

Heller als Milliarden Sonnen: Wie die stärksten Laser der Welt Materie bewegen

science@sail 2010

Dieter Bauer
AG Quantentheorie & Vielteilchensysteme
Institut für Physik, Universität Rostock



Inhalt

Wieso “heller als Milliarden Sonnen”?

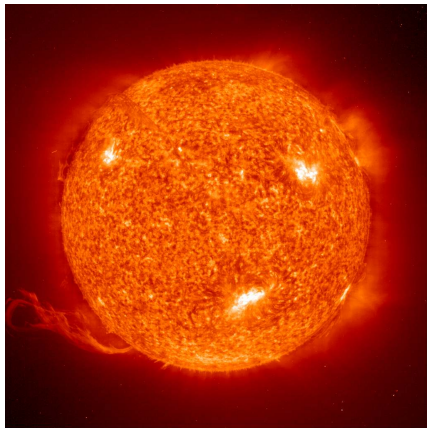
Intensive Laser

Wie Licht Materie bewegt

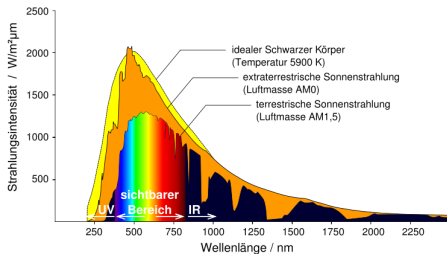
Teilchenbeschleunigung mit Lasern

Der stärkste Laser der Welt

Wieso "heller als Milliarden Sonnen"?



Wieviel Watt hat die Sonne?



Solarkonstante

$$E_0 = 1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

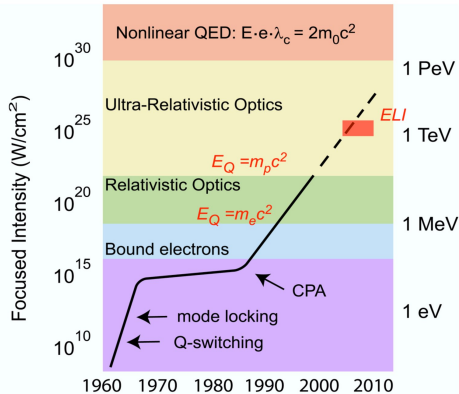
$$E_0 \pi r_{\text{Erde}}^2 \simeq 170 \text{ PW}$$

Quelle: Wikipedia

Milliarden Sonnen:

$$10^9 E_0 = 1.367 \times 10^{12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1.367 \frac{\text{TW}}{\text{m}^2} = 0.1367 \frac{\text{GW}}{\text{cm}^2} = 1.367 \times 10^8 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Intensive Laser



$10^{15} \text{ W}/\text{cm}^2$ werden heutzutage in vielen Laboratorien weltweit erreicht

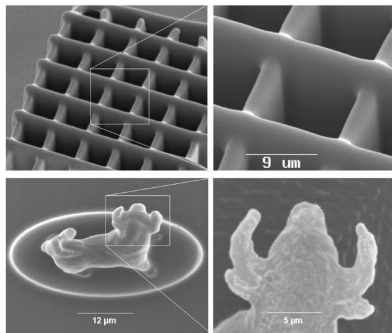
Warum stagnierte der Fortschritt so lange? Das "Selbsterstörungsproblem"



Krater, produziert von einem 10 J, 10 ns Nd Laserpuls

Quelle: K. Eidmann, R. Sigel, MPQ Garching (1974)

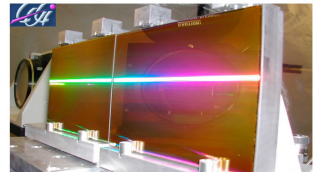
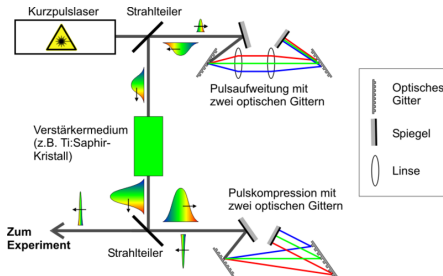
Des einen Leid ... Materialbearbeitung, "nano structuring"



F. Korte *et al.*, *Appl. Phys. A* 77, 229 (2003)

Wie vermeidet man, dass sich der Laser selbst zerstört?

Trick: Puls strecken, verstärken und wieder stauchen



Quelle: Wikipedia

Quelle: LULI, ELI-Projekt

“Chirped pulse amplification”



Wozu immer höhere Intensitäten?

Licht bewegt Materie!

Je intensiver das Licht, desto höher die Energien der Materieteilchen

Mögliche Anwendungen: Teilchenbeschleunigung, Medizin, Kernfusion ...

Warum übt Licht Druck aus?

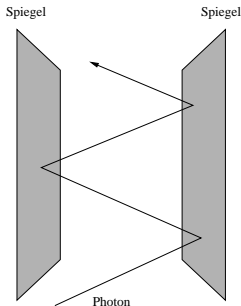
Impulserhaltung



<http://sirius.ucsc.edu>

Warum übt Licht Druck aus?

Impulserhaltung → **Lichtdruck**



Ein Photon ($\lambda = 800 \text{ nm}$) hat Impuls

$$\hbar k = 8.3 \times 10^{-28} \text{ kg m/s}$$

In einem auf $1 \mu\text{m}^2$ fokussierten, 10 fs , 10^{18} W/cm^2 Laserpuls befinden sich 4×10^{14} Photonen

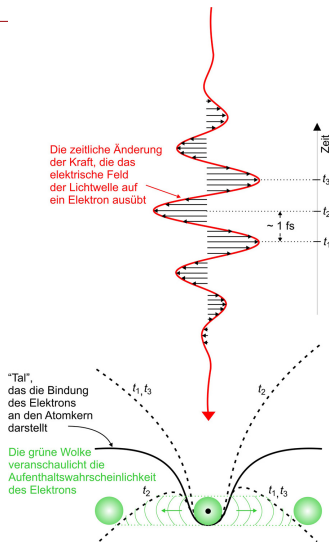
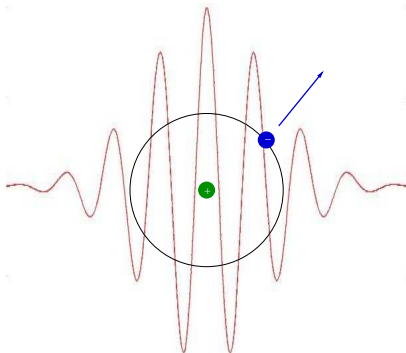
⇒ Gesamtimpulsübertrag pro Reflexion: $6.6 \times 10^{-13} \text{ kg m/s}$

Ein μm^3 Aluminium hat die Masse $2.7 \times 10^{-15} \text{ kg}$ und würde bei einer Reflexion schon auf 880 km/h beschleunigt!

Was ist mit der Energieerhaltung?

Was passiert genau?

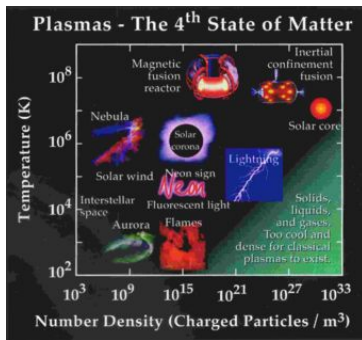
Erster Schritt: Ionisation



Quelle: MPG

Trifft intensives Laserlicht auf Materie, so entsteht ein **Plasma**

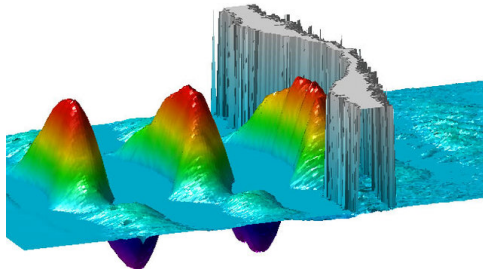
Im Plasma sind Atome in Elektronen und Ionen zerlegt



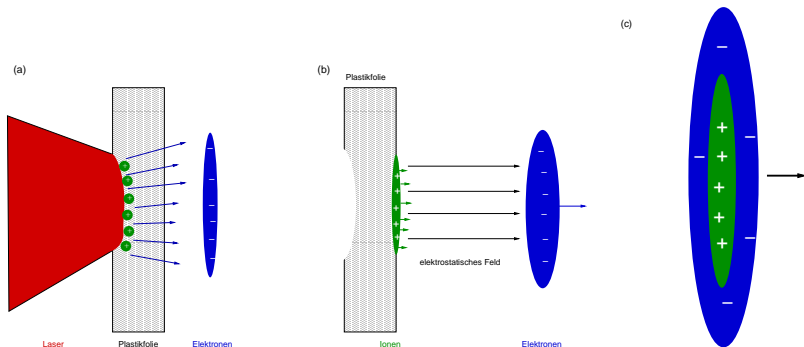
Quelle: www.plasmas.org

Elektronen werden aus den Bereichen hoher Laserintensität herausgedrängt →
Lichtdruck

Licht wird aus den Bereichen hoher Dichte herausgedrängt → Reflexion →
Spiegel

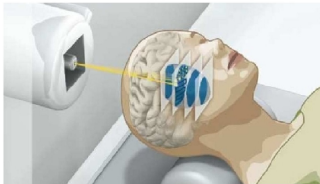


Beschleunigung von Materie mit Licht

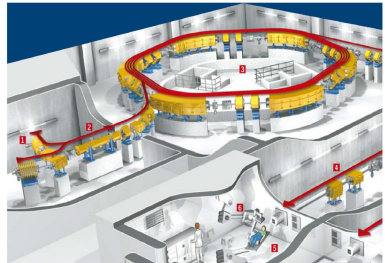


Beschleunigte Ionen können in der Tumorthherapie eingesetzt werden

Krebstherapie mit Ionenstrahlen... ...z.B. am Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum:



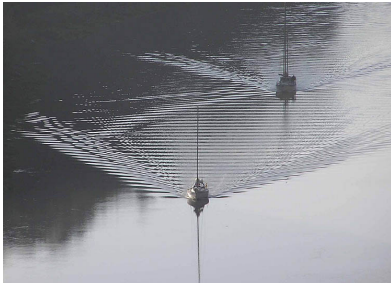
In Zukunft geht es vielleicht auch kompakter und günstiger:
Ionenbeschleunigung mit intensiven
fokussierten **Laserstrahlen**



Quelle: <http://www.klinikum.uni-heidelberg.de>

Quelle: Zoltán Harman, MPI-K Heidelberg

Kielwasser



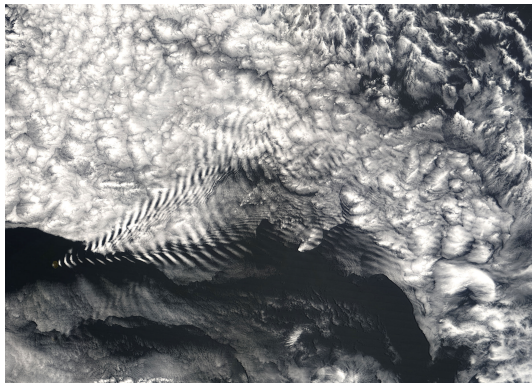
<http://en.wikipedia.org/wiki/Wake>



<http://www.polizei-nrw.de>

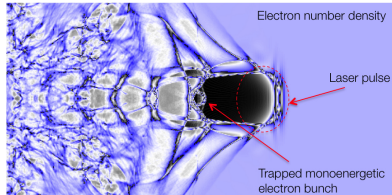
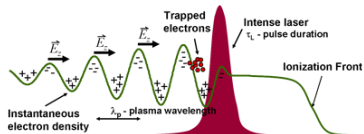
Universelles Muster ("Kelvin-Muster")

"Kielwasser" in den Wolken



<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6151>

Elektronenbeschleunigung im "Kielwasser" eines Laserpulses



<http://www.engin.umich.edu>

“wake field acceleration”



Nature 431, (2004)

10^9 Elektronen, 10 fs
von 0 auf $\simeq 100$ MeV (99.999% c) über 1 mm,
kleine Strahldivergenz, 10% Energiebreite

Electrons hang ten on laser wake

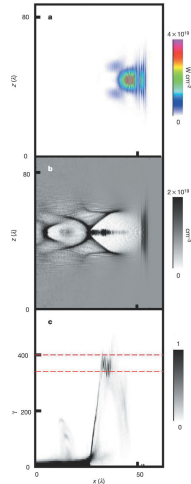


High-power lasers have been the subject of much research in particle physics, but now they are being used to accelerate particles. The first demonstration of this was in 1985, when a laser pulse was used to accelerate electrons in a plasma. This was followed by the development of the laser wakefield accelerator (LWFA) in 1993. The LWFA is a type of particle accelerator that uses a laser pulse to create a wakefield in a plasma. The wakefield is a series of electric and magnetic fields that are generated by the laser pulse. The wakefield is then used to accelerate particles. The LWFA is a compact and efficient particle accelerator that has many advantages over traditional particle accelerators. It is much smaller, cheaper, and easier to operate. It also has a much higher energy density and a much shorter acceleration length. The LWFA is a promising technology for a wide range of applications, including medical physics, industrial physics, and fundamental physics.

High-power lasers could produce the light pulses of these models for applications in high-energy physics and in the production of short, well-defined, femtosecond pulses. The first demonstration of this was in 1985, when a laser pulse was used to accelerate electrons in a plasma. This was followed by the development of the laser wakefield accelerator (LWFA) in 1993. The LWFA is a type of particle accelerator that uses a laser pulse to create a wakefield in a plasma. The wakefield is a series of electric and magnetic fields that are generated by the laser pulse. The wakefield is then used to accelerate particles. The LWFA is a compact and efficient particle accelerator that has many advantages over traditional particle accelerators. It is much smaller, cheaper, and easier to operate. It also has a much higher energy density and a much shorter acceleration length. The LWFA is a promising technology for a wide range of applications, including medical physics, industrial physics, and fundamental physics.

It is a conventional accelerator design, but it is a compact and efficient particle accelerator. It is much smaller, cheaper, and easier to operate. It also has a much higher energy density and a much shorter acceleration length. The LWFA is a promising technology for a wide range of applications, including medical physics, industrial physics, and fundamental physics.

news and views



PIC-Rechnung von A. Pukhov

Der stärkste Laser der Welt

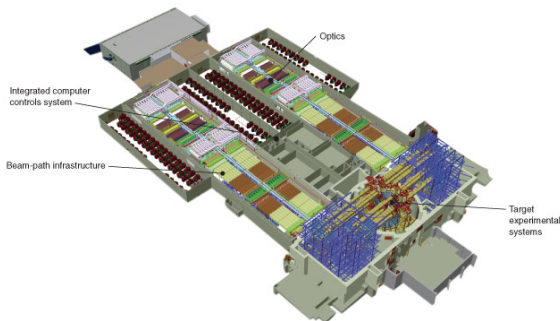
“National Ignition Facility” (NIF) am Lawrence-Livermore Lab. in Kalifornien



Gov. Schwarzenegger, LLNL Director

George Miller and NIF Director Ed Moses

at the post-tour news conference



Quelle: www.llnl.gov

192 Laser werden auf mm-großes Zielobjekt fokussiert.

NIF



Quelle: www.llnl.gov

NIF



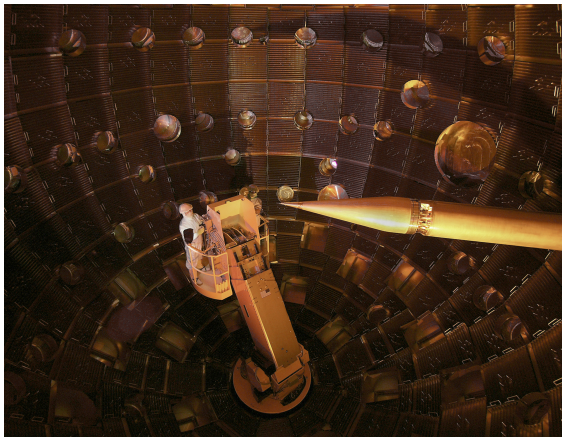
Quelle: www.llnl.gov

NIF



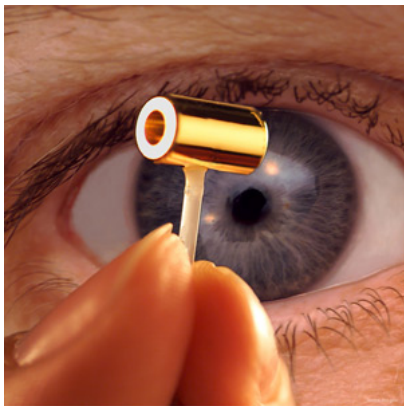
Quelle: www.lnl.gov

NIF



Quelle: www.llnl.gov

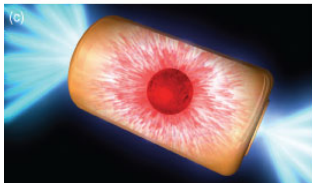
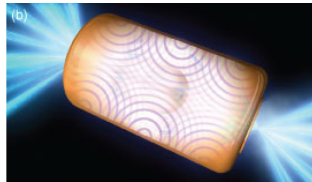
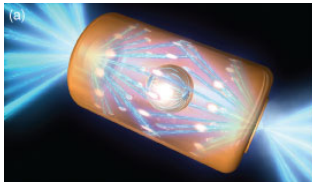
NIF



Quelle: www.lnl.gov

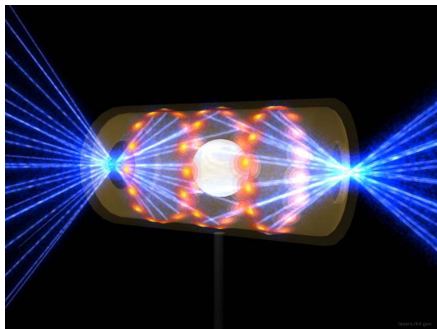
NIF

Inertialfusion



Quelle: www.llnl.gov

NIF



Quelle: www.llnl.gov

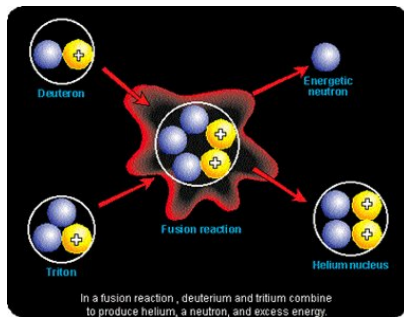
Mit Deuterium und Tritium gefüllte Kapsel wird durch die Einstrahlung auf die 100-fache Dichte von Blei komprimiert

→ 100 Millionen °C

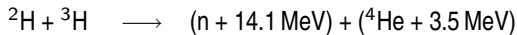
→ Kernfusion

Liefert 10-100 mal mehr Energie als zur Kompression benötigt

Fusion von Deuterium und Tritium



Quelle: www.ile.rochester.edu





Zusammenfassung

- Entwicklung geht hin zu
 - immer stärkeren,
 - immer kürzeren

Laserpulsen in weiten Wellenlängenbereichen.

-
- Anwendungen sind:
 - “Filmen” von atomarer und molekularer Dynamik,
 - Teilchenbeschleunigung, Fusion.

-
- Ausblick:
 - Mit noch stärkeren Lasern wird man das Vakuum beeinflussen und Teilchen erzeugen können.