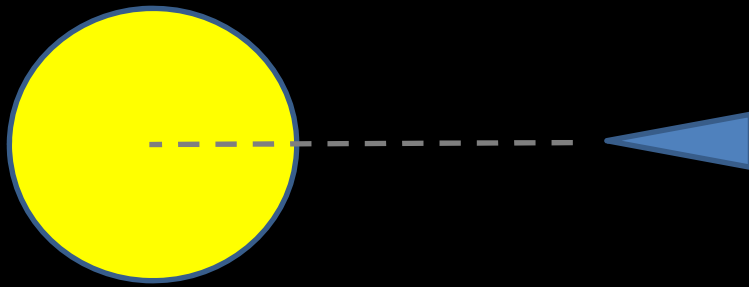
# SETI med Cepheider II

- Användbara för avståndsbestämningar – mäter man cepheidens ljusstyrka och period (från ljuskurvan) kan man räkna ut avståndet till ex. den galax cepheiden befinner sig i



# Modifiering av cepheider

- Cepheider är sannolikt kända (och välstuderade) av alla avancerade civilisationer med intresse för rymden
- "Cepheid internet": Modifiera cepheidens pulser och koda in ett budskap → kraftig ljusfyr som sprider informationen i alla riktningar

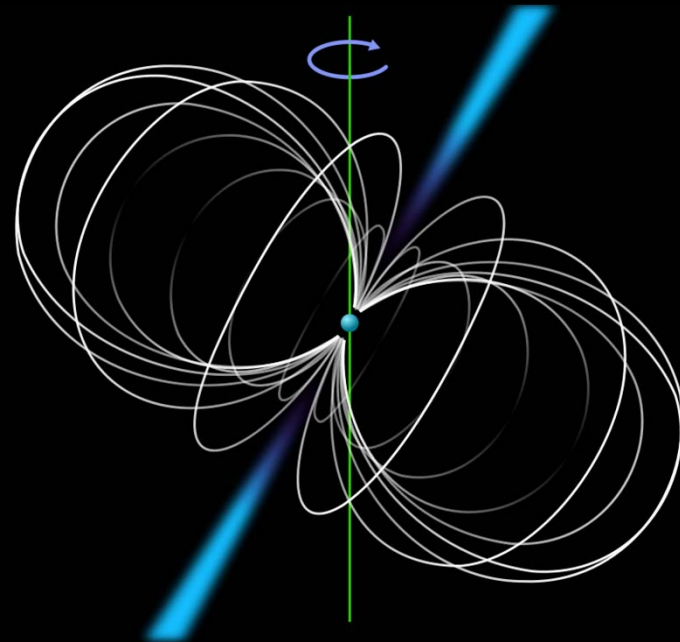


## Föreslagen konstruktion:

Stråle av neutriner ändrar energibudgeten i cepheidens kärna och utlöser pulser som inte följer det naturliga mönstret

# SETI med pulsarer

- Roterande neutronstjärna (slutprodukt efter vissa supernovor) som utsänder radiopulser med period  $\sim 0.001-10$  s
- Extremt starka radiokällor – kan upptäckas  $\sim 10000$  ljusår bort



# Pulsarernas upptäckt I

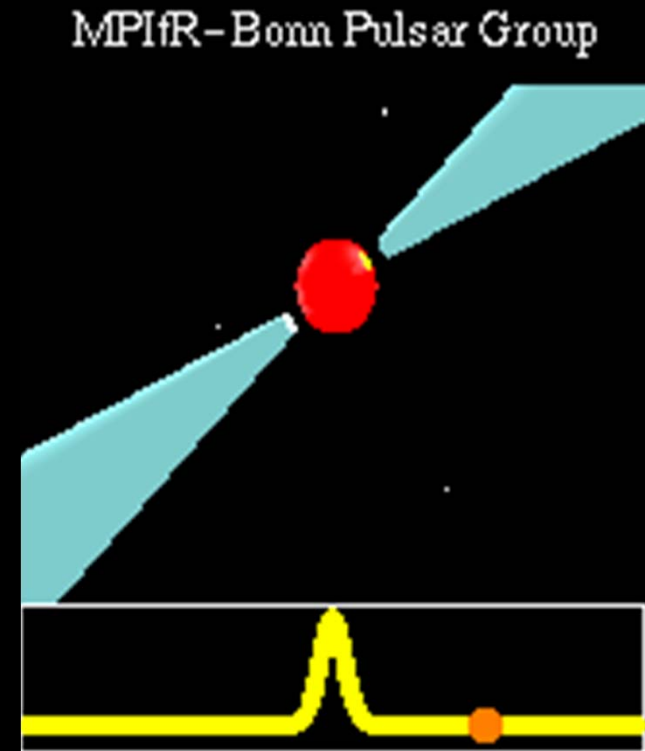
- Sensommaren 1967 färdigställdes ny radioarray vid Mullard Radio Astronomy Observatory utanför Cambridge
- Anthony Hewish ledde utvecklingen av arrayen, men det var hans doktorand Jocelyn Bell som upptäckte de sekundsabba pulserna



Jocelyn Bell Burnell (1943-)

# Pulsarernas upptäckt II

- Radiopulserna fick den skämtsamma beteckningen LGM (Little Green Men)
- Under några veckors tid verkar vissa av de seniora forskarna i gruppen allvarligt ha övervägt möjligheten att signalen kom från en utomjordisk civilisation
- **Hewish, Burnell et al. (1968, Nature):** Vibrerande neutronstjärnor
- **Modern tolkning:** Roterande neutronstjärnor med starkt magnetfält och radiostrålar som sveper över himlen
- Nobelpris 1974 till Ryle & Hewish (men inte Jocelyn Bell!) för pionjärinstatser inom radioastronomi – i Hewish fall upptäckten av pulsarer

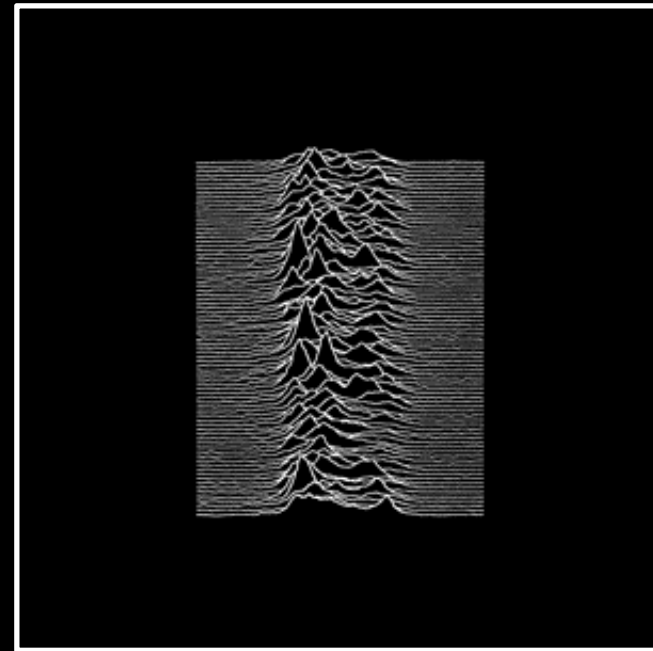


# Pulsarernas upptäckt III

Diskussionerna kring LGM-källorna under hösten 1967:  
Möjligen första gången lämpligt agerande vid detektion av  
utomjordisk intelligens allvarligt diskuterades

## Förslag:

- Kontakta Royal Astronomical Society och regeringen
- ”Bränn datan!” (halvt på skämt) för att förhindra överilade kontaktförsök, med invasion som följd



Skivomslag till *Unknown Pleasures*  
(Joy Division, 1979) –  
Radiopulser från LGM-1





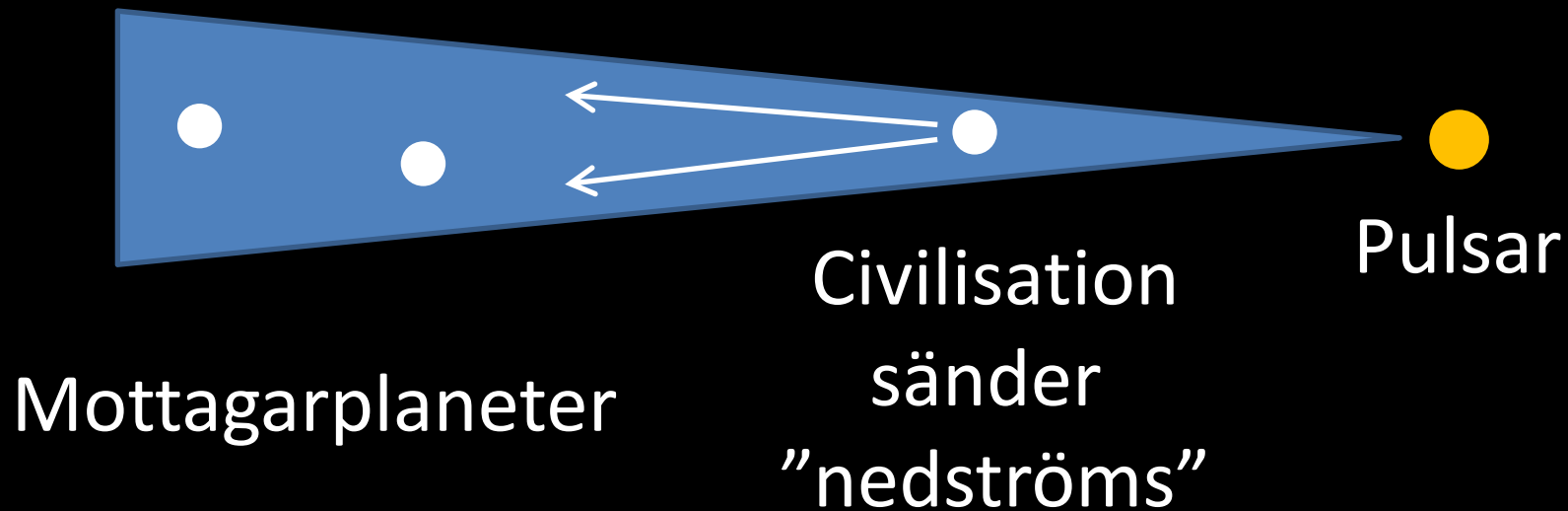
# Pulsarernas "låten"



Pulsaren i Vela

Pulsarernas radiostrålning omvandlade till hörbara ljud:  
<http://www.jb.man.ac.uk/pulsar/Education/Sounds/sounds.html>

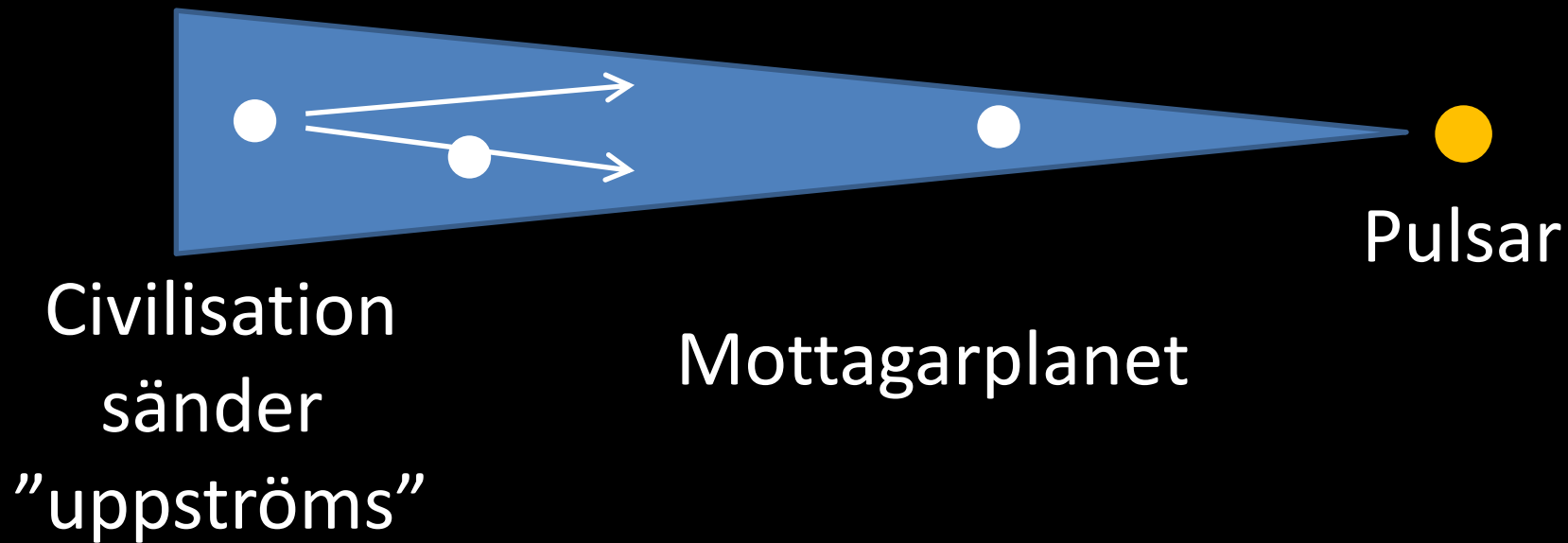
# Sändning nedströms



**Obs! Vinklarna kraftigt överdrivna**

- Information dold i pulsarens signal
- Själva pulsaren skulle också (i princip) kunna modifieras för att skicka en signal
- Liknande princip har föreslagits för gammablixtar (som också utsänder en smal stråle)

# Sändning uppströms

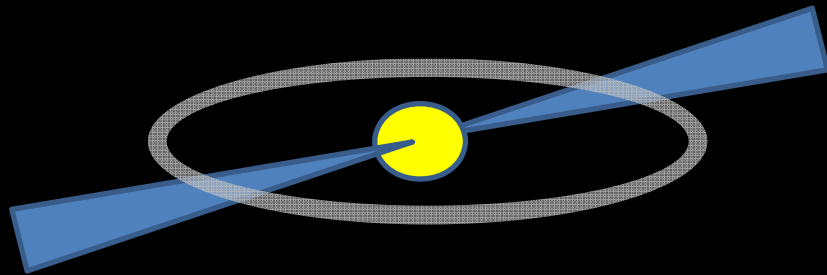


Obs! Vinklarna kraftigt överdrivna

- Signal från exakt motsatt del av himlen från naturlig pulsar

# Modifiering av pulsarer

- Ibland uteblir pulser av astrofysikaliska skäl, men genom att medvetet blockera pulser kan man:
  - Markera att pulsaren fungerar som informationsfyr, ex. genom att blockera pulser med ordning 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17... (primtal)
  - Skicka budskap (jmf. Röksignaler, Morsekod, binärkod), ex: 1 0 0 1 1 1 0 0



## Möjlig konstruktion:

Ring av material som kan släppa igenom eller blockera de svepande radiostrålarna

# Search for Extraterrestrial Artefacts (SETA)

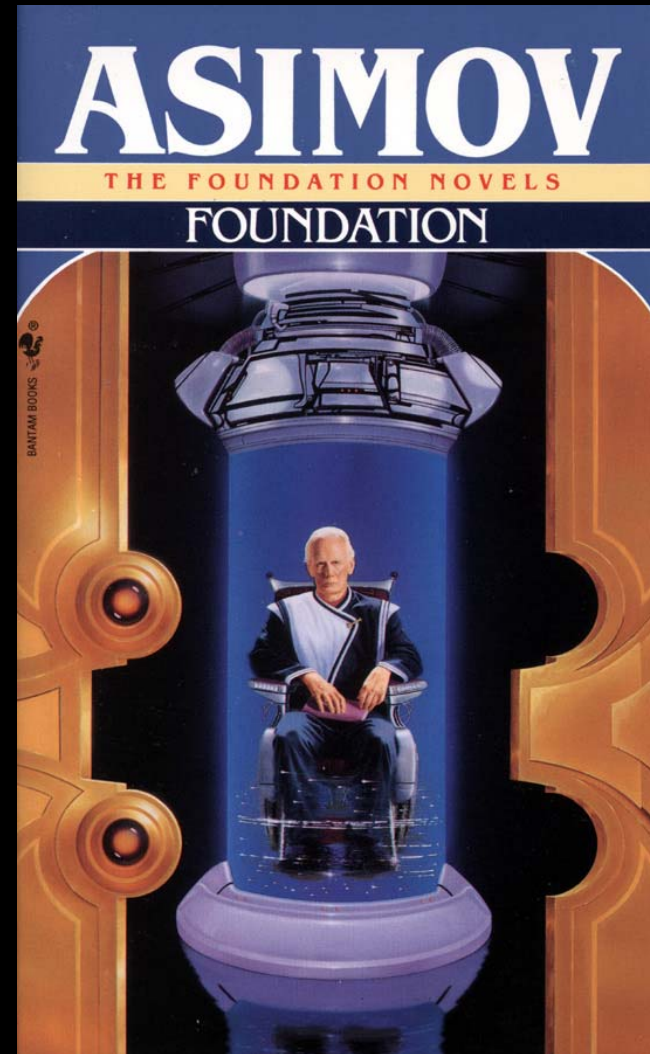
- **Bracewell-sond:** Hypotetisk, autonom sond med artificiell intelligens som skickats ut för att skapa kontakt och utbyta information med andra civilisationer
- Fördel jämfört med att skicka signaler från hemplaneten: Kommunikation på korta tidsskalor



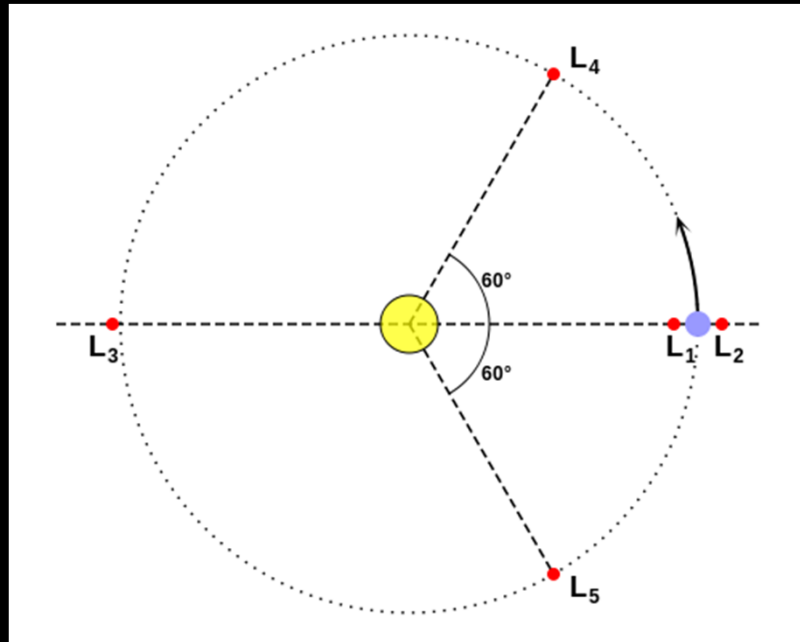
*Monoliten i 2001 – ett rymdäventyr (1968)*

# Encyclopedia Galactica

- Tänkt databank över en fjärran civilisations samlade kunskap
- Ofta tänker man sig att en Bracewell-sond skulle kunna bära med sig en sådan
- Ofta antas en EG även vara innehållt i avlägsna civilisationers eventuella signaler till oss



# SETA II



- Jordens Lagrangepunkter (både för Jordan-solen och Jordan-månen) har avsökts efter artificiella föremål (möjliga Bracewell-sonder) med teleskop sedan 1979
- Radiofenomenet long-delay echos (ekon av jordiska radiosignaler med ca 3-9 s fördröjning) föreslås ibland komma från en bracewell-sond i vår närhet



# SETA III

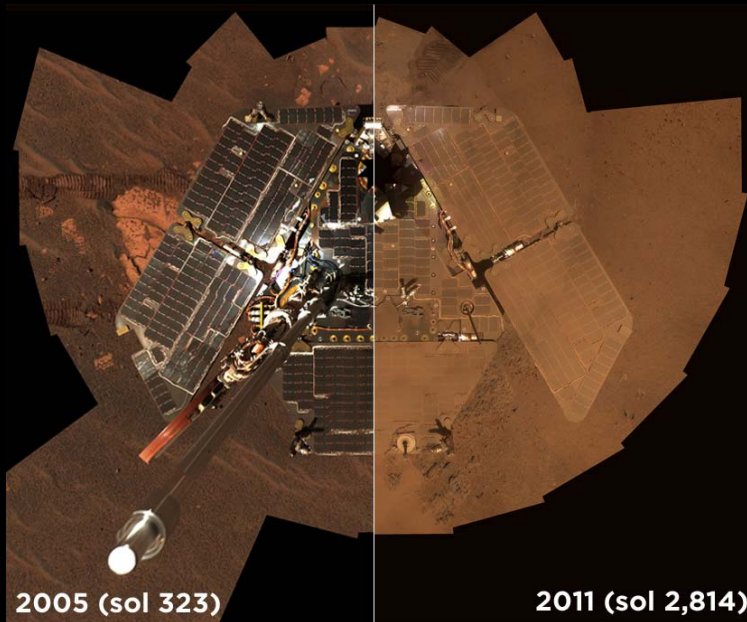
- Det omfattande bildmaterialet av Månens och Mars ytan kan användas för att söka efter artificiella strukturer
- Föreslaget citizen-science-projekt (liknande [planethunters.org](http://planethunters.org) eller [setilive.org](http://setilive.org))



100 x 100 m av månens yta, där landningssteget av Apollo 17 lämnats kvar

# Hur länge dröjer det innan artificiella föremål på månen eller Mars täcks av damm/sand?

- **Mars:** Dammstormar → mycket tydliga dammlager på marsbilar på bara några få år
- **Månen:** Mikrometeoriter slår upp moln av måndamm → tros förklara varför speglar som placerades på månen på 1970-talet verkar reflektera laser allt sämre



2005 (sol 323)

2011 (sol 2,814)

Mars Spirit Rover

**Men:** Stora strukturer (kratrar) med åldrar av flera miljarder år har uppenbarligen överlevt på båda himlakropparna



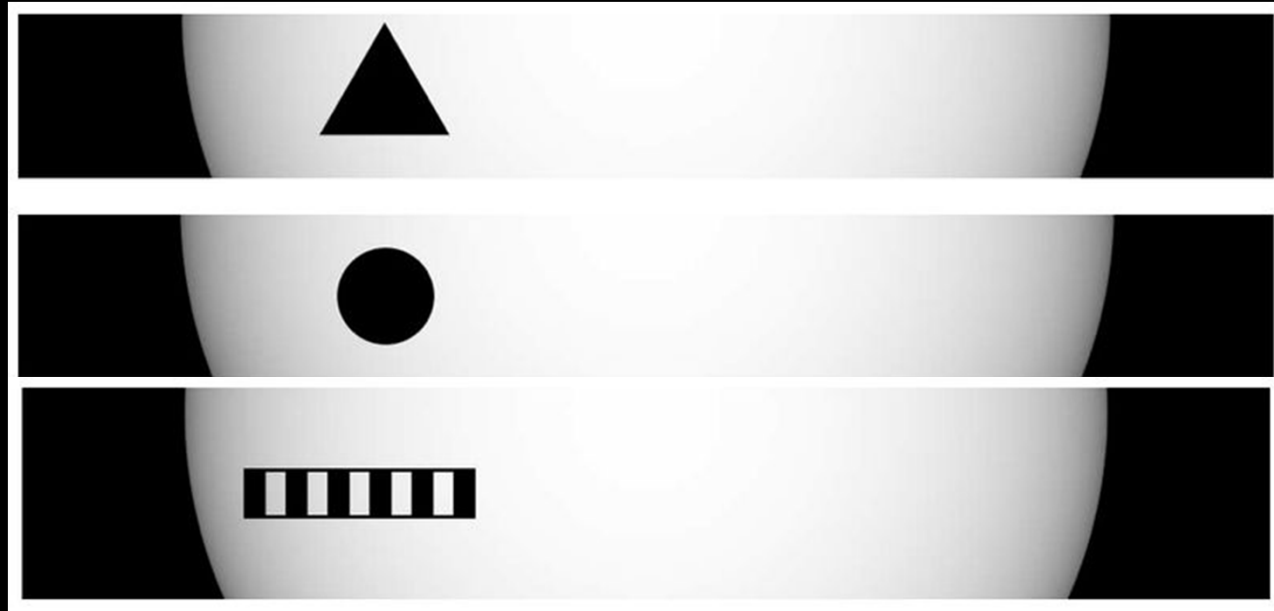
0000

# SETA IV: Märkligheter på Mars





# SETA V: Megastrukturer

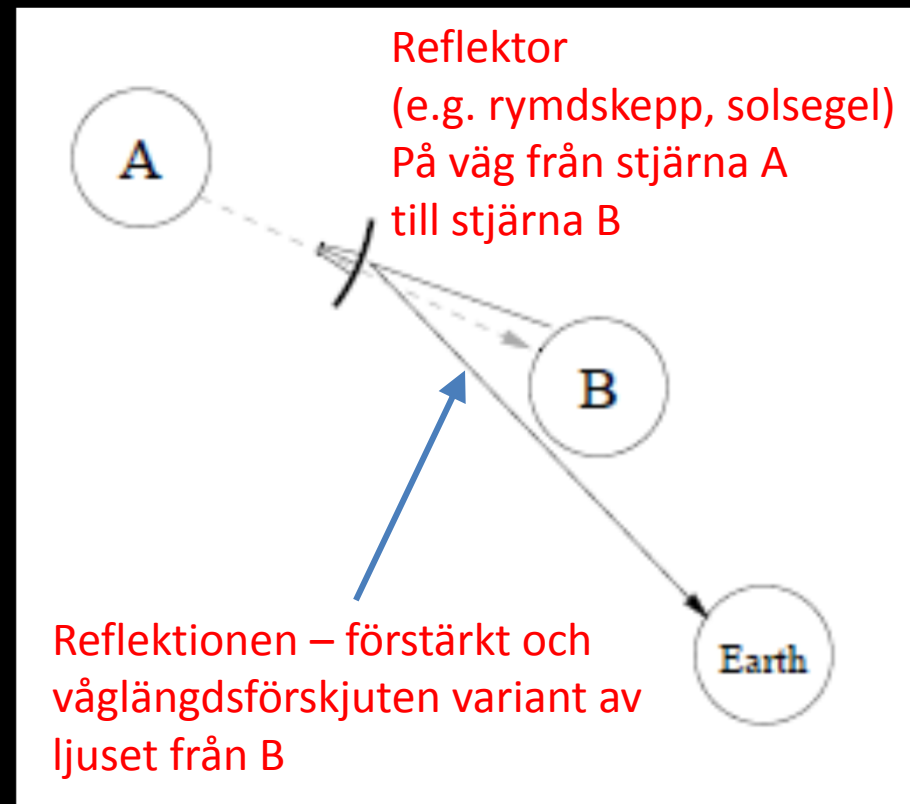


Artificiella, märkligt formade satelliter kring andra stjärnor kan i princip upptäckas med transitmetoden.

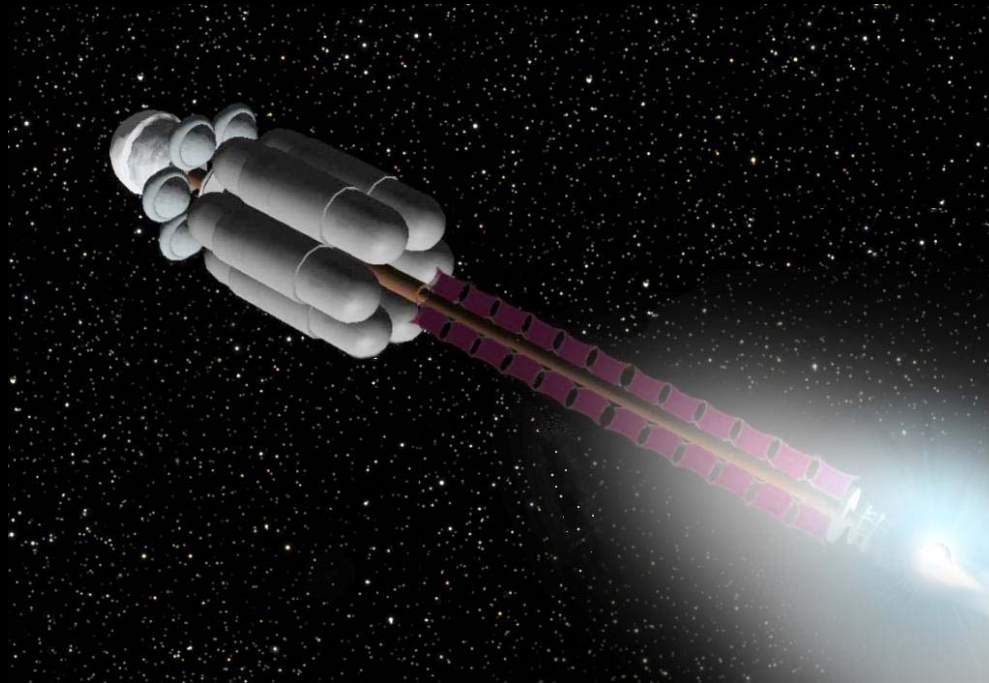
Föremålet måste dock vara gigantiskt (av planetstorlek) för att upptäckas med Kepler.

# Artificiella föremål med höga hastigheter ("Rymdskepp") I

- Alla större föremål med hastighet  $\geq 0.01c$  sannolikt artificiella
- Reflekterat ljus från rymdskepp med hög hastighet kan bli kraftigt förstärkt och förskjutet i våglängd



# Artificiella föremål med höga hastigheter ("Rymdskepp") II



Vissa drivmedelssystem, ex. antimateria (se föreläsning 8), ger upphov till ljussignaturer som kan upptäckas 300 ljusår bort med existerande teleskop



# Internet I

- Avancerade Bracewell-sonder skulle i princip redan kunna övervaka och ansluta sig till vårt internet
- IETI: Websida som bjuder in till kontakt, upprättad 1996
- Ca 60 påstådda ETIs (ExtraTerrestrial Intelligences) har hört av sig, men alla har visat sig vara högst mänskliga



[www.ieti.org](http://www.ieti.org)

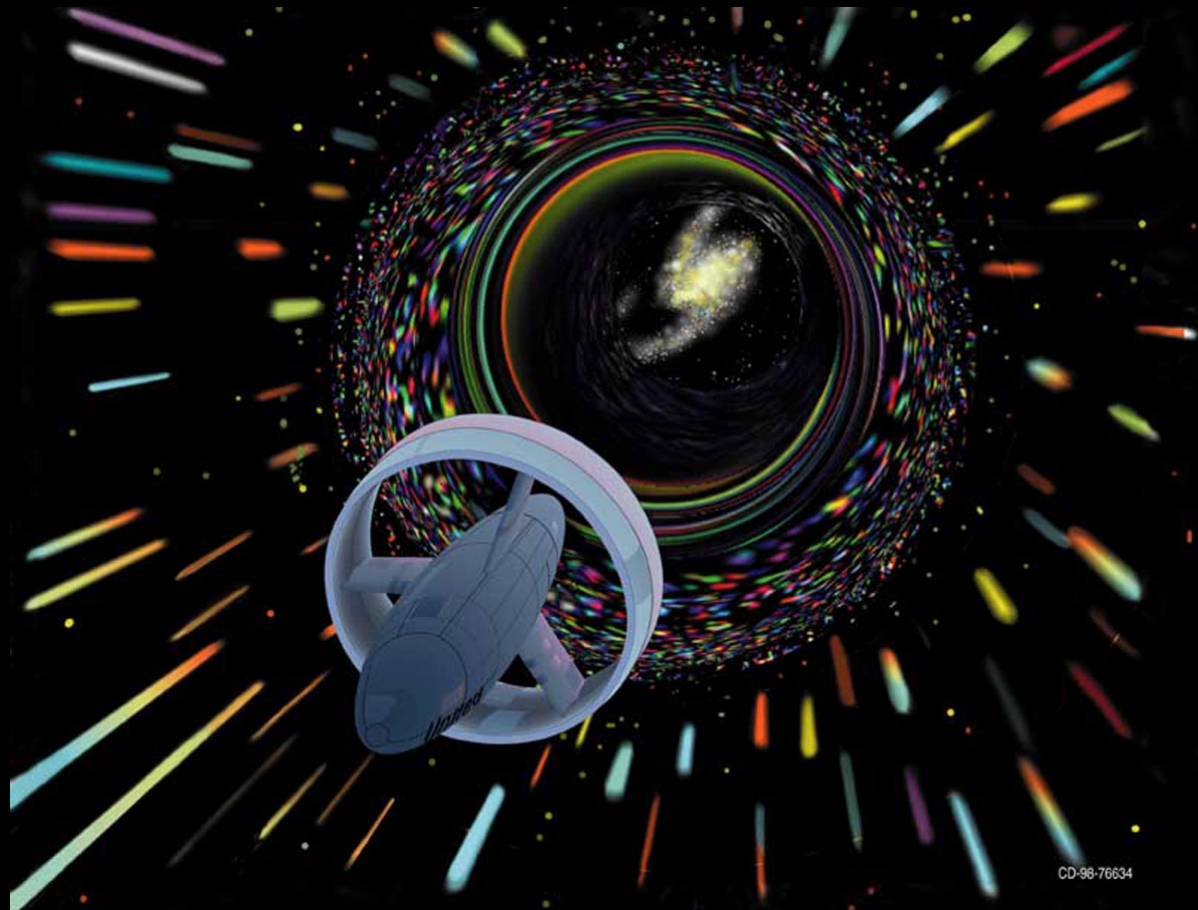
# Internet II

- Påstådda ETIs utsätts för ett antal hemliga test
- Ett av de kända:  
[Primtalsfaktorisering](#)
- Primtal: Jämnt delbart enbart med sig själv (och 1)
- Varje positivt heltal kan beskrivas som en unik multiplikation av primtal
- Exempel:  $456 = 2^3 \times 3 \times 19$
- Primtalsfaktorisering av mycket stora tal (mer än 100 siffror) kräver superdatorer (vilka ETI antas ha till sitt förfogande)



# Nästa föreläsning: Interstellära resor

Solsegel, warp drive, maskhål, relativistiska effekter, tidsresor m.m.



Inlämningsuppgift 1 återlämnas!