

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

# Energetyka Jądrowa++

Czyli wszystko co chcielibyście wiedzieć o plazmach  
gdybyście wiedzieli, że są one, a są one

Dominik Stańczak

Politechnika Warszawska

20 grudnia 2016, Wstęp do Fizyki Jądrowej

# Energia wiązania

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tę i  
we wtę

Energia wiązania

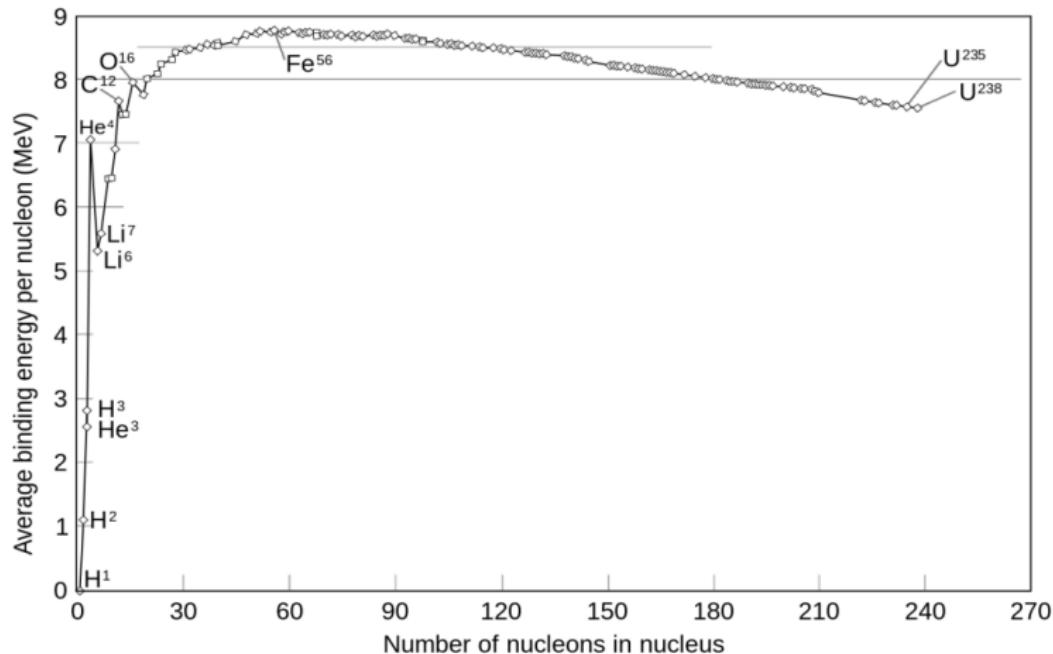
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Ille z was myśli, że...

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania

Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

■ W tej analogii coś jest?

# Ille z was myśli, że...

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania  
Prosty model - jakich  
energii  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

- W tej analogii coś jest?
- W tej analogii jest na tyle czegoś, żeby była możliwa z tego produkcja energii?

# Ille z was myśli, że...

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania  
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

- W tej analogii coś jest?
- W tej analogii jest na tyle czegoś, żeby była możliwa z tego produkcja energii?
- W ten sposób możnaby za naszego życia generować energię?

# Ille z was myśli, że...

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania  
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

- W tej analogii coś jest?
- W tej analogii jest na tyle czegoś, żeby była możliwa z tego produkcja energii?
- W ten sposób możnaby za naszego życia generować energię?
- W ten sposób już teraz generowana energia?

# Ille z was myśli, że...

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania  
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

- W tej analogii coś jest?
- W tej analogii jest na tyle czegoś, żeby była możliwa z tego produkcja energii?
- W ten sposób możnaby za naszego życia generować energię?
- W ten sposób już teraz generowana energia?
- Widziało ostatnio coś, co używało tej zasady?

# Odpowiedź jest jasna.

Słońce, no lol.

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tę i  
we wtę

Energia wiązania

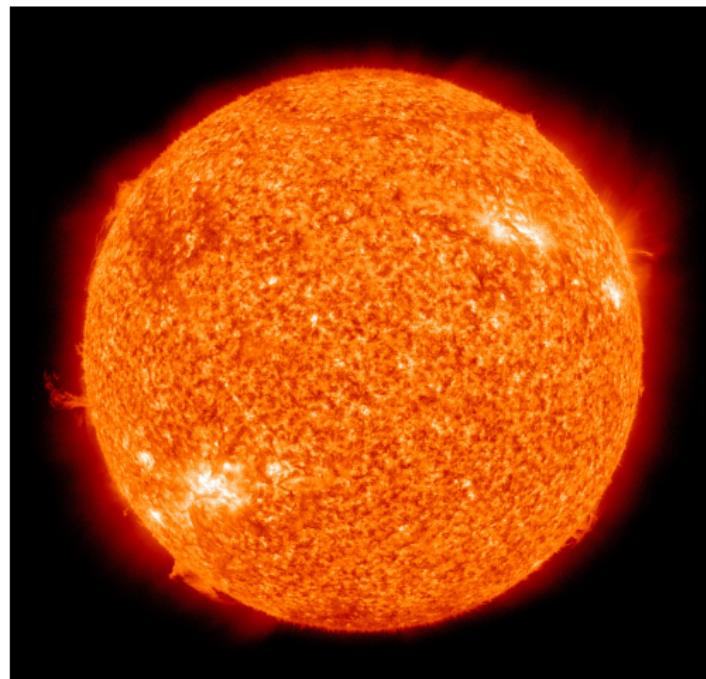
Prosty model - jakich  
energií  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Fuzja jądrowa wodoru!

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania

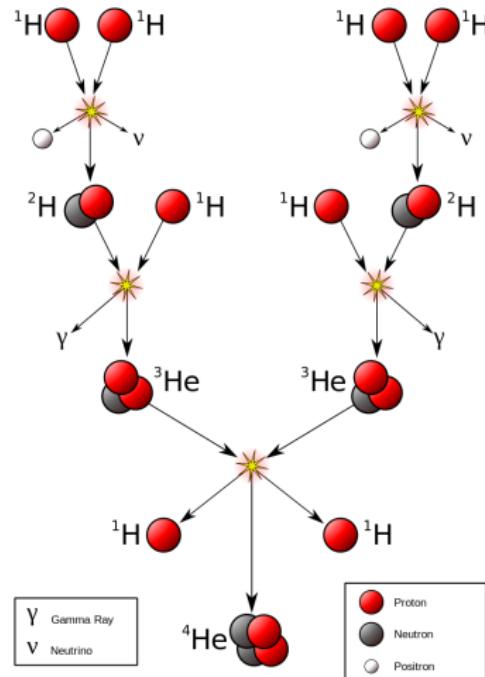
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

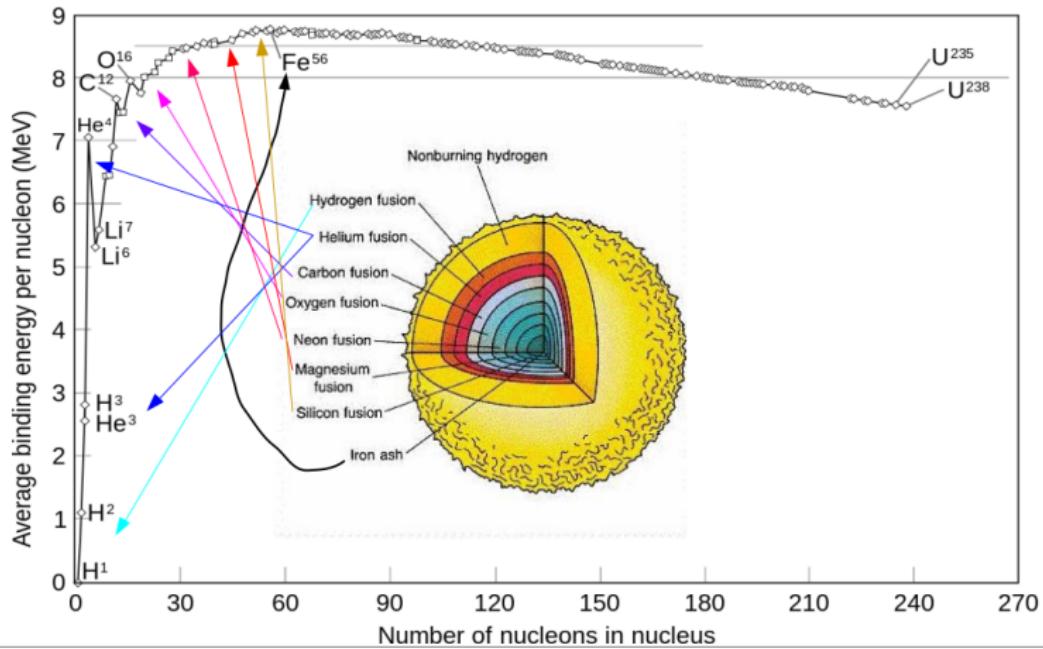


## Energia wiązania raz jeszcze

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

### Energia wiązania



# Mechanika fuzji jądrowej

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania

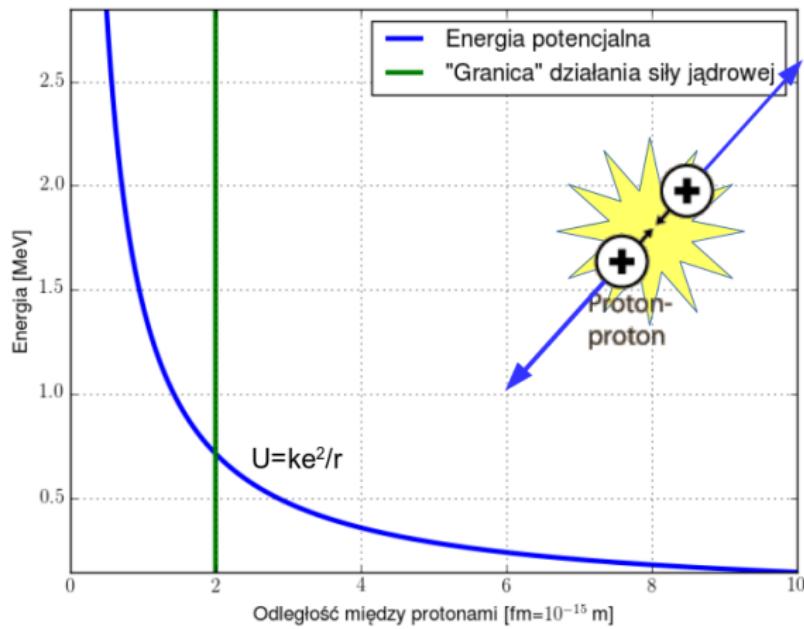
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Mechanika (klasyczna) fuzji jądrowej

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania

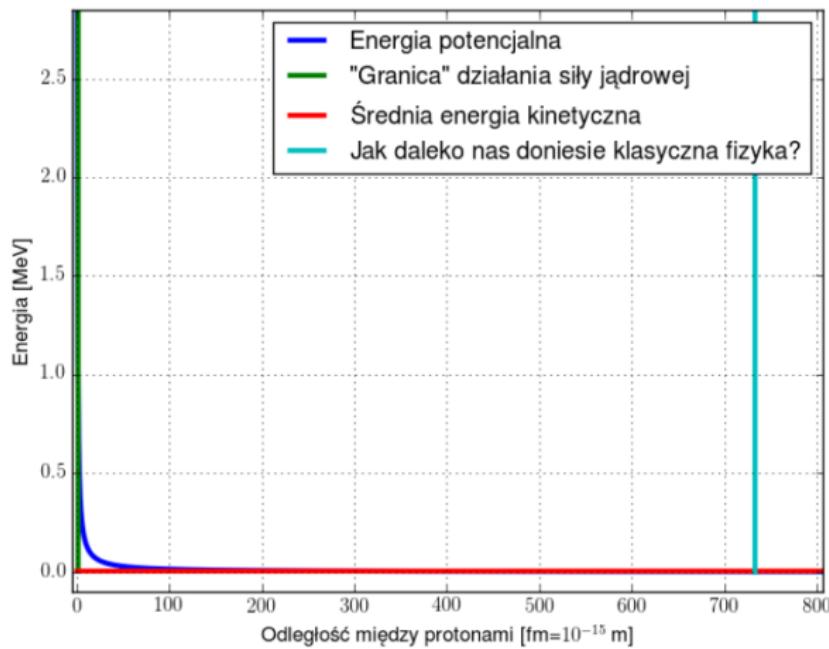
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Kicha

## Klasyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Energia wiązania

Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

# Kicha Klasyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tę i  
we wtę

Energia wiązania

Prosty model - jakich  
energií  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Cytacik

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania

Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

We do not argue with the critic who urges that the stars are not hot enough for this process; we tell him to go and find a hotter place. - Arthur Eddington



# Mechanika (kwantowa, znaczy lepsza) fuzji jądrowej

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Energia wiązania

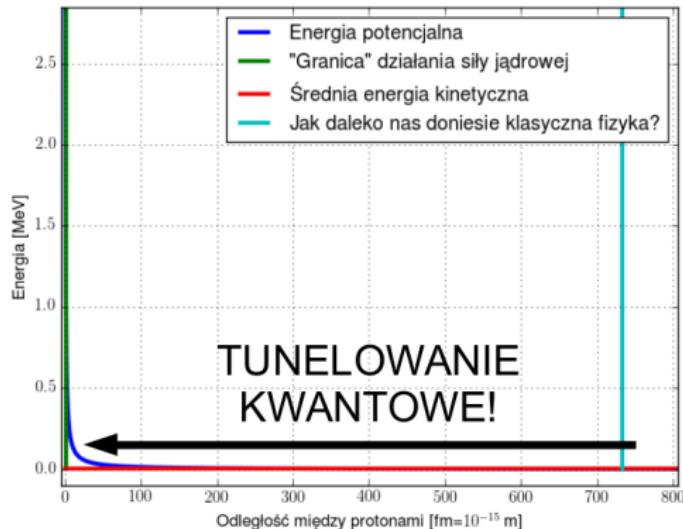
Prosty model - jakich  
energi  
potrzebujemy?

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



Grzesiek Gamow

# Duże ciśnienia, małe temperatury

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

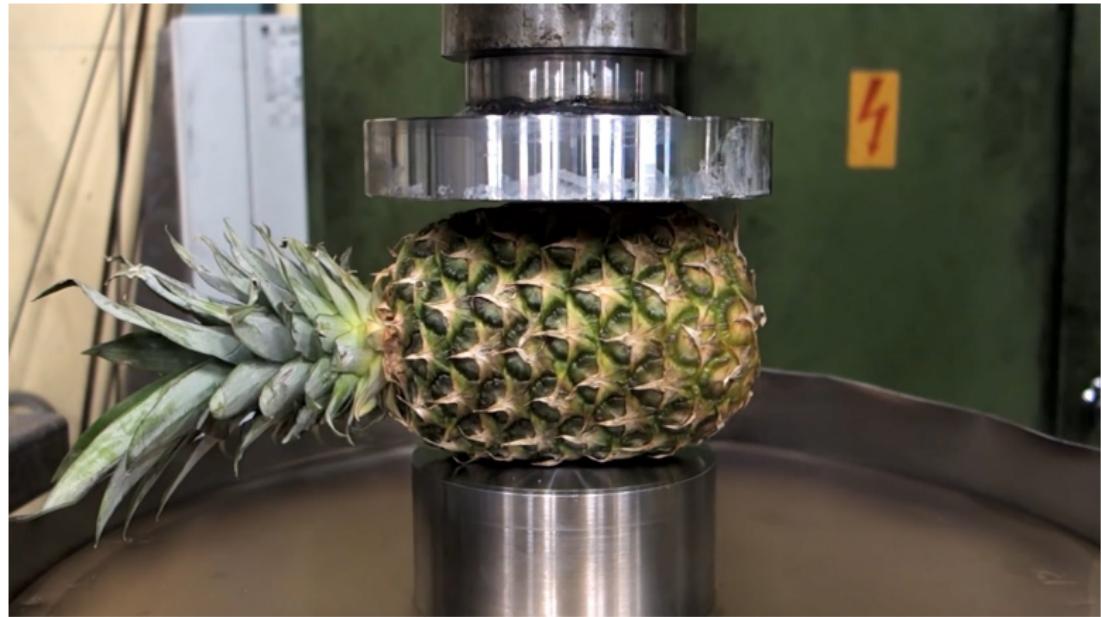
Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Jak to jest w Słońcu?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

## Solar core

From Wikipedia, the free encyclopedia

The **core of the Sun** is considered to extend from the center to about 0.2 to 0.25 of **solar radius**.<sup>[1]</sup> It is the hottest part of the **Sun** and of the **Solar System**. It has a density of 150 g/cm<sup>3</sup> (150 times the density of liquid **water**) at the center, and a temperature of 15 million degrees Celsius.<sup>[2]</sup> The core is made of **hot, dense gas in the plasma state** (ions and electrons), at a pressure estimated at 265 billion **bar** (3.84 trillion **psi** or 26.5 **petapascals** (PPa)) at the center. Due to fusion, the composition of the solar plasma drops from 68-70% hydrogen by mass at the outer core, to 33% hydrogen at the core/Sun center.

# Ille wyciskamy w praktyce?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

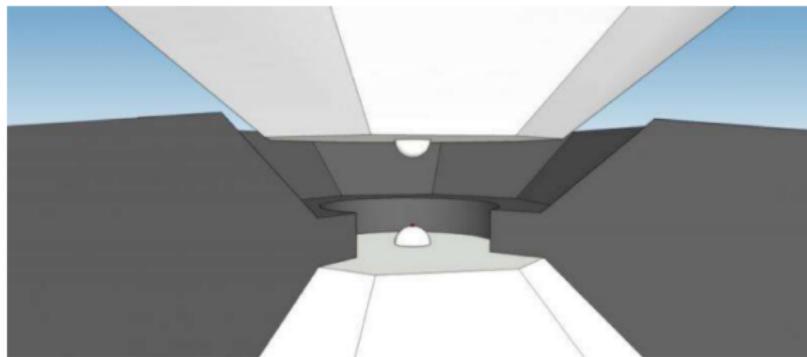
Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

## Record high pressure squeezes secrets out of osmium

August 24, 2015



A schematic of the pressure chamber of the double-stage diamond anvil cell: The osmium sample is just 3 microns small and sits between two semi-balls made of nanocrystalline diamond of extraordinary strength. Credit: Elena Bykova/University of Bayreuth

An international team of scientists led by the University of Bayreuth and with participation of DESY has created the highest static pressure ever achieved in a lab: Using a special high pressure device, the researchers investigated the behaviour of the metal osmium at pressures of up to 770 Gigapascals (GPa) - more than twice the pressure in the inner core of the Earth, and about 130 Gigapascals higher than the previous world record set by members of the same team. Surprisingly, osmium does not change its crystal structure even at the highest pressures, but the core electrons of the atoms come so close to each other that they can interact - contrary to what is usually known in chemistry.

# Duże temperatury, mniejsze ciśnienia

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Do ilu dochodzimy w praktyce?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Water boiling point <sup>[A]</sup>	373.1339 K	99.9839 °C
Incandescent lamp <sup>[B]</sup>	2500 K	≈2,200 °C
Sun's visible surface <sup>[D][79]</sup>	5,778 K	5,505 °C
Lightning bolt channel <sup>[E]</sup>	28 kK	28,000 °C
Sun's core <sup>[E]</sup>	16 MK	16 million °C
Thermonuclear weapon (peak temperature) <sup>[E][80]</sup>	350 MK	350 million °C
Sandia National Labs' Z machine <sup>[E][81]</sup>	2 GK	2 billion °C
Core of a high-mass star on its last day <sup>[E][82]</sup>	3 GK	3 billion °C
Merging binary neutron star system <sup>[E][83]</sup>	350 GK	350 billion °C
Relativistic Heavy Ion Collider <sup>[E][84]</sup>	1 TK	1 trillion °C
CERN's proton vs nucleus collisions <sup>[E][85]</sup>	10 TK	10 trillion °C
Universe $5.391 \times 10^{-44}$ s after the Big Bang <sup>[E]</sup>	$1.417 \times 10^{32}$ K	$1.417 \times 10^{32}$ °C

# Do ilu dochodzimy w praktyce?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

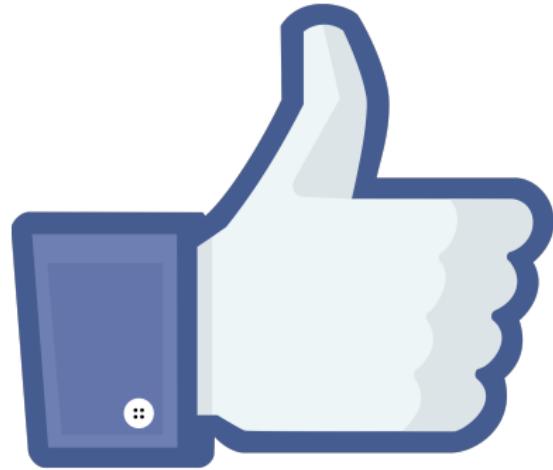
Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Water boiling point <sup>[A]</sup>	373.1339 K	99.9839 °C
Incandescent lamp <sup>[B]</sup>	2500 K	≈2,200 °C
Sun's visible surface <sup>[D][79]</sup>	5,778 K	5,505 °C
Lightning bolt channel <sup>[E]</sup>	28 kK	28,000 °C
Sun's core <sup>[E]</sup>	16 MK	16 million °C
Thermonuclear weapon (peak temperature) <sup>[E][80]</sup>	350 MK	350 million °C
Sandia National Labs' Z machine <sup>[E][81]</sup>	2 GK	2 billion °C
Core of a high-mass star on its last day <sup>[E][82]</sup>	3 GK	3 billion °C
Merging binary neutron star system <sup>[E][83]</sup>	350 GK	350 billion °C
Relativistic Heavy Ion Collider <sup>[E][84]</sup>	1 TK	1 trillion °C
CERN's proton vs nucleus collisions <sup>[E][85]</sup>	10 TK	10 trillion °C
Universe $5.391 \times 10^{-44}$ s after the Big Bang <sup>[E]</sup>	$1.417 \times 10^{32}$ K	$1.417 \times 10^{32}$ °C



# Do ilu dochodzimy w praktyce?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Duże ciśnienia,  
mniejsze temperatury

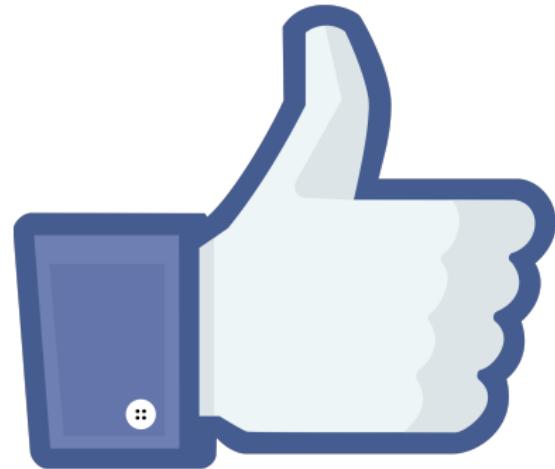
Duże temperatury,  
mniejsze ciśnienia

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Water boiling point <sup>[A]</sup>	373.1339 K	99.9839 °C
Incandescent lamp <sup>[B]</sup>	2500 K	≈2,200 °C
Sun's visible surface <sup>[D][79]</sup>	5,778 K	5,505 °C
Lightning bolt channel <sup>[E]</sup>	28 kK	28,000 °C
Sun's core <sup>[E]</sup>	16 MK	16 million °C
Thermonuclear weapon (peak temperature) <sup>[E][80]</sup>	350 MK	350 million °C
Sandia National Labs' Z machine <sup>[E][81]</sup>	2 GK	2 billion °C
Core of a high-mass star on its last day <sup>[E][82]</sup>	3 GK	3 billion °C
Merging binary neutron star system <sup>[E][83]</sup>	350 GK	350 billion °C
Relativistic Heavy Ion Collider <sup>[E][84]</sup>	1 TK	1 trillion °C
CERN's proton vs nucleus collisions <sup>[E][85]</sup>	10 TK	10 trillion °C
Universe $5.391 \times 10^{-44}$ s after the Big Bang <sup>[E]</sup>	$1.417 \times 10^{32}$ K	$1.417 \times 10^{32}$ °C



# Podgrzewanie materii

## Stan stały

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

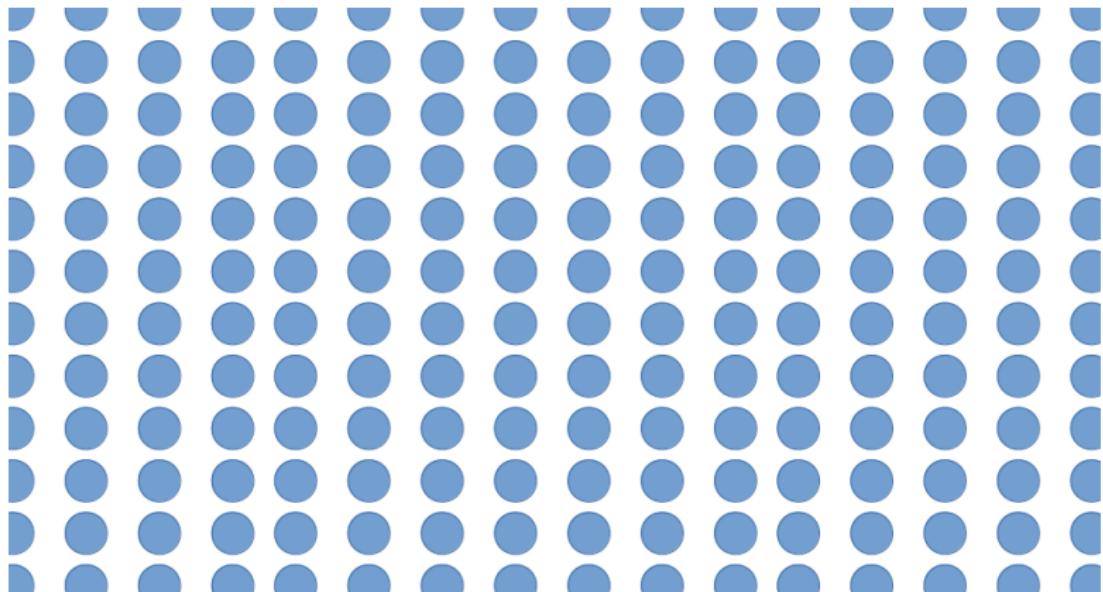
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Podgrzewanie materii

## Stan ciekły

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

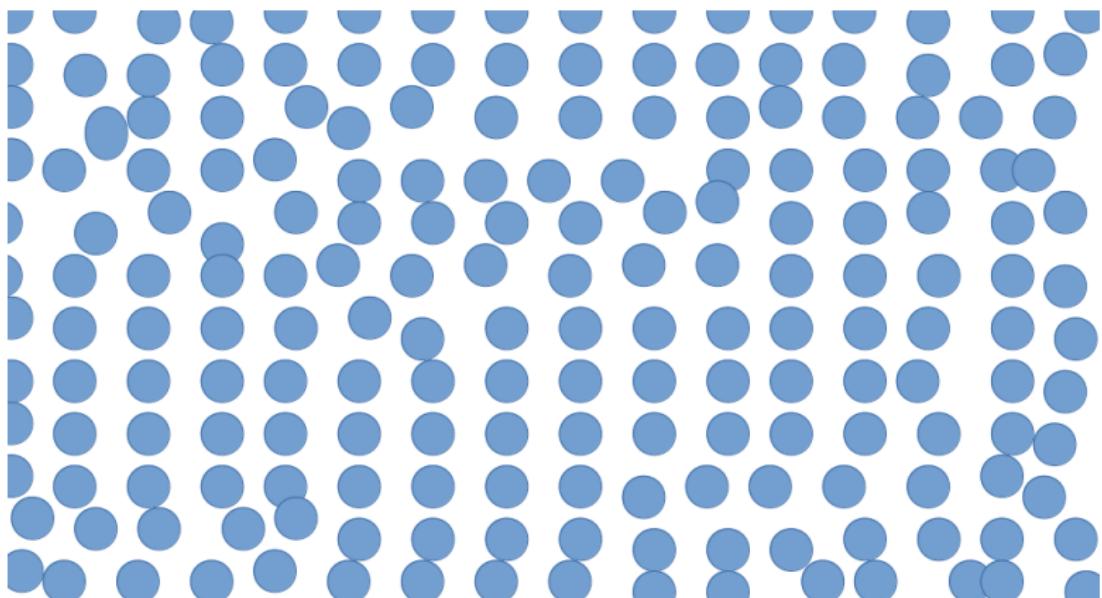
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Podgrzewanie materii

## Stan gazowy

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

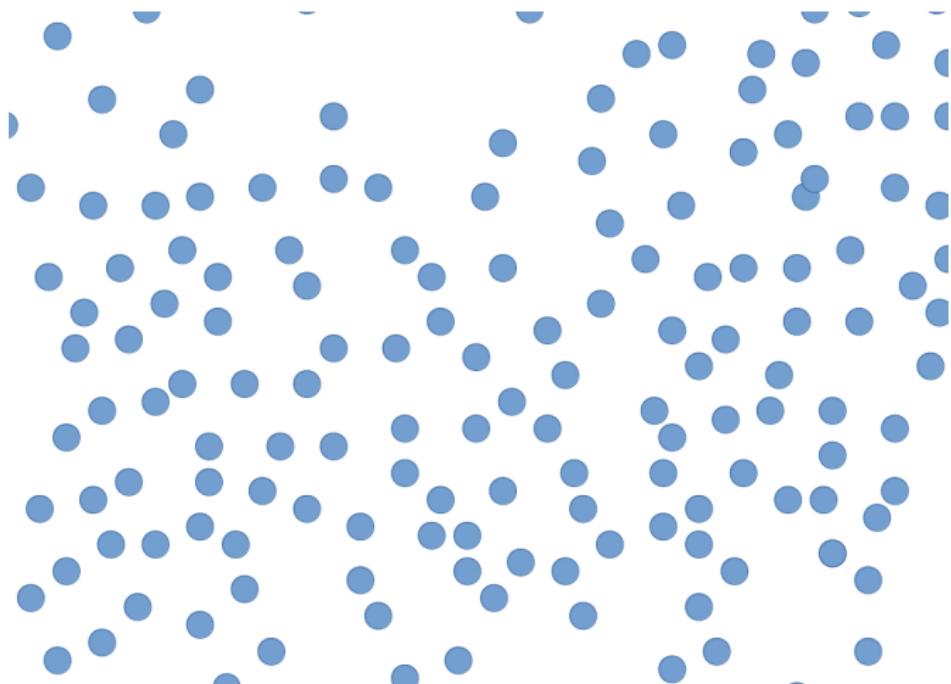
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Podgrzewanie materii

## Stan gazowy

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

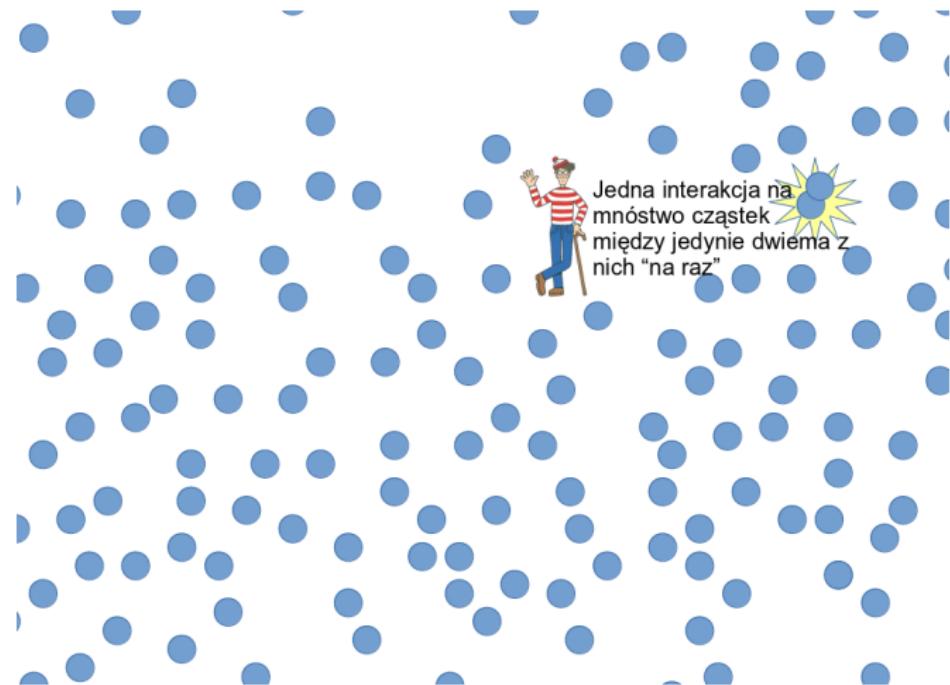
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

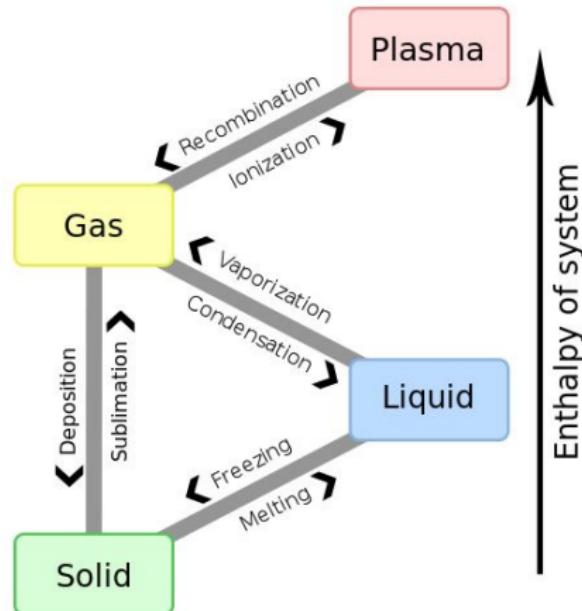
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Podgrzewanie materii

## Kompletny wykres przejść fazowych



# Podgrzewanie materii

## Gdzie jeszcze mamy drogę ujścia dla energii?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

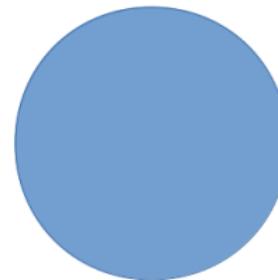
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Podgrzewanie materii

## Gdzie jeszcze mamy drogę ujścia dla energii?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

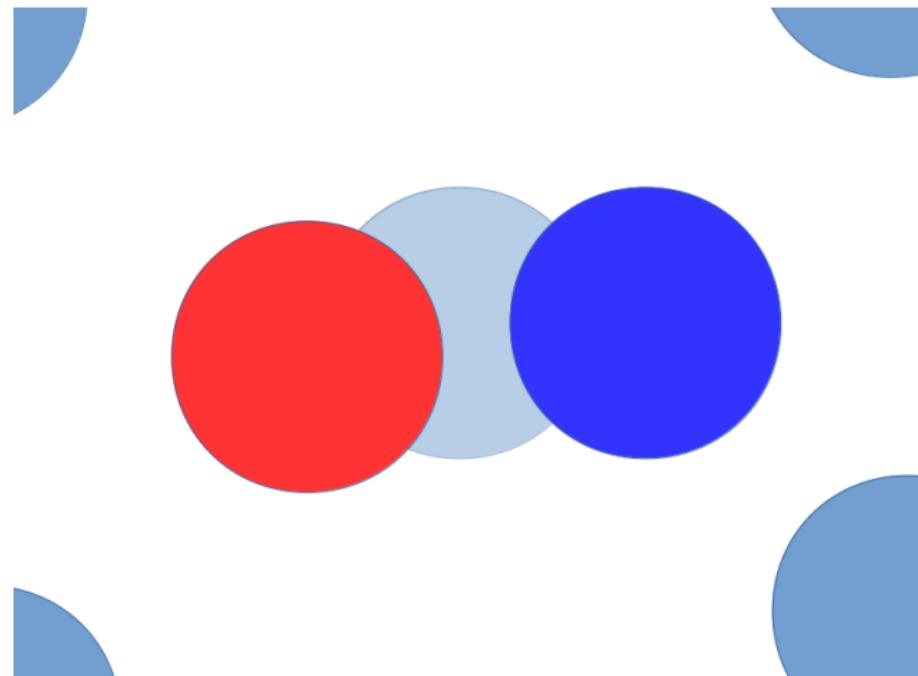
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Oddziaływanie

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

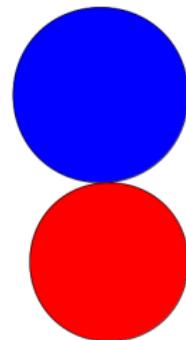
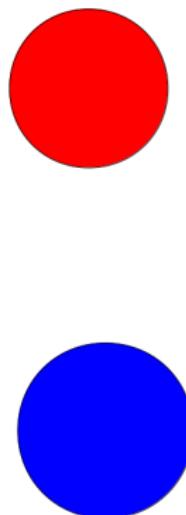
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Oddziaływanie

Każdy z każdym!

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

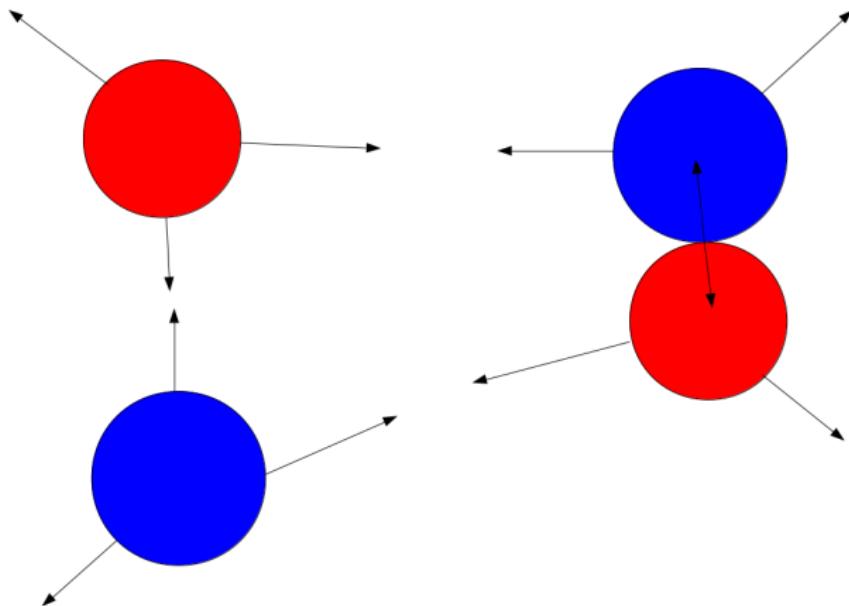
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Zoom out na skalę kosmiczną

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

99% obserwowalnej materii we wszechświecie to plazma.

# Zoom out na skalę kosmiczną

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

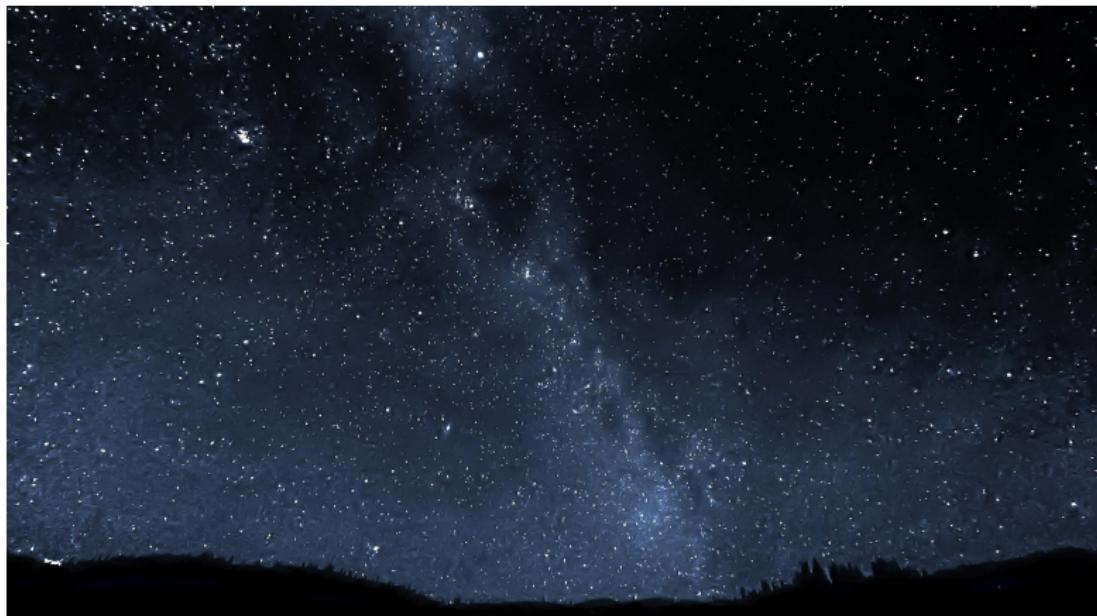
Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

99% obserwowalnej materii we wszechświecie to plazma.



# Zoom out na skalę kosmiczną

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

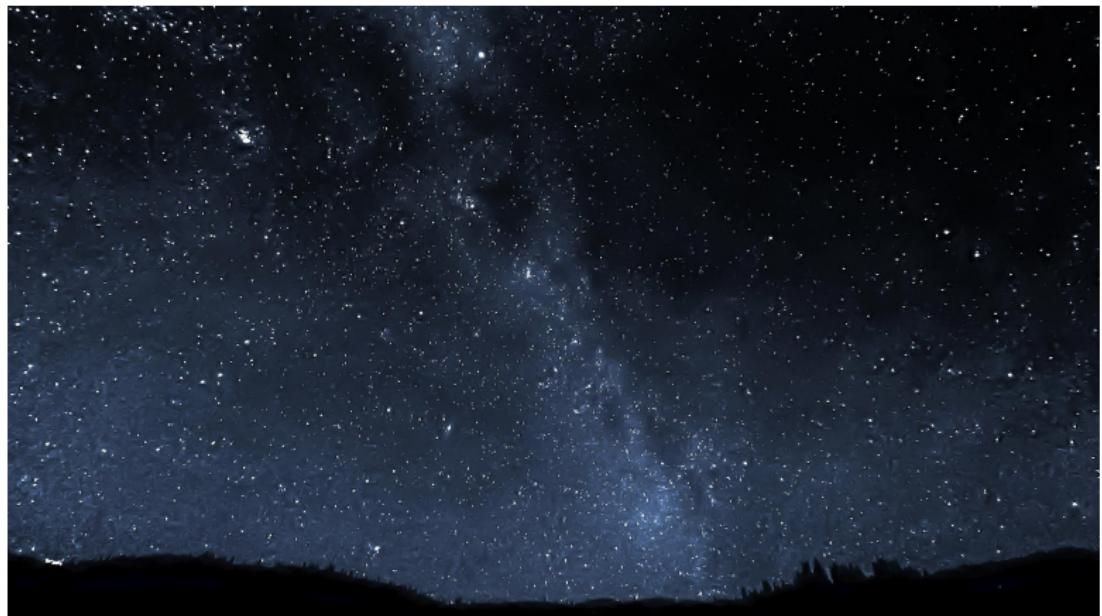
Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

99% obserwowalnej materii we wszechświecie to plazma.



To nie plazma jest taka wyjątkowa, to my, jako nie(plazma),  
Jesteśmy specjalni!

# Zjonizowany gaz...

Może warto poszukać w powietrzu, c'nie?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Zorze polarne, magnitosfera

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Ogień

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Świetłówki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

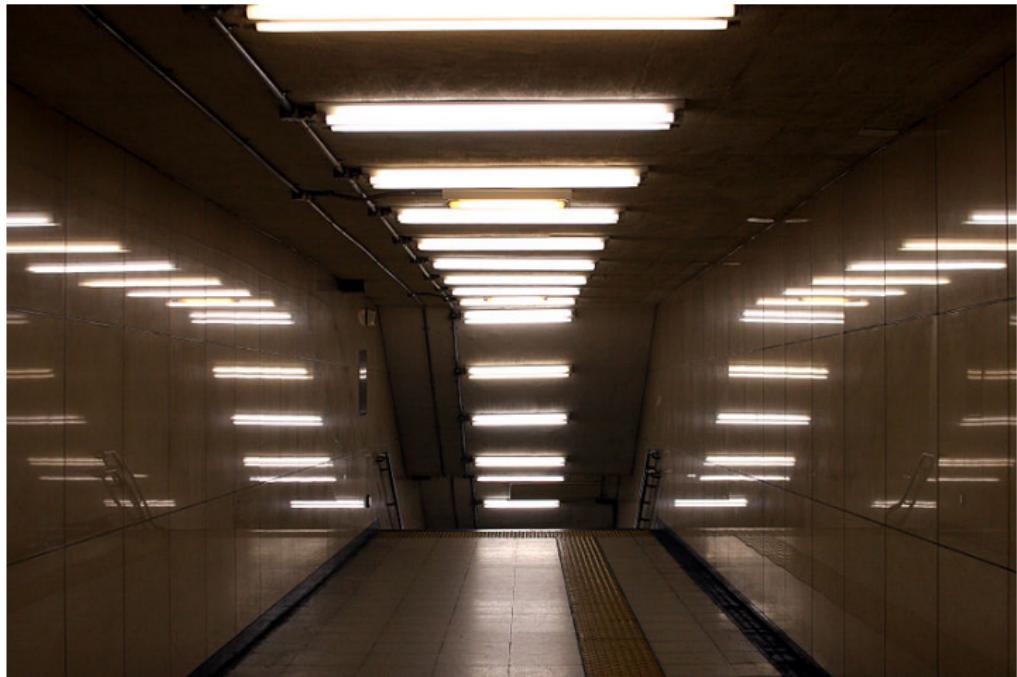
Stany materii

Odmienne stany  
skupienia

Przykłady  
występowania

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania



# Jak ugryźć plazmę?

## Z czym to się je?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

# Jak ugryźć plazmę?

## Z czym to się je?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

### UWAGA!

**PROSZĘ NIE GRYŹĆ PLAZMY.  
GRYZIENIE PLAZMY MOŻE SKUTKOWAĆ ŚMIERCIĄ.  
PRZED UGRYZIENIEM SKONSULTUJ SIĘ Z FIZYKIEM  
MEDYCZNYM LUB FARMACEUTĄ.**

# Elektrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

## ■ Ruch materii naładowanej - siła Lorentza jako podstawowa

# Elektrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Ruch materii naładowanej - siła Lorentza jako podstawowa
- Równania Maxwella - ewolucja pola elektromagnetycznego

# Elektrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Ruch materii naładowanej - siła Lorentza jako podstawowa
- Równania Maxwella - ewolucja pola elektromagnetycznego
- Relatywistyka też potrafi być konieczna - całkiem wysokie energie, akceleratory

# Hydrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

## ■ Kolektywne zachowania wielu cząstek

# Hydrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Kolektywne zachowania wielu cząstek
- Równania Naviera-Stokesa

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot ((\rho e + p) \vec{u}) = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\tau} \cdot \vec{u}) + \rho \vec{f} \cdot \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{q}) + r \quad (1)$$

# Hydrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Kolektywne zachowania wielu cząstek
- Równania Naviera-Stokesa

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot ((\rho e + p) \vec{u}) = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\tau} \cdot \vec{u}) + \rho \vec{f} \cdot \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{q}) + r \quad (1)$$

- ... z wpięтыmi równaniami Maxwella

# Hydrodynamika

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Kolektywne zachowania wielu cząstek
- Równania Naviera-Stokesa

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot ((\rho e + p) \vec{u}) = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\tau} \cdot \vec{u}) + \rho \vec{f} \cdot \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{q}) + r \quad (1)$$

- ... z wpięтыmi równaniami Maxwella
- **magnetohydrodynamika**

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności
- Modele na *częstekach* używane do badania turbulencji

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności
- Modele na *cząstkach używane do badania turbulencji*
- Heisenberg na łóżu śmierci podobno rzekł:

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności
- Modele na *cząstkach używane do badania turbulencji*
- Heisenberg na łóżu śmierci podobno rzekł:
  - "Gdy spotkam Boga, zamierzam mu zadać dwa pytania.

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności
- Modele na *cząstkach używane do badania turbulencji*
- Heisenberg na łóżu śmierci podobno rzekł:
  - "Gdy spotkam Boga, zamierzam mu zadać dwa pytania.
  - Dlaczego relatywistyka?

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności
- Modele na *cząstkach używane do badania turbulencji*
- Heisenberg na łóżu śmierci podobno rzekł:
  - "Gdy spotkam Boga, zamierzam mu zadać dwa pytania.
  - Dlaczego relatywistyka?
  - Dlaczego turbulencja?

# Mechanika klasyczna i dynamika nieliniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Często układy prawie zachowawcze (opór!)
- Chaos deterministyczny
- Niestabilności
- Modele na *cząstkach używane do badania turbulencji*
- Heisenberg na łóżu śmierci podobno rzekł:
  - "Gdy spotkam Boga, zamierzam mu zadać dwa pytania.
  - Dlaczego relatywistyka?
  - Dlaczego turbulencja?
  - Wierzę, że będzie miał odpowiedź na pierwsze."

# Mechanika kwantowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

... no w sumie to rzadko.

A screenshot of a search engine results page. The search bar at the top contains the text "plasma". To the right of the search bar are a microphone icon and a magnifying glass icon. Below the search bar, there are several navigation tabs: "All" (which is highlighted in blue), "Images", "Videos", "Maps", "News", and "More". To the right of these tabs are "Settings" and "Tools" buttons. Below the tabs, the text "About 186,000,000 results (0.70 seconds)" is displayed. The main content area is currently empty, showing only the search bar and navigation controls.

# Mechanika kwantowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

... no w sumie to rzadko.

A screenshot of a search results page from a search engine. The search bar at the top contains the text "plasma". Below the search bar, there are several tabs: "All" (which is highlighted in blue), "Images", "Videos", "Maps", "News", and "More". To the right of these tabs are "Settings" and "Tools" buttons. Below the tabs, the text "About 186,000,000 results (0.70 seconds)" is displayed. The main content area shows a grid of search results, which are partially visible.

A screenshot of a search results page from a search engine. The search bar at the top contains the text "quantum plasma". Below the search bar, there are several tabs: "All" (which is highlighted in blue), "Images", "Videos", "Shopping", "News", and "More". To the right of these tabs are "Settings" and "Tools" buttons. Below the tabs, the text "About 15,500,000 results (0.53 seconds)" is displayed. The main content area shows a grid of search results, which are partially visible.

# Mechanika statystyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

## ■ Układy daleko od równowagi - fizyka nierównowagowa

# Mechanika statystyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny  
Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Układy daleko od równowagi - fizyka nierównowagowa
- Rzędu  $10^{23}$  cząstek

# Mechanika statystyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Układy daleko od równowagi - fizyka nierównowagowa
- Rzędu  $10^{23}$  cząstek
- Złożoność oddziaływań  $n^2$

# Mechanika statystyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Układy daleko od równowagi - fizyka nierównowagowa
- Rzędu  $10^{23}$  cząstek
- Złożoność oddziaływań  $n^2$
- Mierzalne jedynie wartości średnie i ich odchylenia

# Mechanika statystyczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

- Układy daleko od równowagi - fizyka nierównowagowa
- Rzędu  $10^{23}$  cząstek
- Złożoność oddziaływań  $n^2$
- Mierzalne jedynie wartości średnie i ich odchylenia
- Równanie Vlasova-Maxwella

$$\frac{\partial f_e}{\partial t} + \mathbf{v}_e \cdot \nabla f_e - e \left( \mathbf{E} + \frac{\mathbf{v}_e}{c} \times \mathbf{B} \right) \cdot \frac{\partial \mathbf{f}_e}{\partial \mathbf{p}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} + \mathbf{v}_i \cdot \nabla f_i + Z_i e \left( \mathbf{E} + \frac{\mathbf{v}_i}{c} \times \mathbf{B} \right) \cdot \frac{\partial \mathbf{f}_i}{\partial \mathbf{p}} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi \mathbf{j}}{c} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (4)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi \rho \quad (6)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (7)$$

# Badania doświadczalne

## RGDX

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Opis teoretyczny

Badania  
doświadczalne

Zastosowania

**Remote Control Glow Discharge Experiment** na stronie  
Princeton Plasma Physics Laboratory  
<http://scied-web.pppl.gov/rgdx/>

# Po... co nam to?

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Obróbka mechaniczna

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Obróbka powierzchniowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa

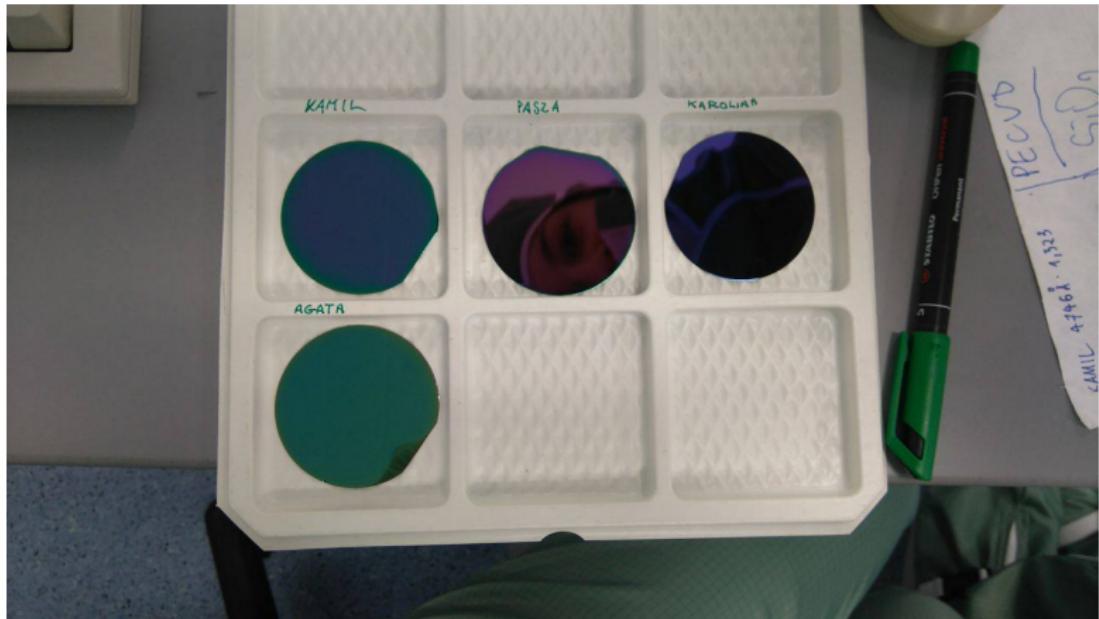


# Plasma CVD

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

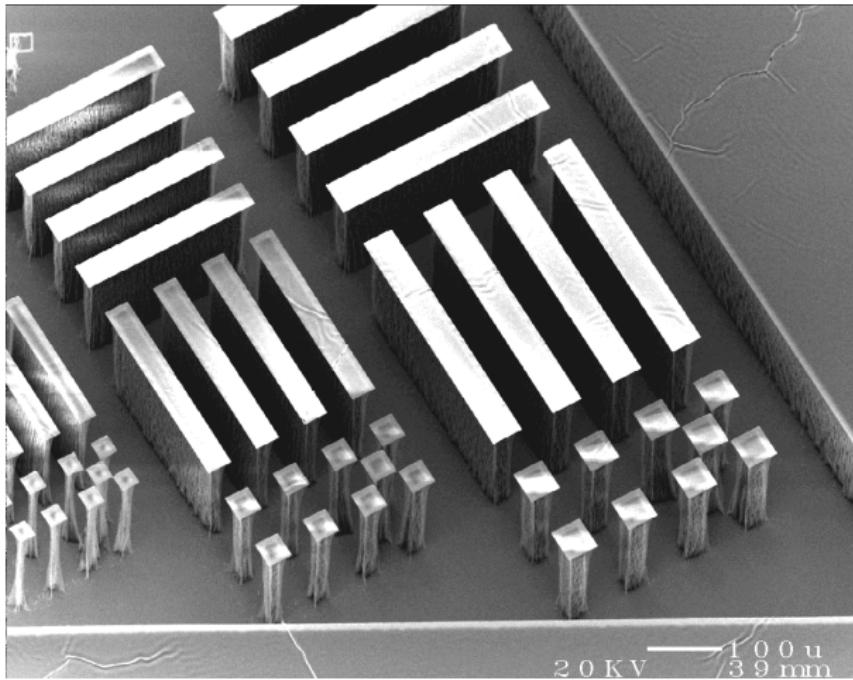
Zastosowania  
przemysłowe



## Plasma etching

Fizyka plazmy

Zastosowania  
przemysłowe



# Medycyna plazmowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



- Plazma składa się z naładowanych, aktywnych chemicznie cząstek, jest źródłem fotonów ultrafioletowych

# Medycyna plazmowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania  
Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



- Plazma składa się z naładowanych, aktywnych chemicznie cząstek, jest źródłem fotonów ultrafioletowych
- Strumienie plazmy pod atmosferycznym ciśnieniem wykorzystywane do usuwania bakterii oraz infekcji podskórnych

# Medycyna plazmowa

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



- Plazma składa się z naładowanych, aktywnych chemicznie cząstek, jest źródłem fotonów ultrafioletowych
- Strumienie plazmy pod atmosferycznym ciśnieniem wykorzystywane do usuwania bakterii oraz infekcji podskórnych
- Zdaje się przyspieszać gojenie ran, nie wiemy dlaczego

# Silniki kosmiczne

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

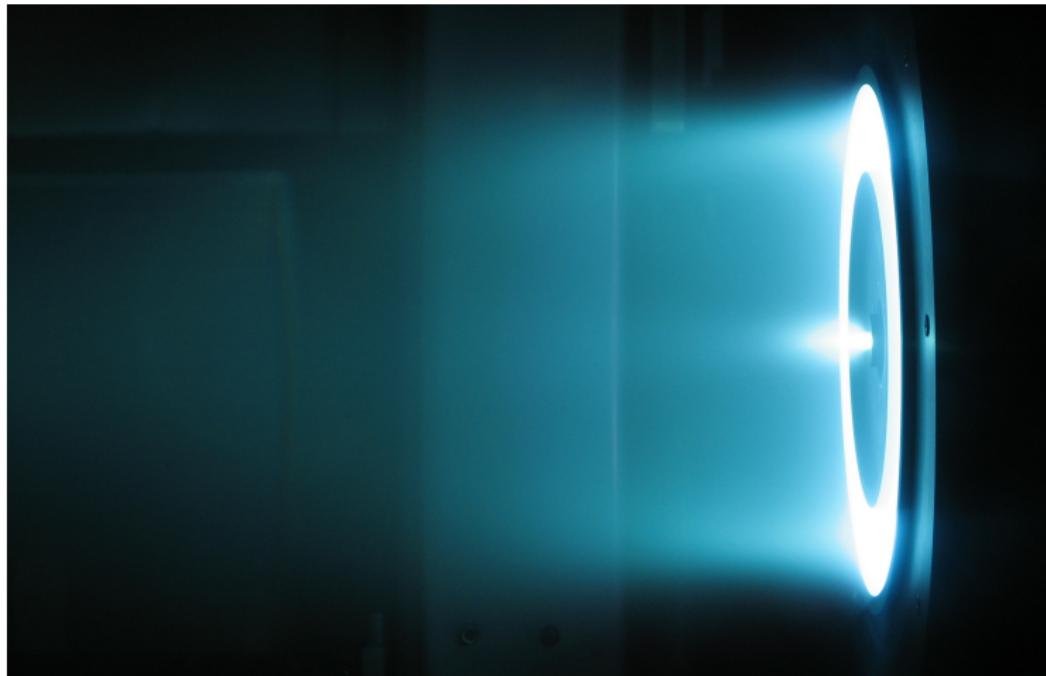
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Akceleratory plazmowe

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

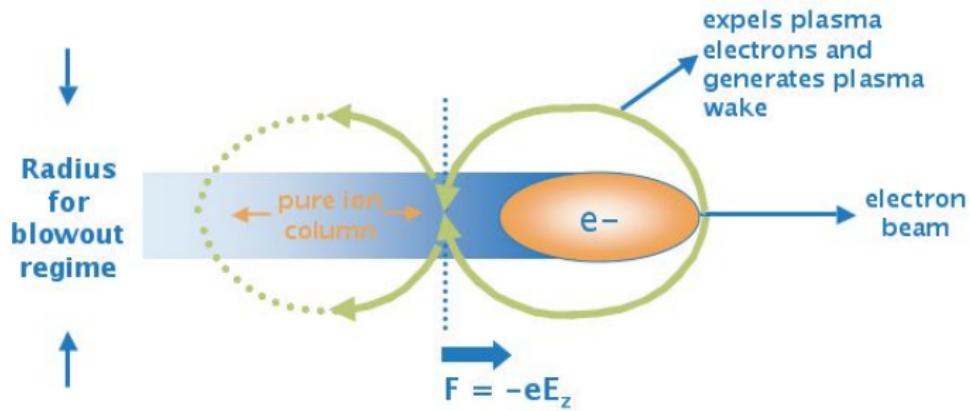
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Nie tylko fikcja, ale ku pamięci...

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

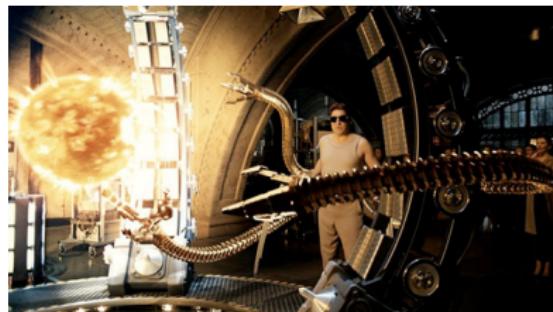
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Ivy Mike

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Zwierciadła magnetyczne

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

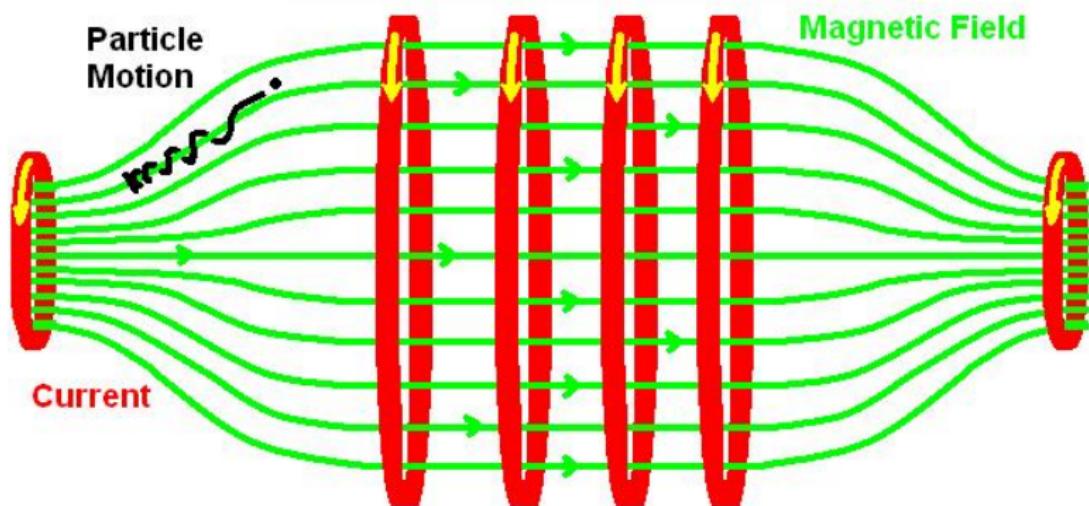
Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa

## Basic Magnetic Mirror Machine:



# Reaktory toroidalne

## Tokamaki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

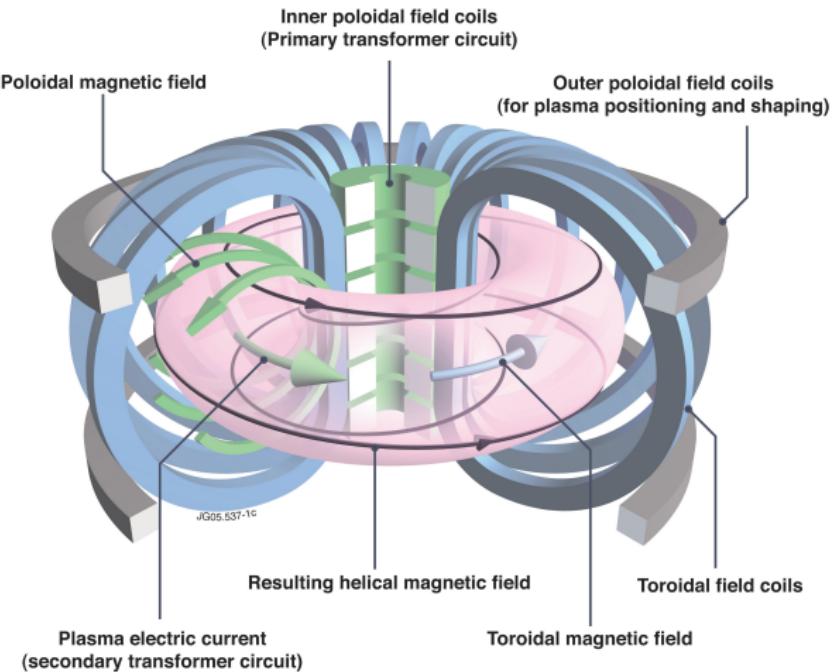
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# COMPASS

## Tokamaki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

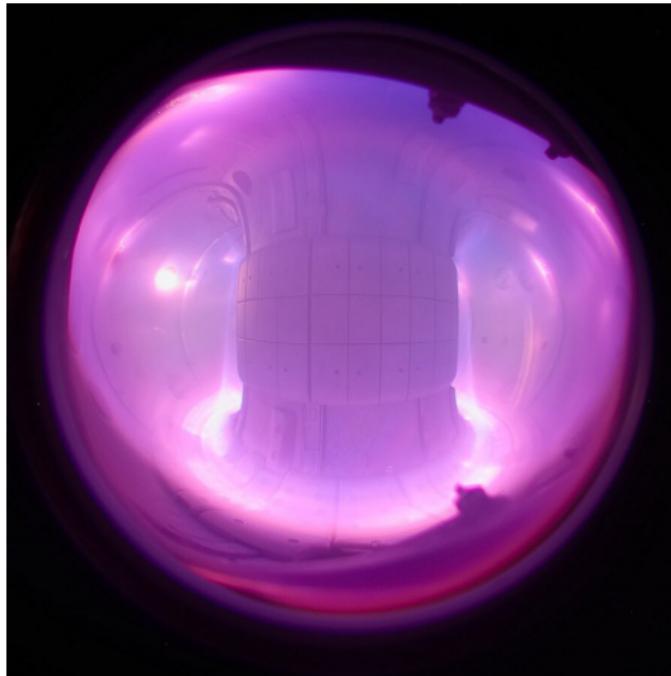
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# ASDEX

## Tokamaki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

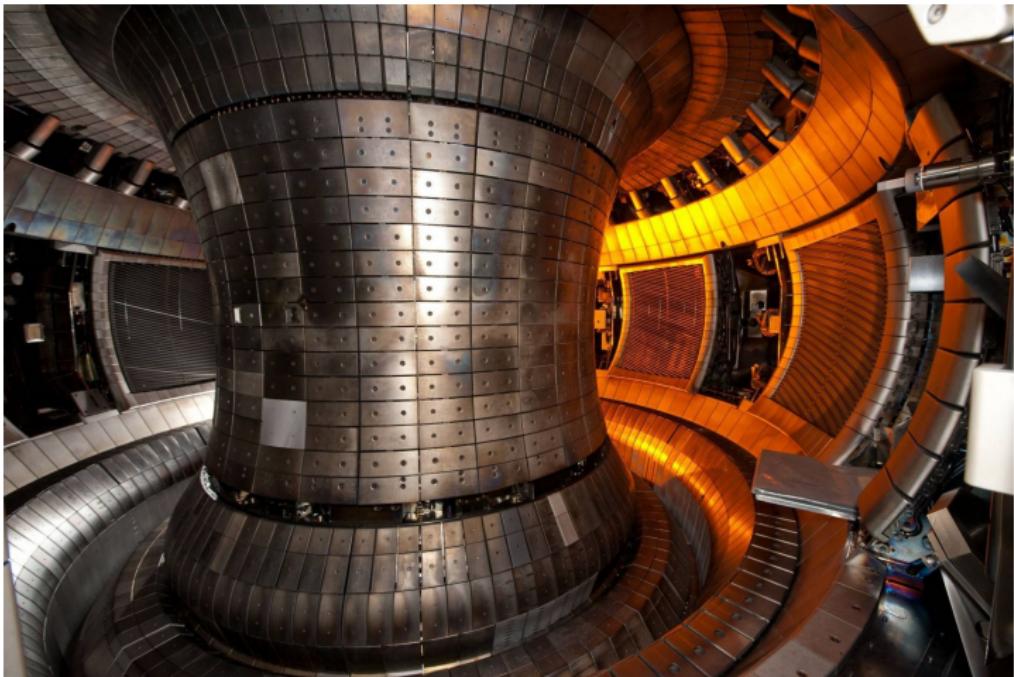
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# JET

## Tokamaki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

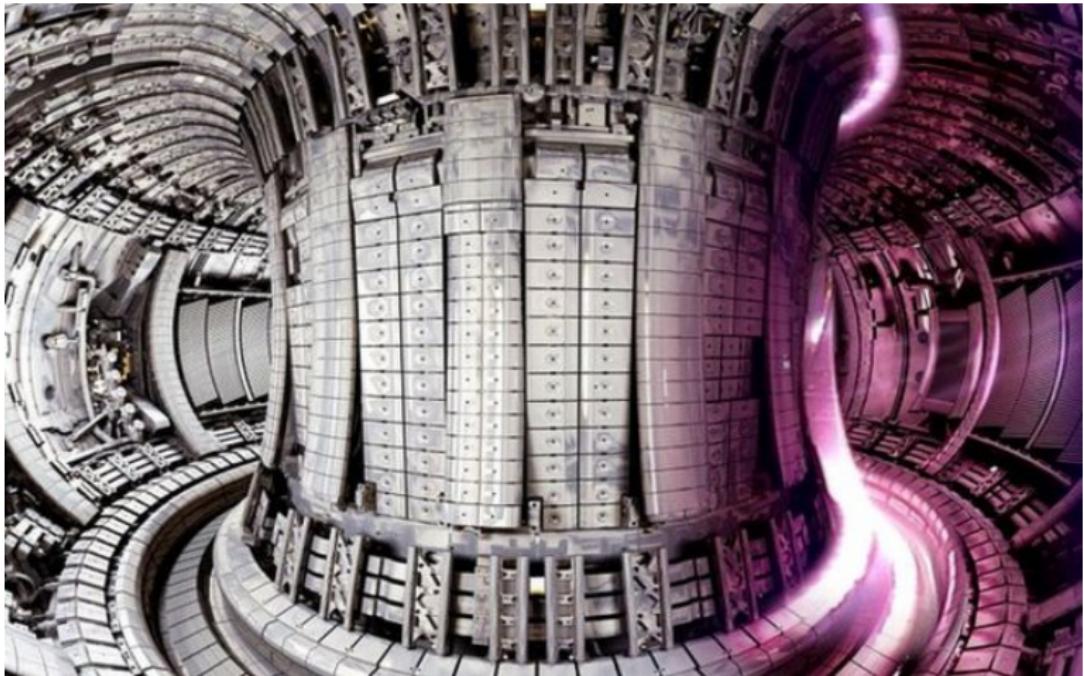
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# ITER

## Tokamaki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

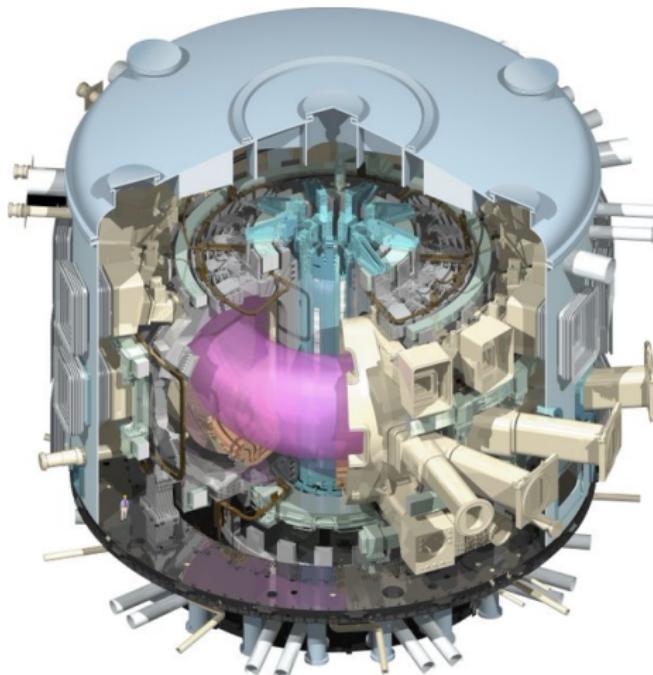
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# ITER

## Tokamaki

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Stellarator

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

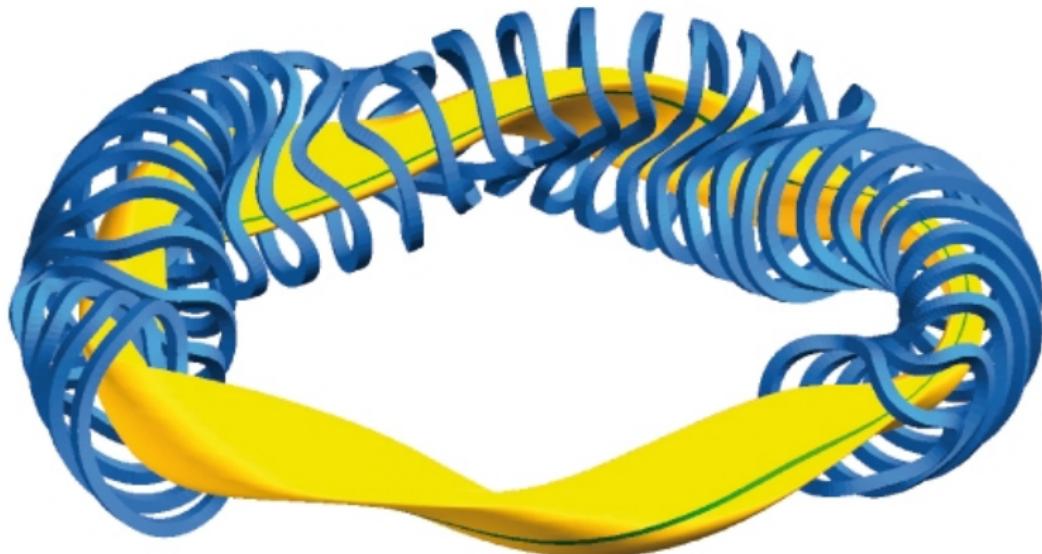
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Wendelstein 7-X

## Stellarator

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

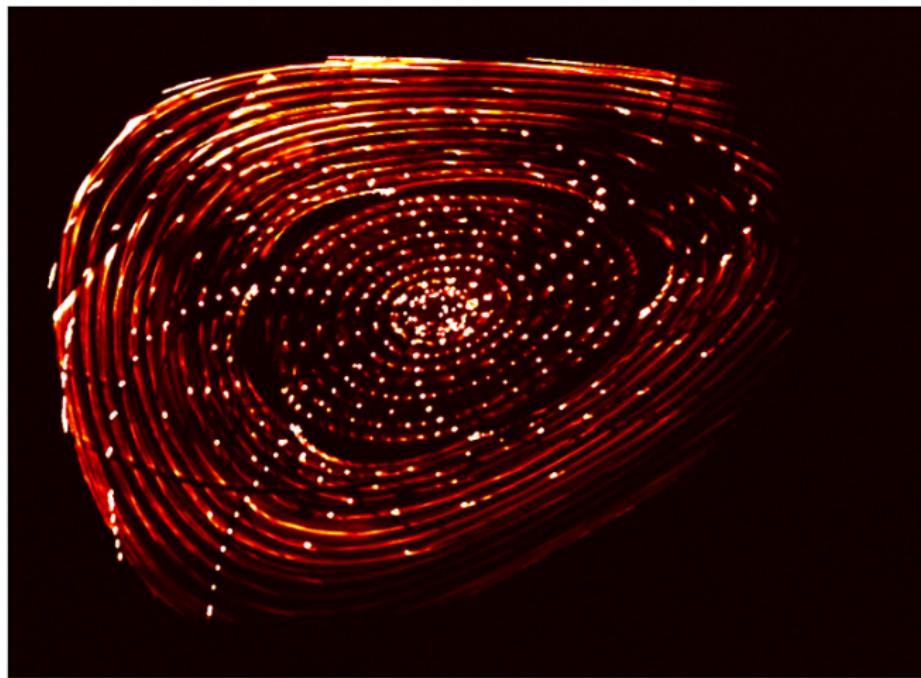
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Wendelstein 7-X

## Stellarator

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jadrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

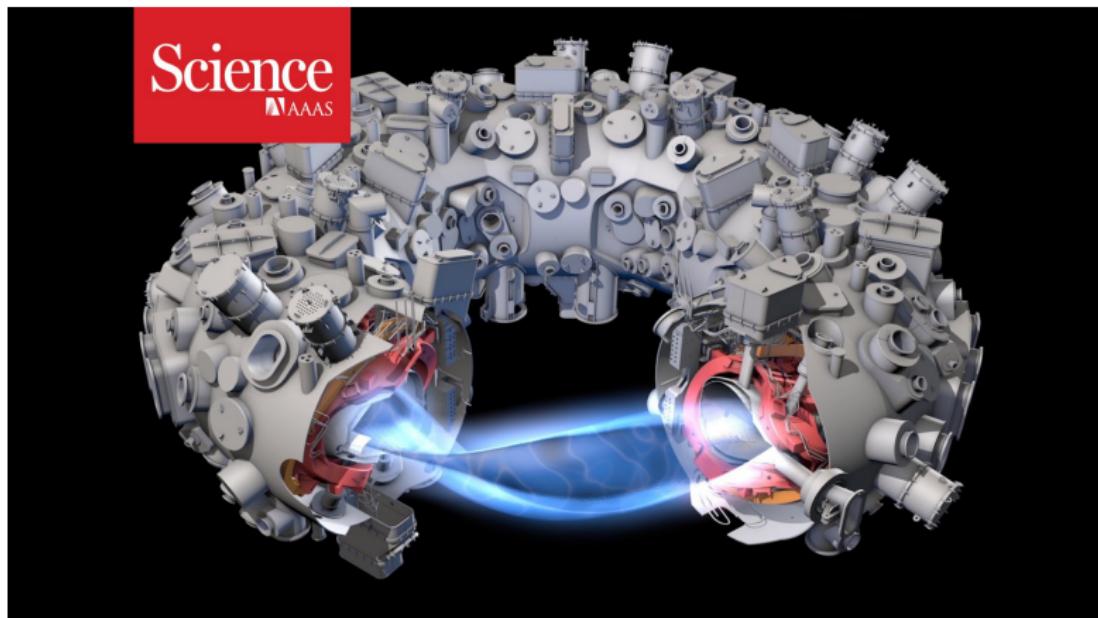
Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

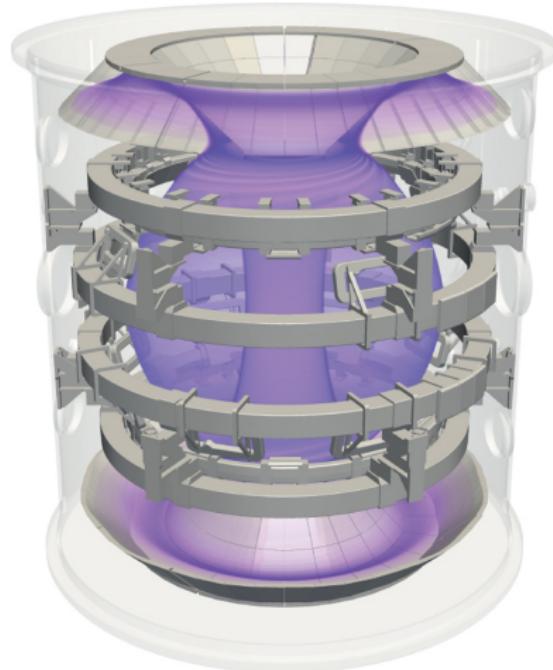
Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa



# Tokamaki sferyczne



Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wtę

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa

# Inertial Confinement Fusion

## National Ignition Facility, USA

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa

A może po prostu walnąć w kapsułkę z paliwem ogromnym  
laserem?

# Inertial Confinement Fusion

National Ignition Facility, USA

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tą i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

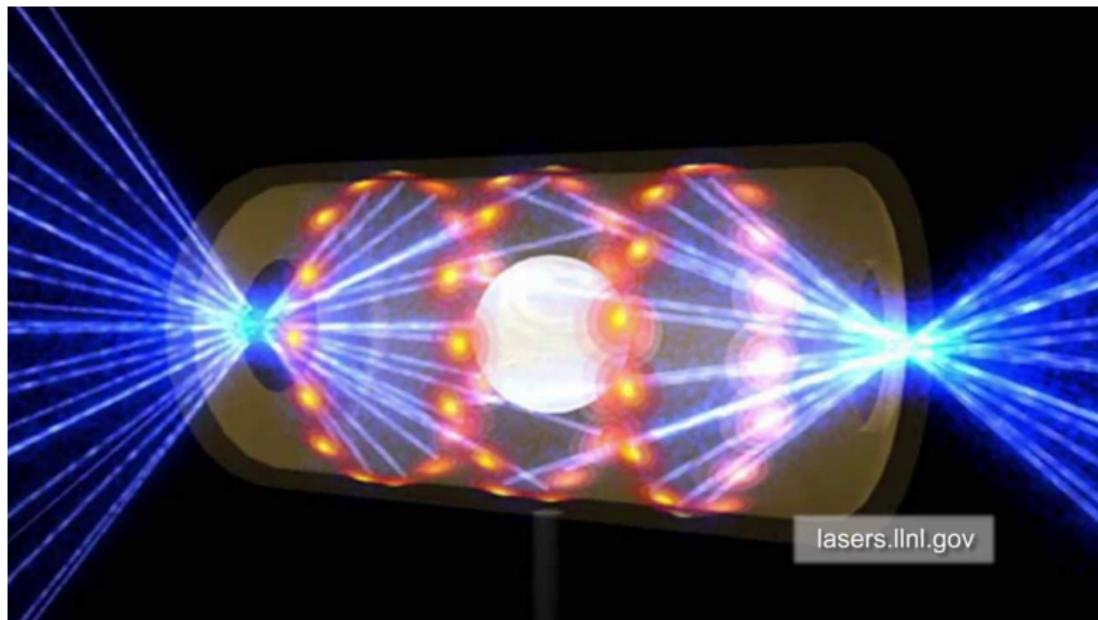
Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa

A może po prostu walnąć w kapsułkę z paliwem ogromnym  
laserem?



# I tyle w temacie!

Fizyka plazmy

Dominik  
Stańczak

Energetyka  
jądrowa w tę i  
we wstęp

Praktyczne  
sposoby na  
ogólne  
koncepty

Stany materii

Jak ugryźć  
plazmę?

Zastosowania

Zastosowania  
przemysłowe

Zastosowania nieco  
bardziej

Fuzja termojądrowa

Wesołych świąt i samych gwiazdek z nieba!