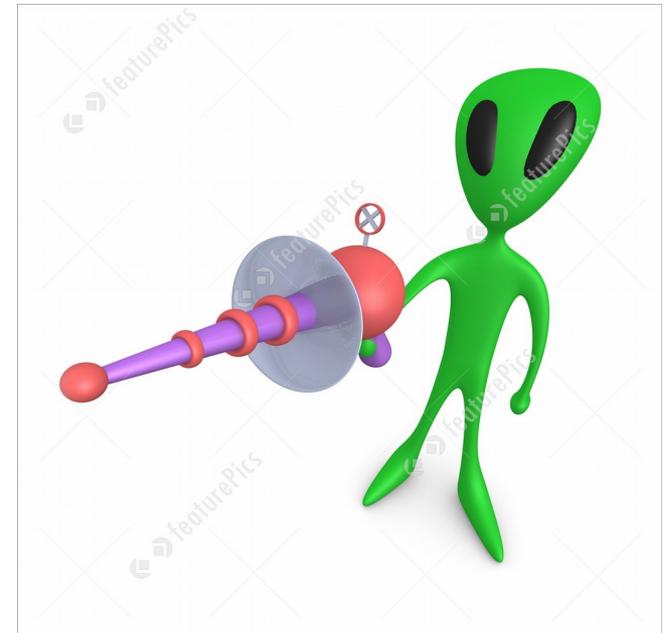
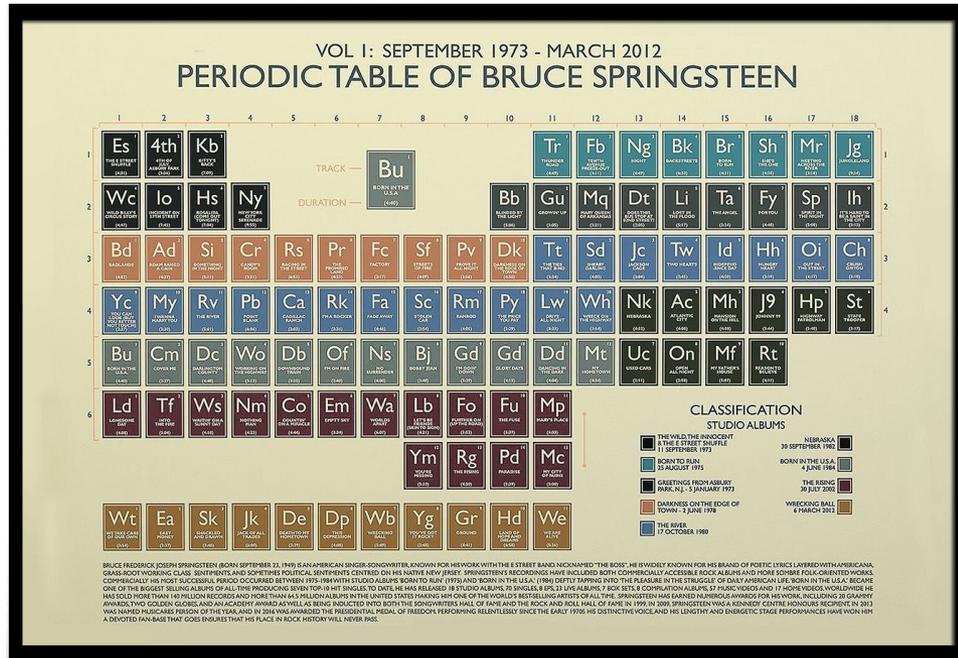


Strumenti alieni: laser e tavola periodica



FeaturePics.com - 11289669

Andrea MACCHI
andrea.macchi@cnr.it
www.andreamacchi.eu



CNR-INO
ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Notte dei ricercatori, 2018



Perché gli alieni non sono ancora scesi a Navacchio?



Andrea MACCHI

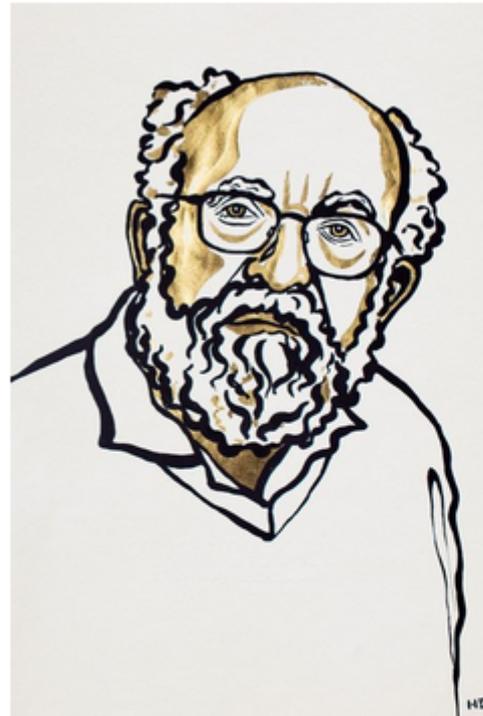




“L'ultimo terrestre”, regia di Gipi (2012)

Nobel 2019 per la Fisica

*“per la scoperta di un
esopianeta orbitante
attorno a una stella
simile al Sole”
e “aver contribuito
alla comprensione
del posto della Terra
nel Cosmo”*



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel
Media.

Michel Mayor

Prize share: 1/4



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel
Media.

Didier Queloz

Prize share: 1/4

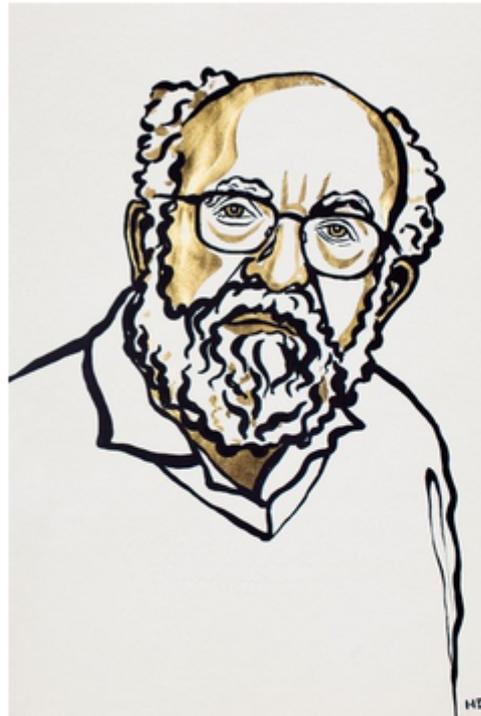
www.nobelprize.org

Nobel 2019 per la Fisica

David Gross

(Nobel in Fisica 2014,
presidente
dell'American
Physical Society):

*“la scoperta ... incita
alla ricerca di
vita extraterrestre
nell'Universo”*



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel
Media.



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel
Media.

CORRIERE DELLA SERA

[Avenire.it](http://www.avenire.it)

la Repubblica

LA STAMPA

**Il Nobel per la Fisica ai
“cacciatori di mondi alieni”
Peebles, Mayor e Queloz**

*“Le stelle del cielo
~~non~~ si posson contare”*

N° stelle per galassia:

$10^8 - 10^{14}$

N° galassie nell'Universo:

$10^{11} - 10^{12}$

N° stelle nell'Universo:

$10^{19} \sim 10^{26}$

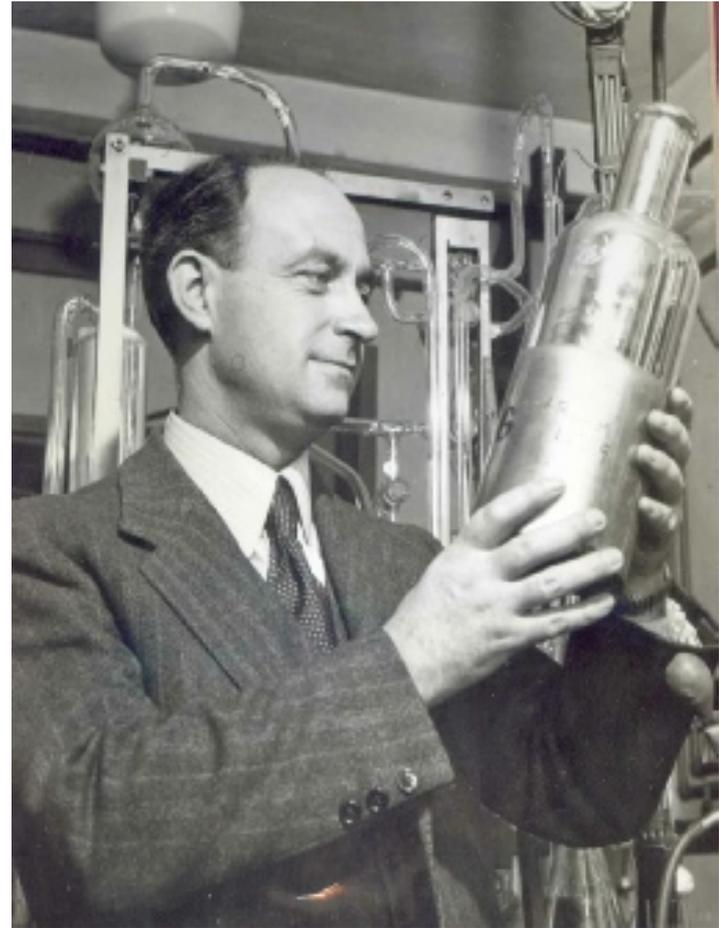
Sono possibili tra 10 e 10 milioni di
miliardi di miliardi di sistemi planetari
(e di possibilità per la vita?)



Paradosso di Fermi

“Se l'Universo pullula di alieni, dove sono tutti quanti?”

Enrico Fermi (1950)



Mettersi in viaggio?

Alpha Centauri

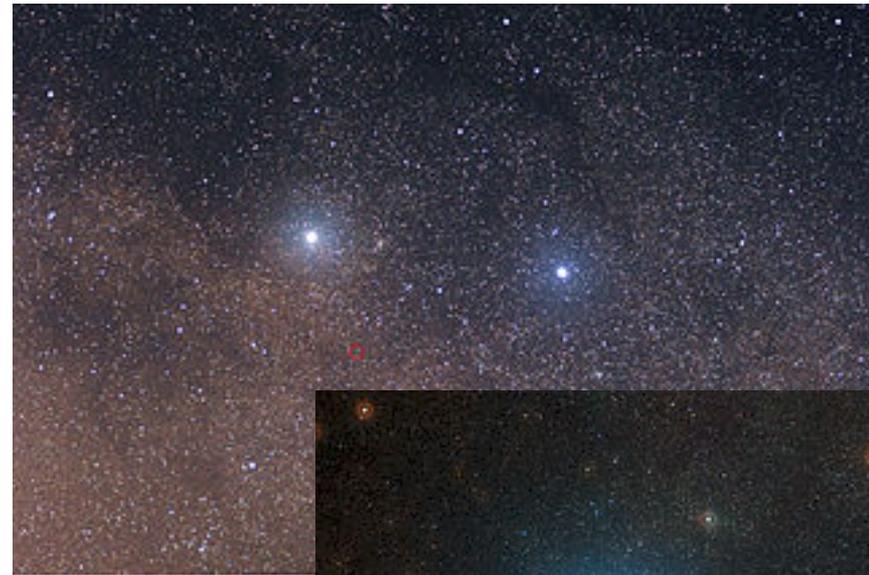
4,37 anni/luce dalla Terra

tempo di volo alla
velocità dell'Apollo 11
(sbarco sulla Luna)

= 1.5 milioni di anni

Necessario raggiungere
velocità prossime a
quella della luce

$c=300000 \text{ km/s}$





“cerca di inventare la tua leggerezza e volerai” (G. Gaber)

“il faut être léger comme l'oiseau, et non comme la plume”

(P. Valéry)

Johannes Kepler: intuizione di un “vento”
Solare dalla coda delle comete sempre
opposta al Sole

*“Trovate navi e vele adatte ai venti celesti,
e qualche intrepido sfiderà quel vuoto ...”*

Dissertatio cum Nuncio Sidereo,
conversazione con Galileo (1610)



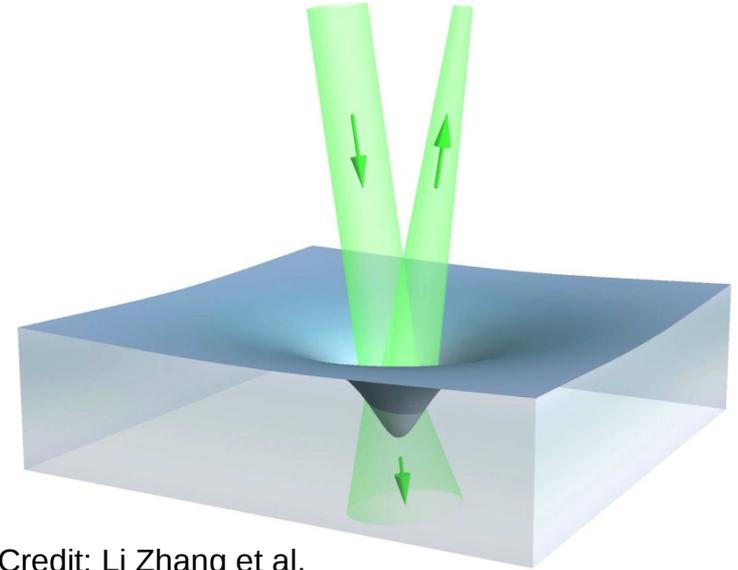
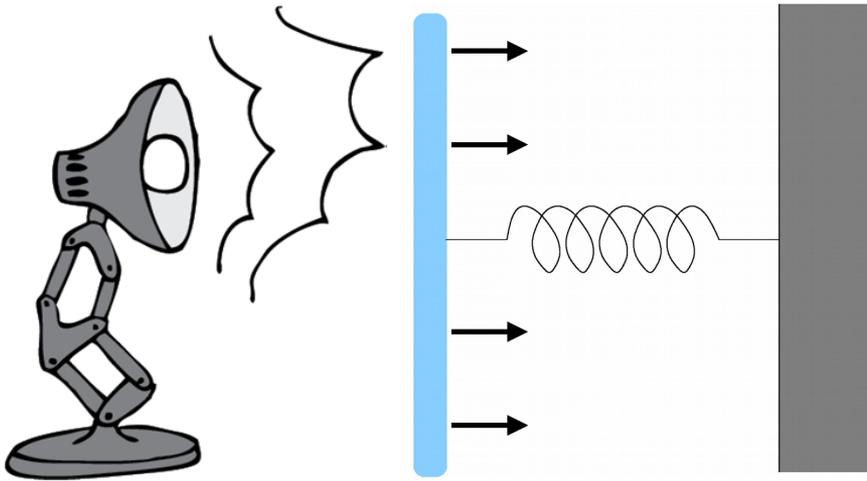
*“... un giorno avremo
velocità molto più
grandi ... delle quali
probabilmente
la luce o l'elettricità
saranno gli agenti
meccanici ...
e viaggeremo verso la
Luna, i pianeti,
e le stelle”*

**Jules Verne, Dalla
Terra alla Luna (1865)**



(credit: NASA)

La pressione della Luce



Credit: Li Zhang et al,
New Journal of Physics 17 (2015) 53035

$$P = 2I / c$$

I : flusso di energia luminosa

c : velocità della luce

Predizione teorica:

James Clerk Maxwell, 1874; **Adolfo Bartoli**, 1876

Osservazione sperimentale: **Piotr N. Lebedev**, 1899



<http://www.weatherclipart.net>

focalizzando la luce
con specchi o lenti
si può incrementare
 $\approx I \times 1000$
(la pressione rimane
debole ...)

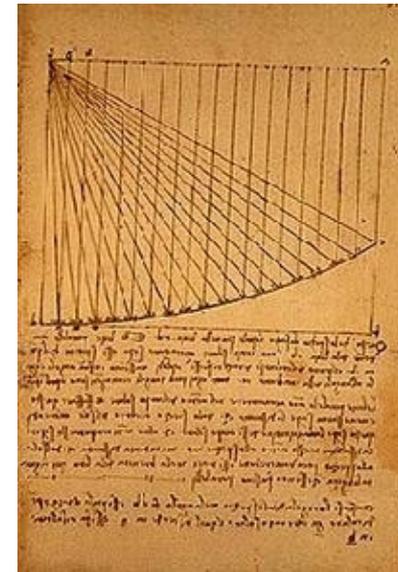
intensità della radiazione
solare sulla Terra

$$I \approx 1.4 \text{ kWatt/m}^2$$

$$\rightarrow I/c \approx 10^{-5} \text{ N/m}^2$$
$$\approx 10^{-10} \text{ atmosfere}$$



Specchi ustori di Archimede.
Giulio Parigi, ca. 1600. Museo d. Uffizi,
Stanzino delle Matematiche, Firenze



Leonardo da Vinci,
Codex Arundel
(1480-1518),
British Library, London.

"... [questo *laser*] è una soluzione in cerca di un problema"

I. d'Haenens a T. H. Maiman (1960)

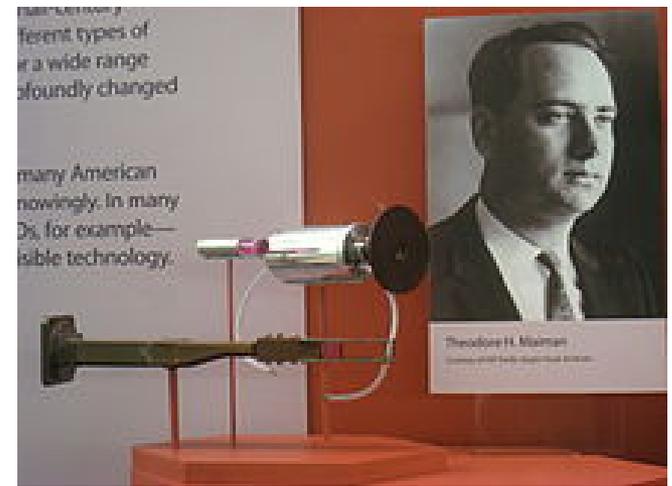
LASER: luce artificiale coerente, monocromatica, direzionale, amplificabile, "concentrabile" nello spazio e nel tempo

Record attuale di intensità (e pressione corrispondente)

$$I \approx 10^{27} \text{ Watt/m}^2 \rightarrow I/c \approx 3 \times 10^{13} \text{ atmosfere}$$

Moltissimi tipi di laser prendono il nome dagli elementi o dalle molecole su cui sono basati:

Ar, Kr, Xe, N, Sr, Cu, Au, Mn, Nd, Er, Ti, Tm, Yb, Ho, Ce, Pm, U, Sm, GaN, InGaN, AlGaInP, AlGaAs, HF, He-Ne, He-Cd, He-Hg, He-Se, He-Ag, CO, CO₂, MnCl₂, ArF, KrF, XeCl, XeF, ...

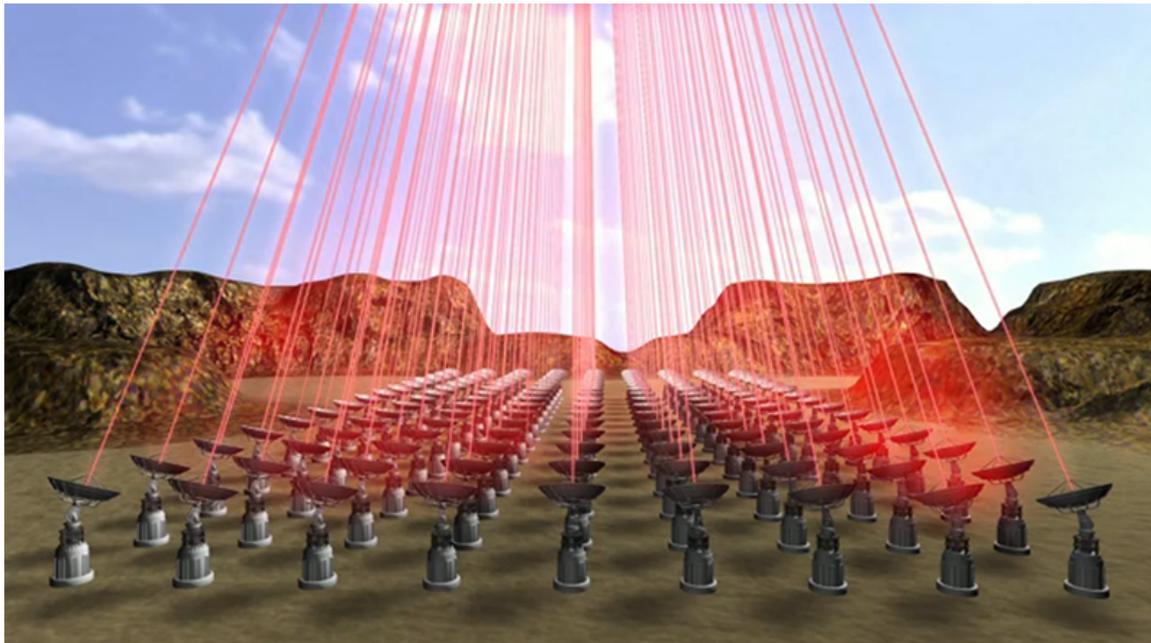
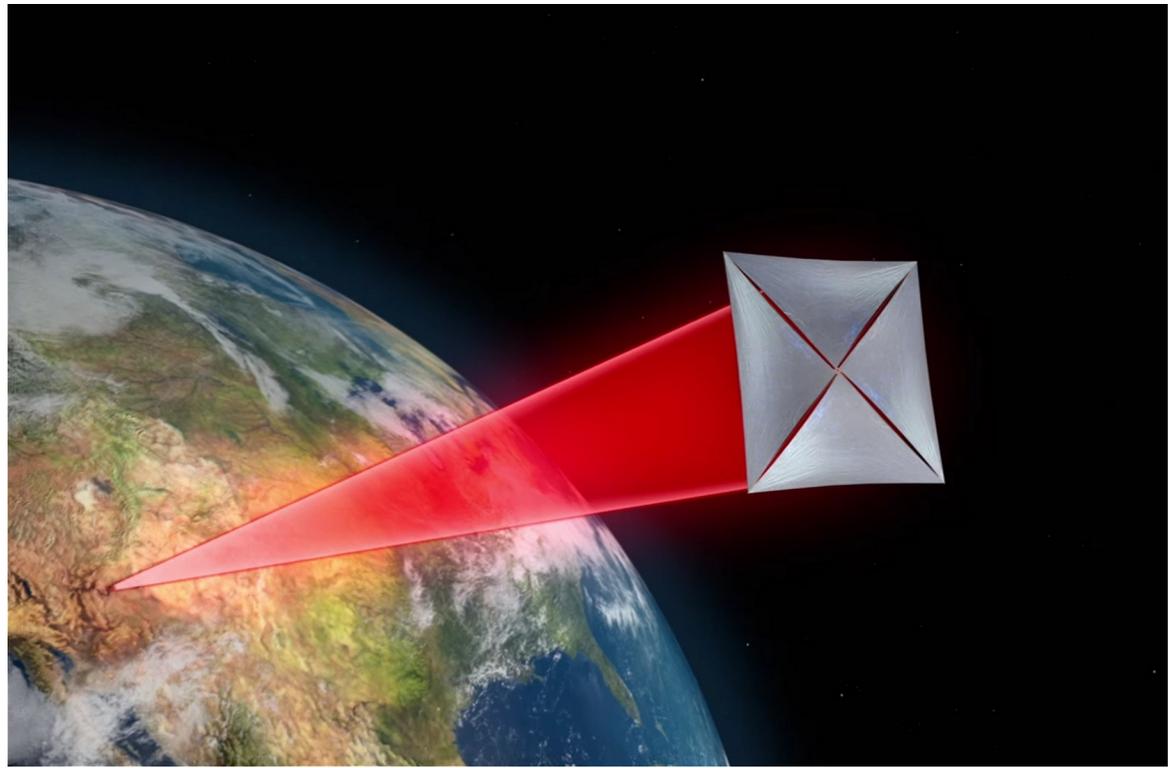


idea di

R. L. Forward (1964),

G. Marx (1966):

propulsione con laser
terrestre di “vele” per
viaggi spaziali



G. Marx,
Nature **211**
(1966) 22;

R. L. Forward,
J. Spacecraft
21 (1984) 187

Breakthrough Starshot (2016)

vele-sonda su α -Centauri in 20 anni ?



Yuri Milner Freeman Dyson
Stephen Hawking



Mark Zuckerberg

breakthroughinitiatives.org

Breakthrough Starshot (2016)

vele-sonda su α -Centauri in 20 anni ?



Yuri Milner Freeman Dyson
Stephen Hawking



Mark Zuckerberg

breakthroughinitiatives.org

Breakthrough Starshot (2016)

vela-sonda (Light Sail):

area (4m)X(4m)

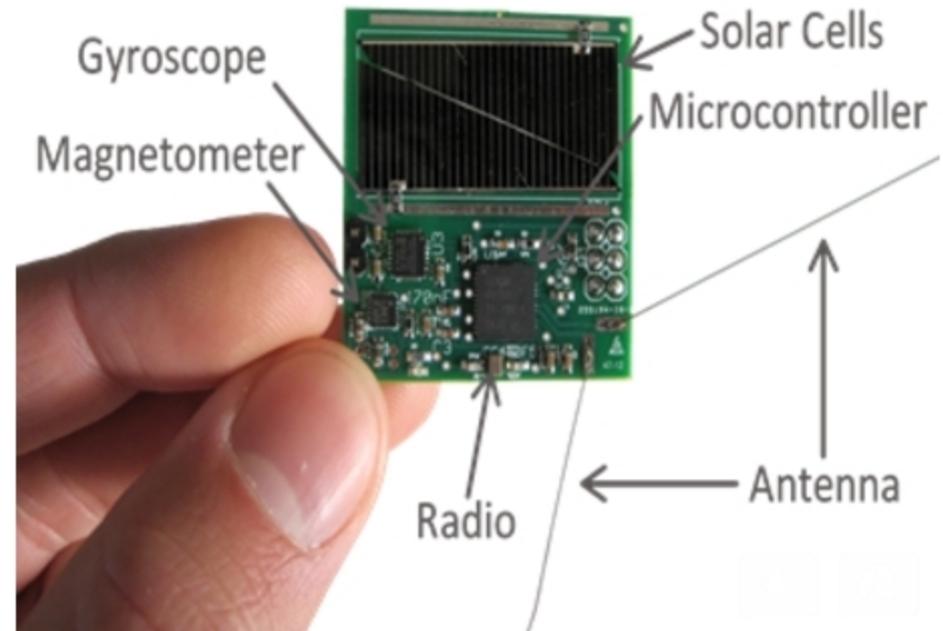
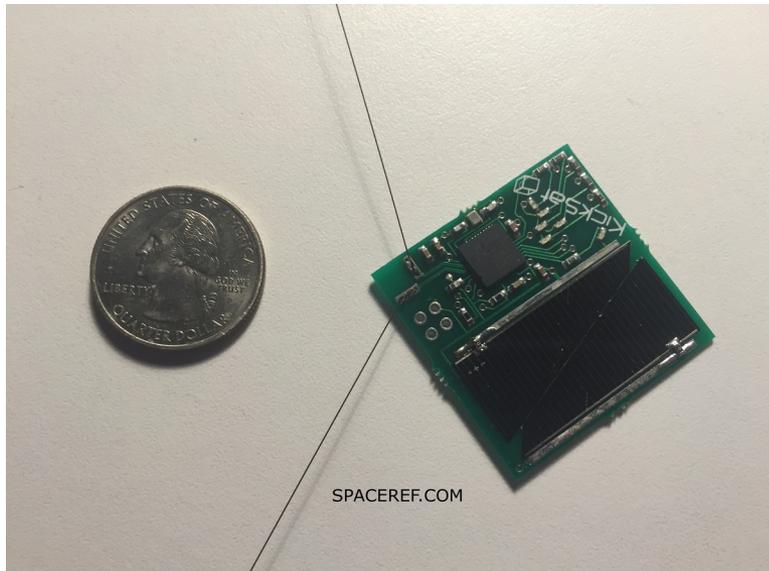
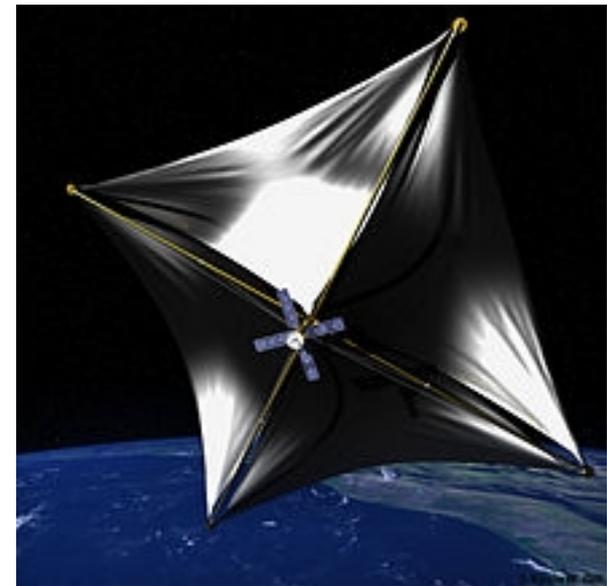
peso ~ 1g

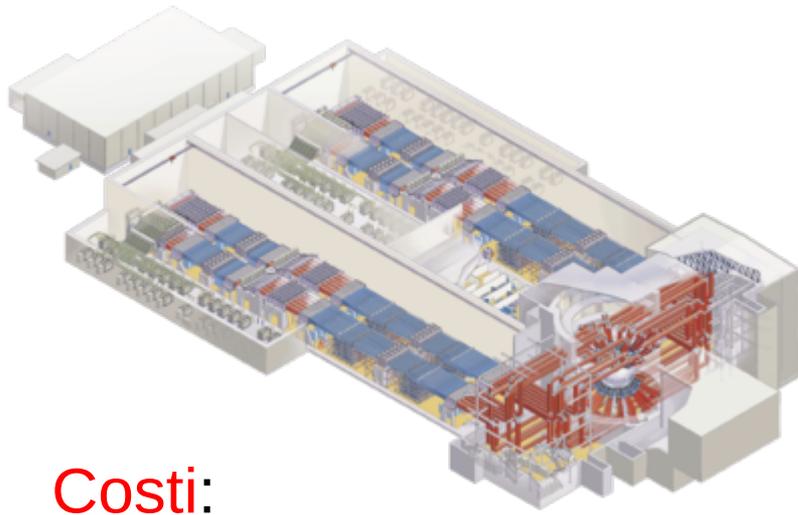
materiale: Grafene (C)

strumentazione minaturizzata

(StarChip)

costo: ~ un iPhone





National Ignition Facility (USA)
 $\approx 10^6$ Joule in $\approx 10^{-9}$ secondi
(un impulso al giorno)
lasers.llnl.gov

Costi:

~1 miliardo \$ (costruzione)

~1 milione \$/impulso

set cinematografico per

[Star Trek](#) (2012)



Laser per Breakthrough Starshot: $\approx 10^{13}$ Joule in $\approx 10^2$ secondi
(> 1 milione di volte la scala di NIF)

Stima (ottimistica) costo costruzione: **~ 100 miliardi \$**
(circa costo intero programma Apollo in dollari attuali)

H. Milchberg, "Challenges abound for propelling interstellar probes",
Physics Today (April 26, 2016)

Nel nostro piccolo: vela laser come acceleratore “da tavolo”

Miniaturizzazione in laboratorio:

Impulso laser: energia ≈ 10 J
durata ≈ 10 femtosecondi $= 10^{-14}$ sec

Vela: pellicola ultrasottile
(≈ 10 nanometri $= 10^{-8}$ m)

→ possibile accelerare a $V = 0.3c$
 $\approx 10^{-14}$ g di materia ($\approx 10^{14}$ protoni)
ad alta ripetizione (> 10 impulsi/sec)
su una lunghezza di ≈ 100 micron $= 0.1$ mm



LHC al CERN (Ginevra):
27 km di circonferenza...

Nel nostro piccolo: vela laser come acceleratore “da tavolo”

Sistema laser,
laboratorio ILIL,
CNR/INO, Pisa:
qualcosa come
NIF ... in scala
1:(1 milione)

Basato sulla
tecnica di

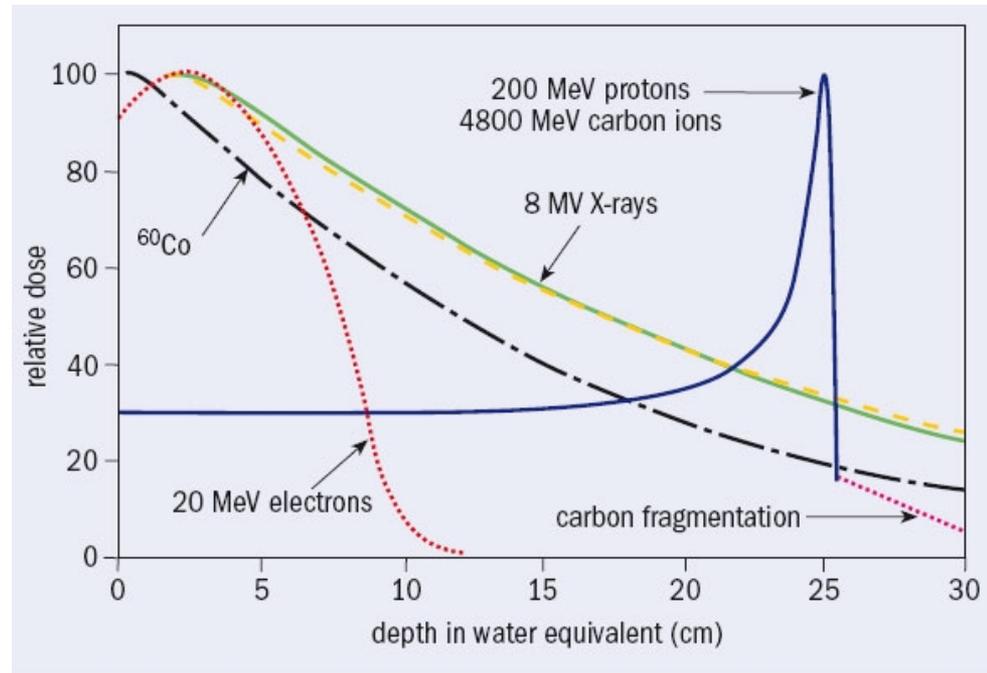
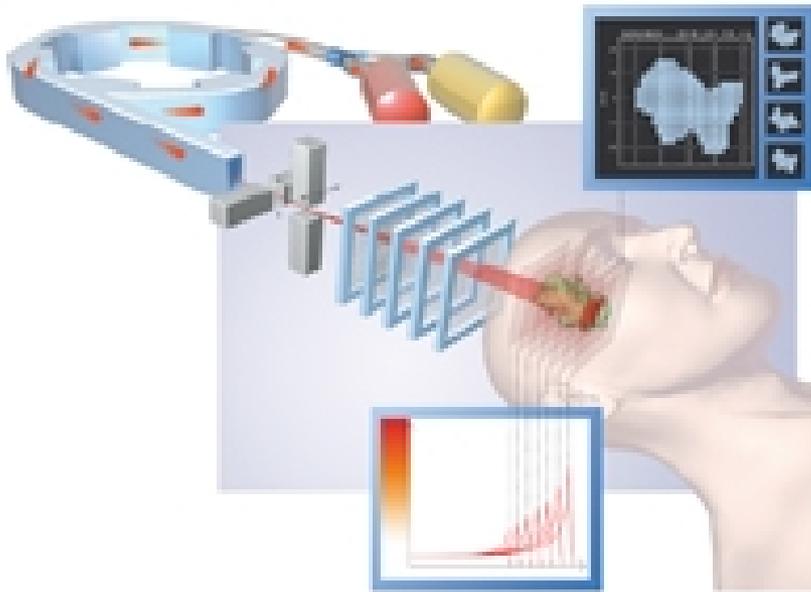
“Chirped Pulse
Amplification”
Premio Nobel 2018
(Donna Strickland
& Gerard Mourou)



Si può fare?!?

Perché un microacceleratore laser?

Un fascio di **ioni** (protoni, ioni Carbonio, ...) deposita la propria energia nella materia in una regione estremamente più localizzata di raggi **X**, γ o **elettroni**



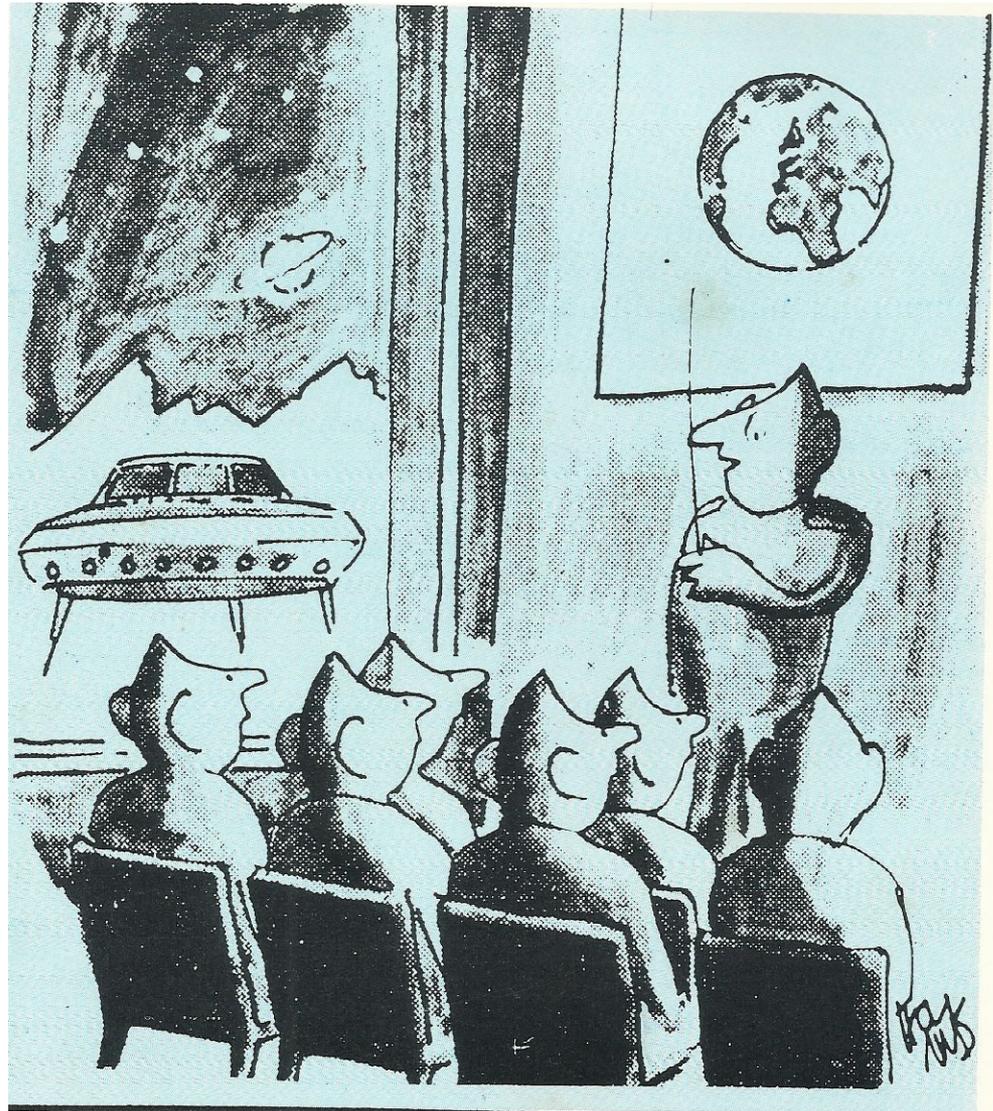
L'**adroterapia** usa fasci di ioni per distruggere tumori non operabili annidati in profondità in organi vitali

Pronti al viaggio?

(visto che il principio funziona ...)

*“... in base ad ogni possibile prova, sul pianeta Terra che stiamo per visitare non ci aspettiamo alcuna forma di vita; per tacere d'altro, vi è troppo **ossigeno**”*

Verbale del CCCXXII
Congresso di Alte Scienze
dello Spazio di Marte



da: Franco Bandini, “Il mistero dei dischi volanti”
(Giunti & Nardini, 1971; Mursia, 2016)

Sì, viaggiare, ma ... come frenare?



Marx (Nature, 1966):

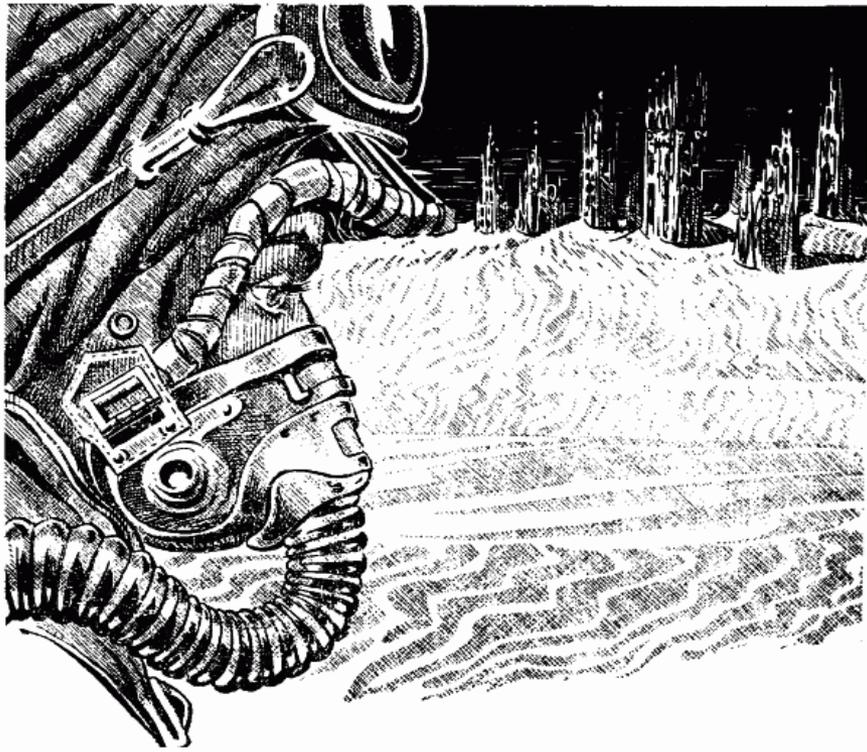
“La propulsione laser dalla terra ... risolverebbe il problema dell'accelerazione ma non della decelerazione all'arrivo ... nessun pianeta potrebbe essere invaso da visitatori inaspettati dallo spazio esterno”

*Se noi non possiamo
andare dagli alieni,
gli alieni non possono
andare da noi*

Occorre sperare in
alieni che abbiano la
nostra stessa tecnologia
per offrirci un
“laser di frenata”

Quindi alieni amichevoli
e con cui sia possibile
comunicare ...





OMNILINGUE

(H. Beam Piper, 1957)

“Per tradurre, serve una chiave per il codice - ma se l'ultimo scrittore marziano è morto 40.000 anni prima della nascita del primo scrittore terrestre, come si può tradurre dal Marziano?”

ovvero: Può esistere una
“Stele di Rosetta” aliena?

Testo originale di *Omnilingual*:

www.gutenberg.org/files/19445/19445-h/19445-h.htm

Traduzione italiana in:

Antologia Scolastica, a cura di **Isaac Asimov**

(Biblioteca di Urania, Mondadori, 1972)



Tavola Periodica

The periodic table is color-coded and includes a legend at the top center. The legend defines symbols for different element groups: X (alkali), X (alkaline earth), X (transition), and X (noble gases). It also includes color-coded boxes for various element groups: yellow (metals), green (metalloids), blue (nonmetals), and red (halogens). The classification key at the bottom categorizes elements into metals (alkali, alkaline earth, transition, post-transition), metalloids, and nonmetals (halogens, noble gases, and others).

Antonio Cicchella 2017

“Qualcuno mi ha chiesto se nell'Universo esistano altri elementi oltre a quelli nella tavola periodica. Ho risposto che è come chiedersi se esistano altri numeri naturali oltre uno, due, tre ... Sfortunatamente qualcuno ritiene che anche questa sia una buona domanda”

*“Dedicato a tutti quelli
che stanno scappando”
(G. Salvatores,
Mediterraneo, 1992)*



Grazie per l'attenzione!

EXTRA SLIDES

Pressione dai quanti di luce (fotoni)

relazione tra quantità di moto p ed
energia E per particelle a massa nulla

$$p = E/c$$

Se N fotoni “rimbalzano” su uno
specchio di area A in un tempo Δt

$$I = NE / (A \Delta t)$$

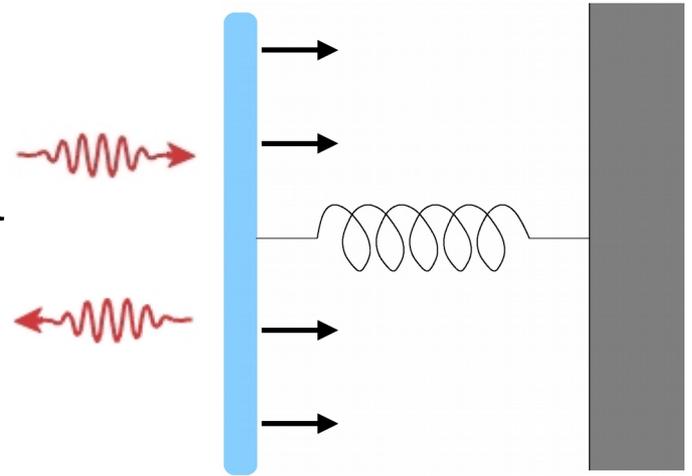
$$\Delta p = N(2p) = 2NE/c$$

forza risultante:

$$F = \Delta p / \Delta t = 2(NE/c) / \Delta t$$

pressione:

$$P = F/A = 2(NE/A \Delta t c) = 2I/c$$



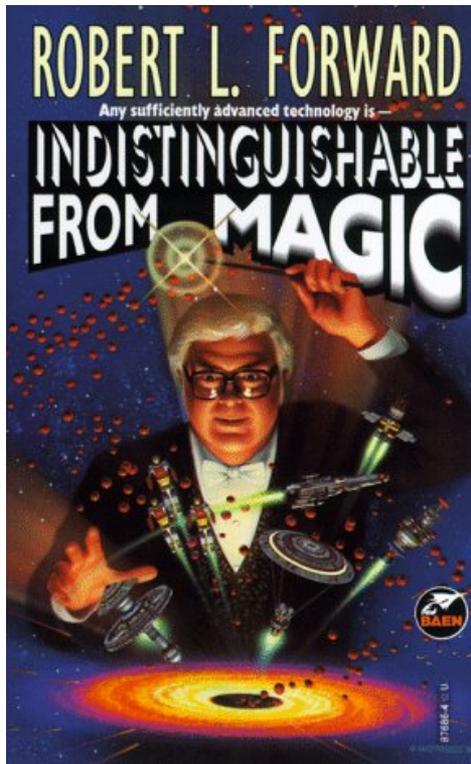
Albert Einstein, 1905



Viaggio ϵ -Eridani A/R

R. L. Forward (1984)

J. Spacecraft **21**, 187



“Ogni tecnologia sufficientemente avanzata è indistinguibile dalla magia”

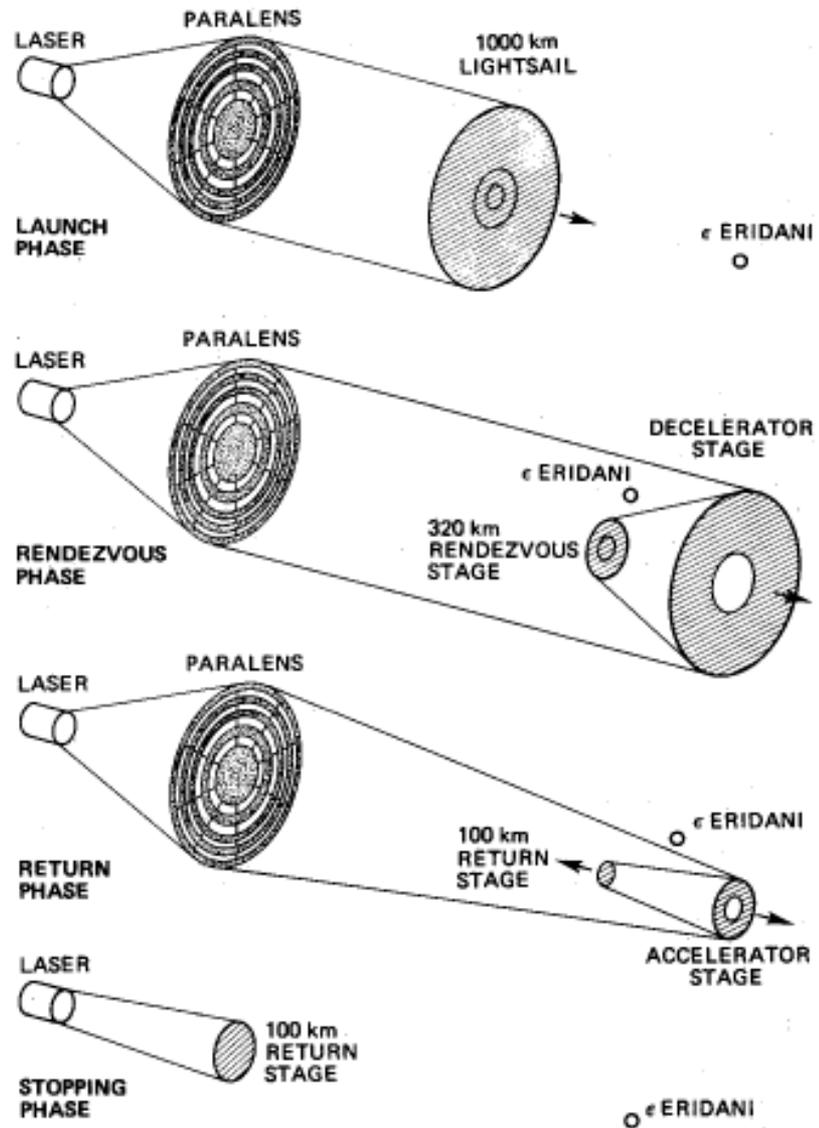
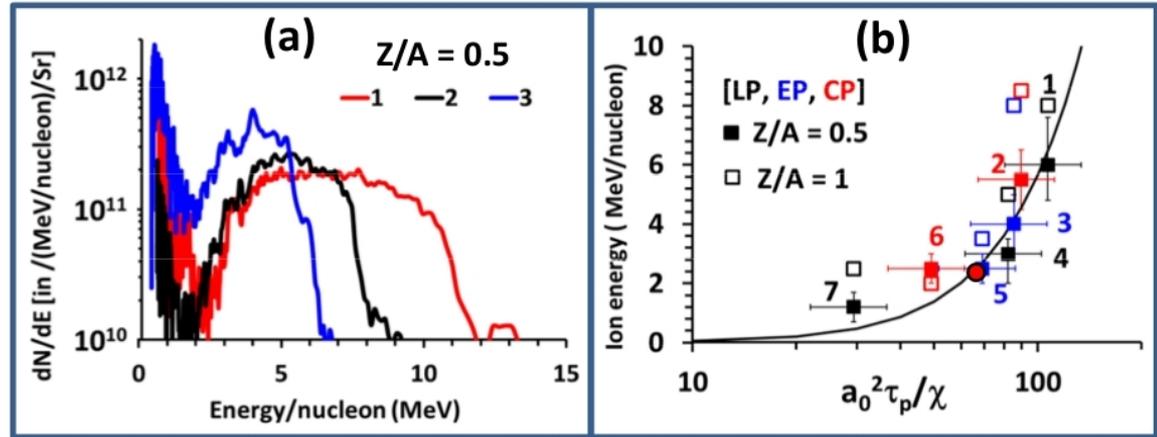


Fig. 5 Propulsion phases of roundtrip interstellar travel using laser-pushed lightsails.

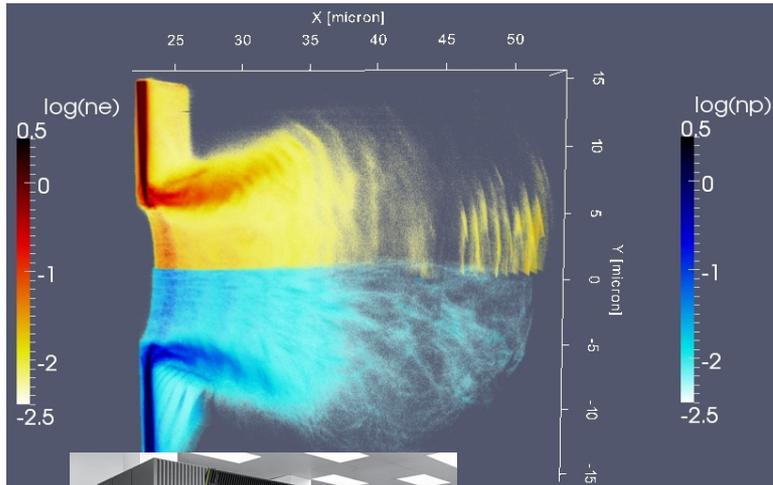
I nostri strumenti



esperimenti

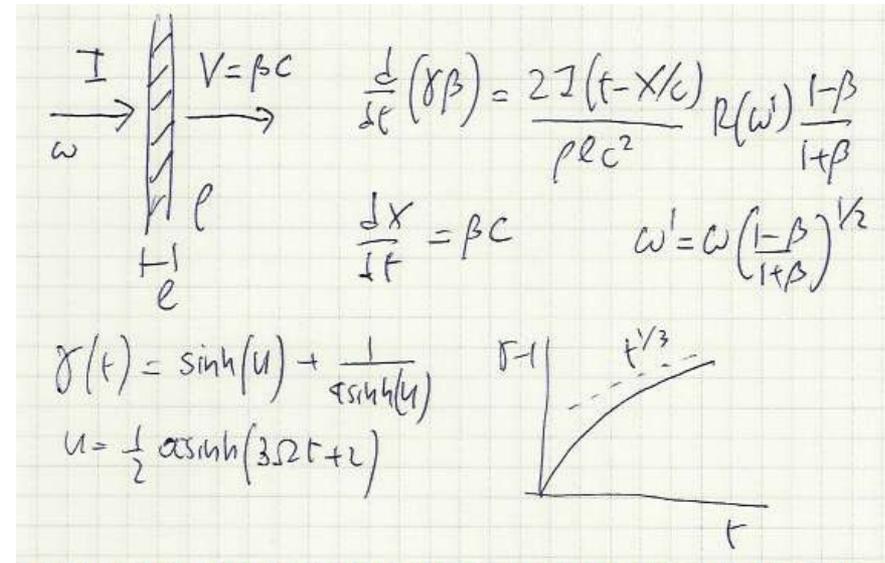


S. Kar et al, Phys. Rev. Lett. **109** (2012) 185006

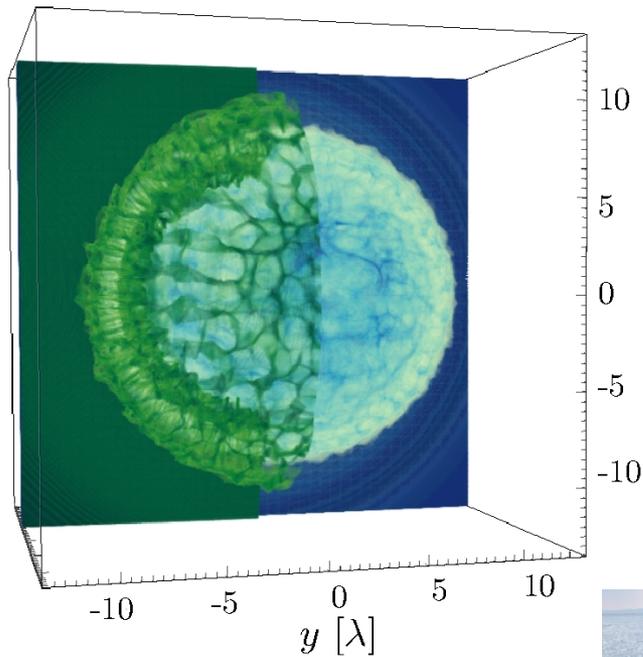


simulazioni
numeriche

carta e penna



Un problema solo fra tanti ...



“Rottura” della vela a causa dell'instabilità di Rayleigh-Taylor con formazione di strutture esagonali

