

# Fizika materijala

Damir Pajić

[dpajic@phy.hr](mailto:dpajic@phy.hr)



# Motivacija: svijet oko nas

- Svijet oko nas je materijalni.
- Svaki mjesec:
  - proizvedene milijarde tona materijala
  - uvedene stotine novih materijala
- Nove tehnologije. (jedna tvrtka u 1995. uvela 5000 novih proizvoda)
- Zasnovano na znanju (i strategiji).
- Novi materijali:
  - moda ?
  - preduvjet napretka ?
  - razvoj ?
  - alternative ?

# Materijali i civilizacija

- Kroz povijest su predominantni materijali definirali ne samo tehnološki stupanj razvoja, već i političko-socijalne prilike
  - kameno doba (do 4 ili 3.000 god. pr. Kr.): sakupljanje materijala (kamen, drvo, kosti, ...) i primitivna obrada – jednakost
  - brončano doba (bronca je slitina Cu-Sn): proizvodnja - diferencijacija u društvu – početak civilizacije (Egipat, Mezopotamija)
  - željezno doba (od 1.000 ili 1.500 g. pr. Kr.): početak razvijenog društva; Fe je demokratski materijal, dostupan mnogima; razvoj obrtništva i trgovine; osvajački ratovi; ...
  - današnje doba?

# Materijali i civilizacija

- usavršavanje proizvodnje čelika (~1830.): željeznica, parobrodi, industrijska revolucija, kolonijalni sustavi, ...
- doba kemije (prijelaz 19.-20. st.): eksplozivi, bojni otrovi, prve plastike, ...
- poluvodiči (2. pol. 20. st.): informacijska revolucija
- supravodiči (2. pol. 20. st.): jaka magnetska polja, rješenje problema energije u budućnosti ?(!)
- napredni magnetski materijali (kraj 20. st.): "druga informatička revolucija" (giant magnetoresistance filmovi MnFe-Co-Cu-FeNi spojevi), (elektromotor)

# Materijali i civilizacija

- biotehnologija
- (bio)medicina
- nanoznanosti (21.st.): kvalitativno novi načini korištenja materijala
  - budućnost ?

# Svijet oko nas (opet)

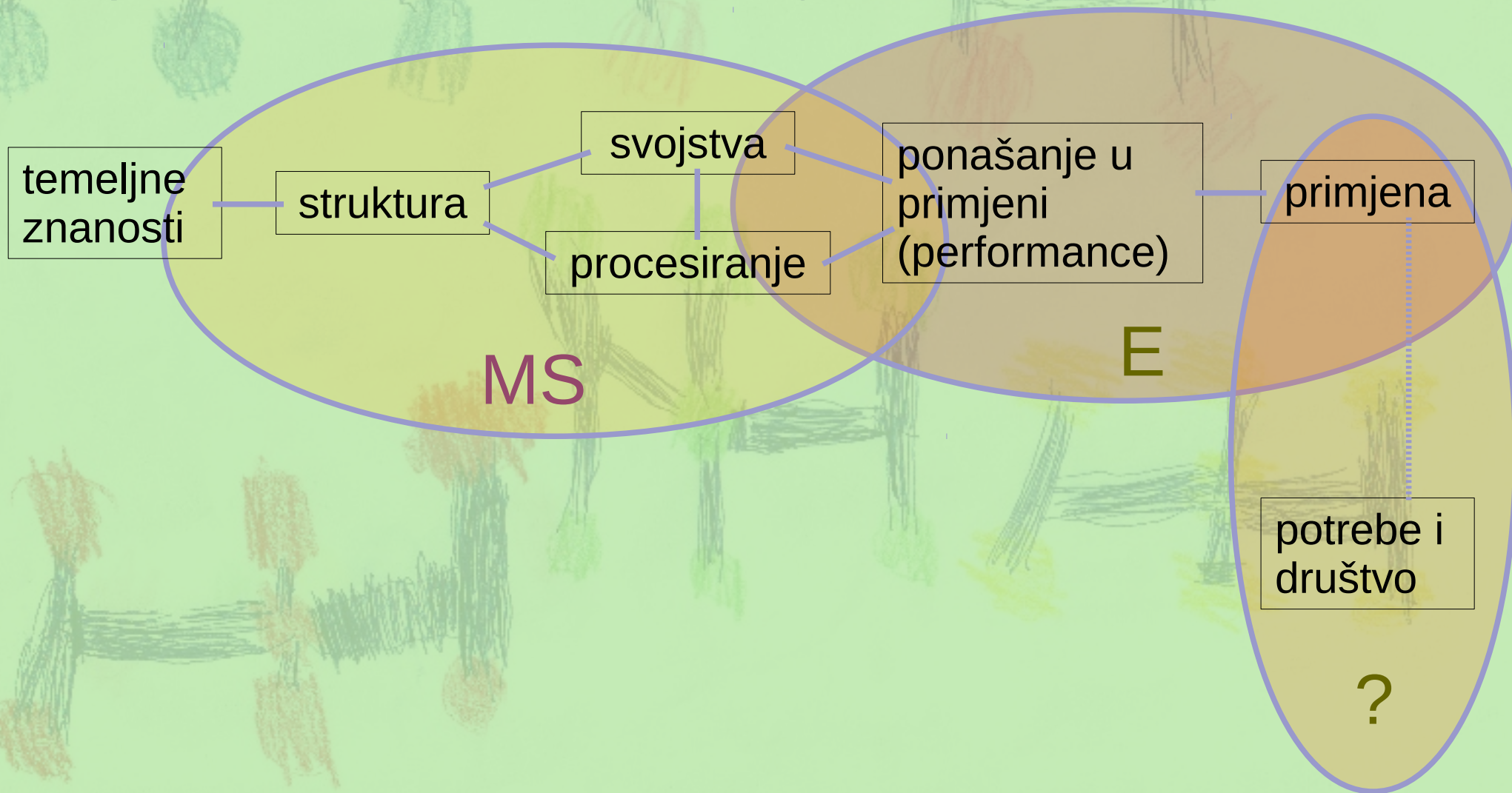
- Kvarkovi, leptoni, gluoni, ...
- Vakuum?
- Plin u svemiru, ili u plinskoj boci
- Voda
- Daska
- Materija ili materijal?
- Kondenzirana materija

# Znanost i inženjerstvo materijala

- Što rade inženjeri?
- Prilagođavaju materijale i energiju za potrebe društva.
- Što rade znanstvenici/istraživači?
- ()

# Znanost i inženjerstvo materijala

- (material science and engineering)

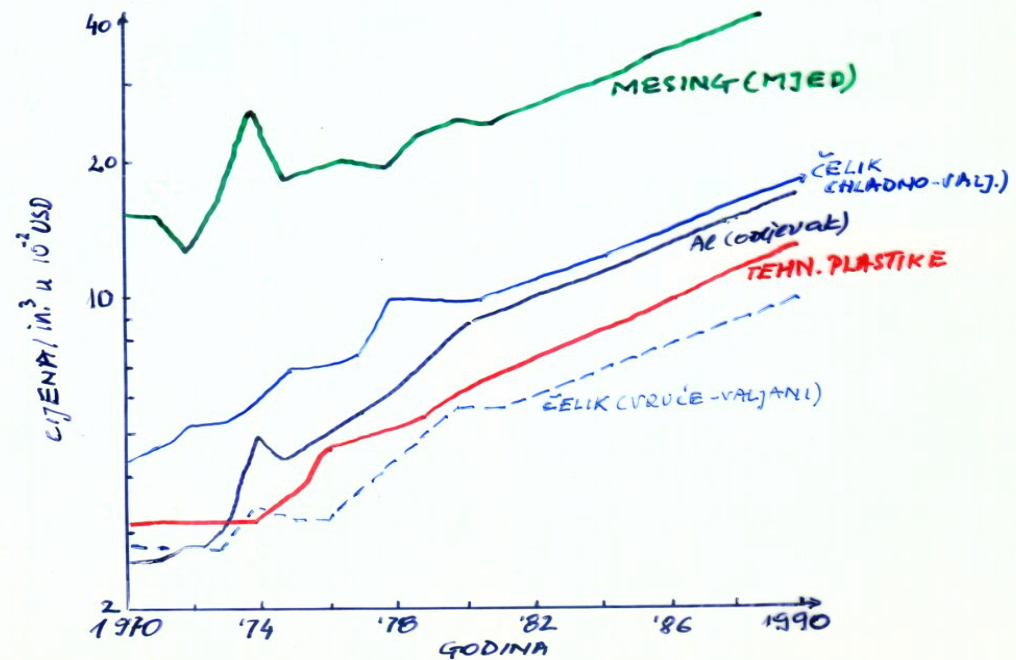
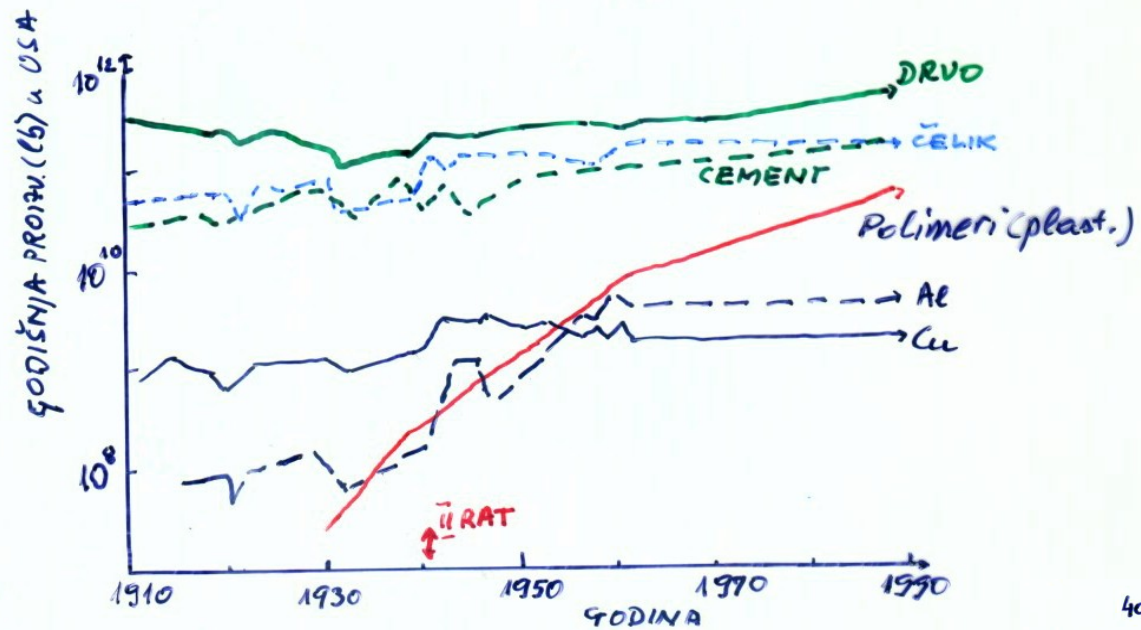




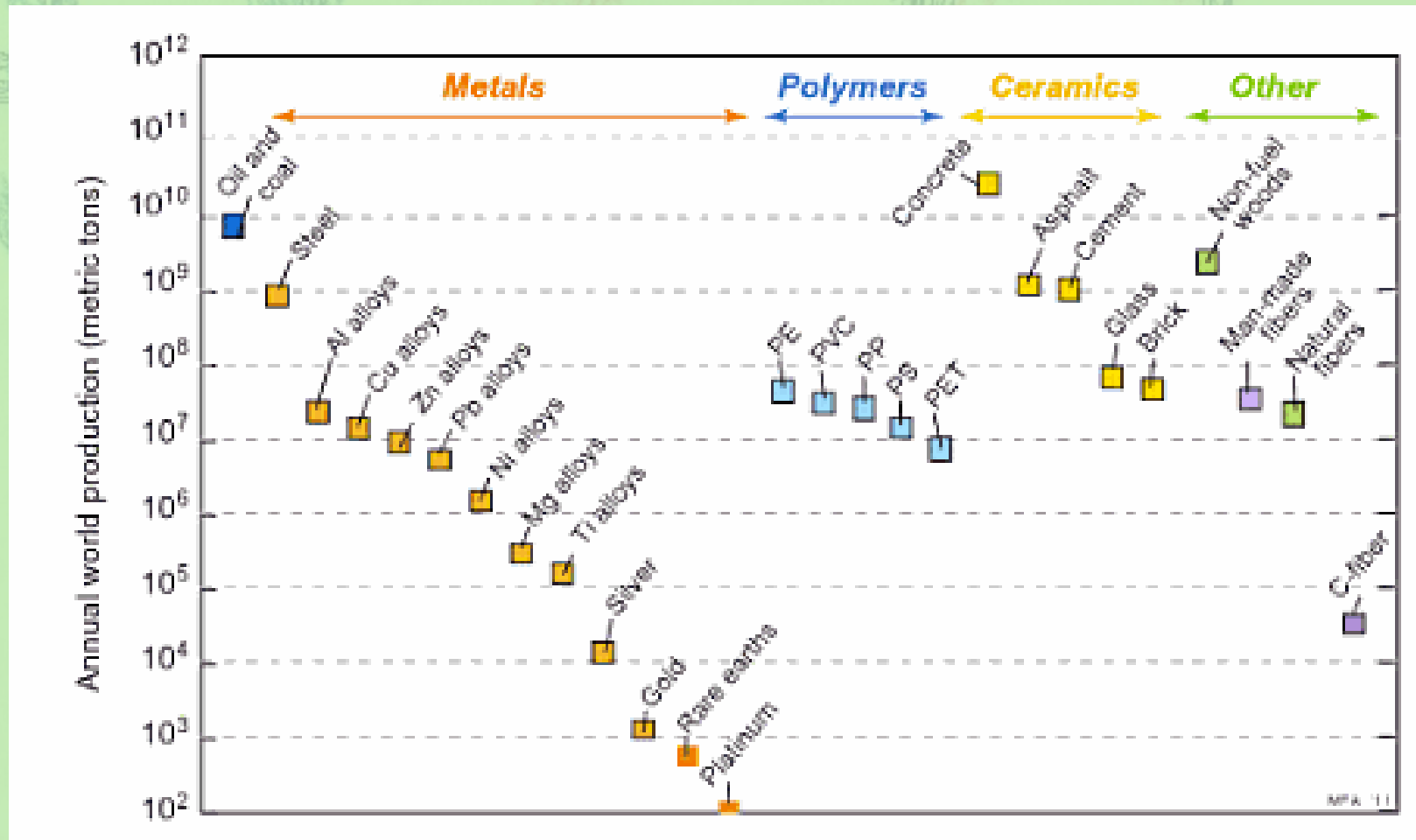
# Znanost i inženjerstvo materijala

- Discipline inženjerstva: Me.E, El.E, Ch.E, Civ.E
- Svojstva u proizvodnji i primjeni
- Standardi: pouzdanost, cijena, okoliš, ...

# Intermezzo o proizvodnji i cijeni

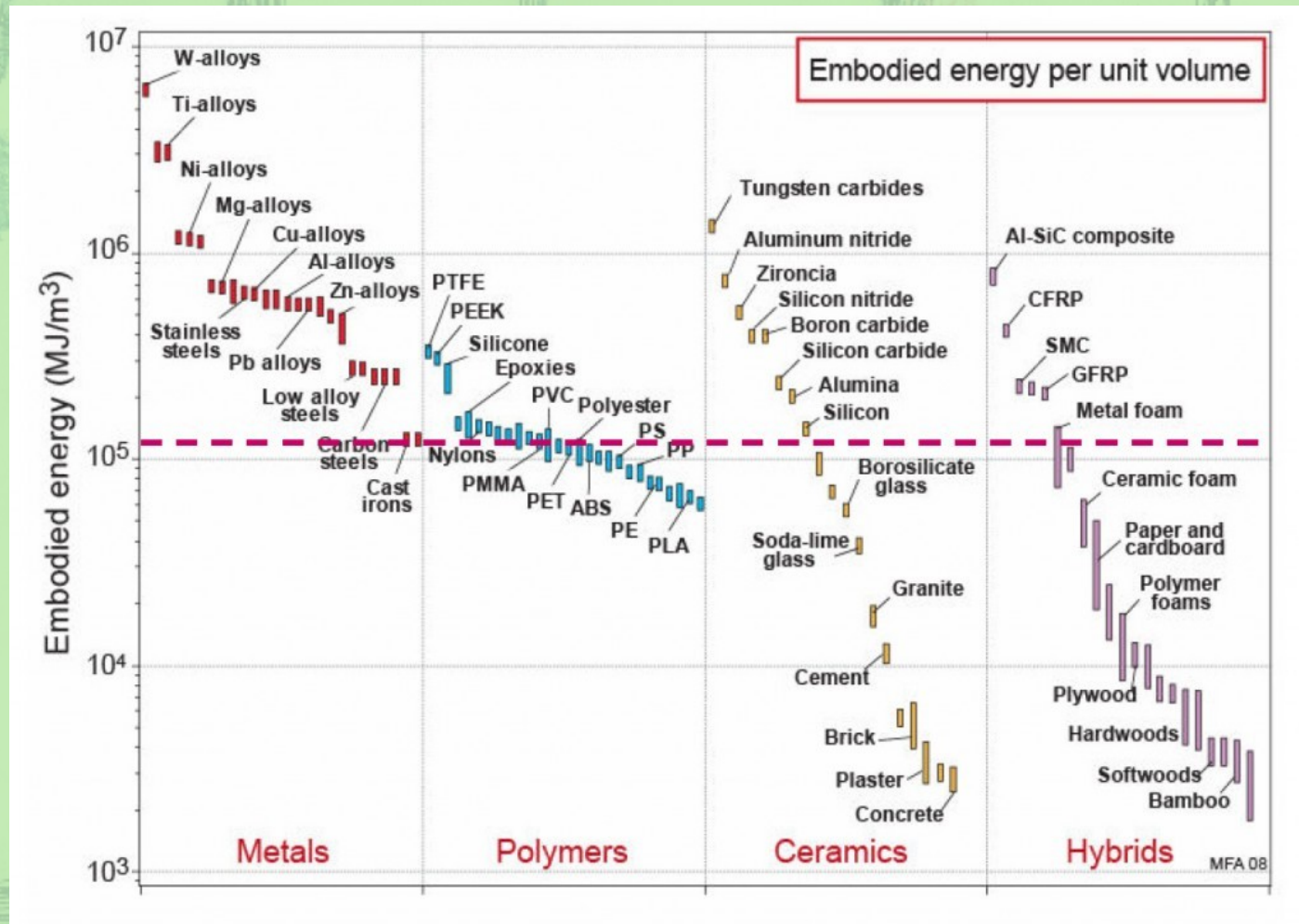


# Intermezzo o proizvodnji i cijeni

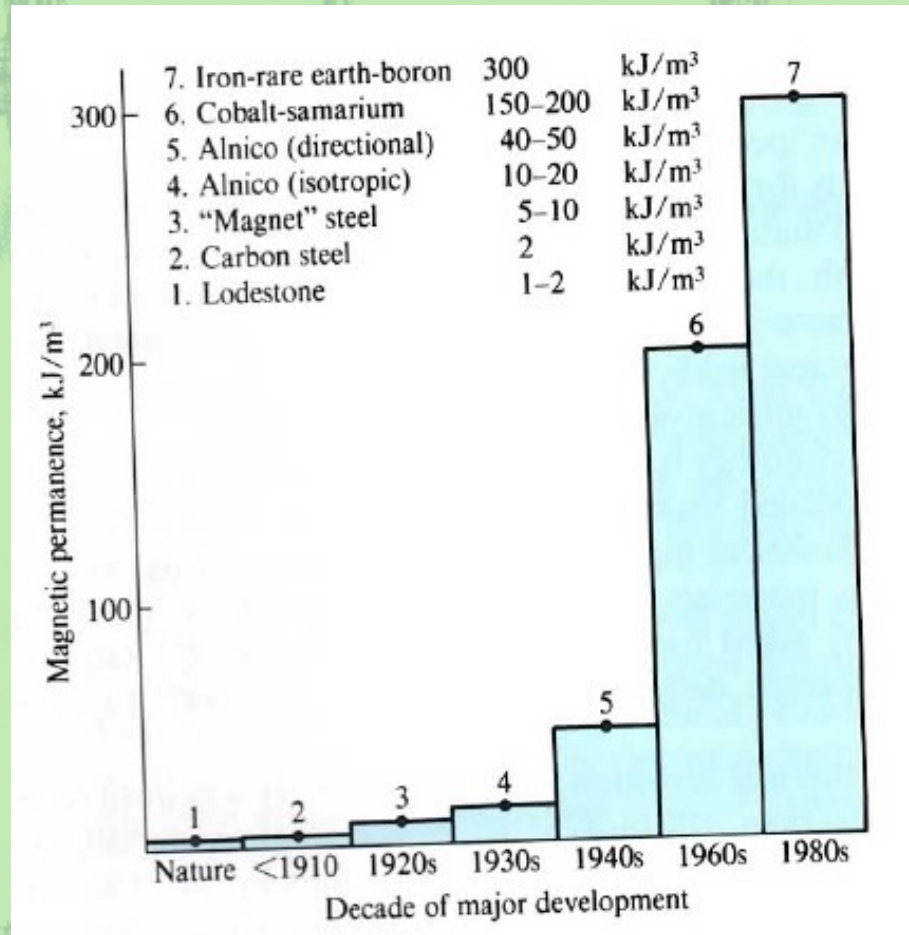


Annual World Production of various industrial materials (From Ashby, Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice, 2012)

# Intermezzo o proizvodnji i cijeni



# Intermezzo o proizvodnji i cijeni



# Znanost i inženjerstvo materijala

- Prepreke/barijere!
- Upomoć!
  - elektrane
    - 400°C, 450°C, 540°C
  - supravodiči
    - 20K, 78K, keramike
  - magneti
    - $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$
  - zamjenski materijali i zamjenske tvornice

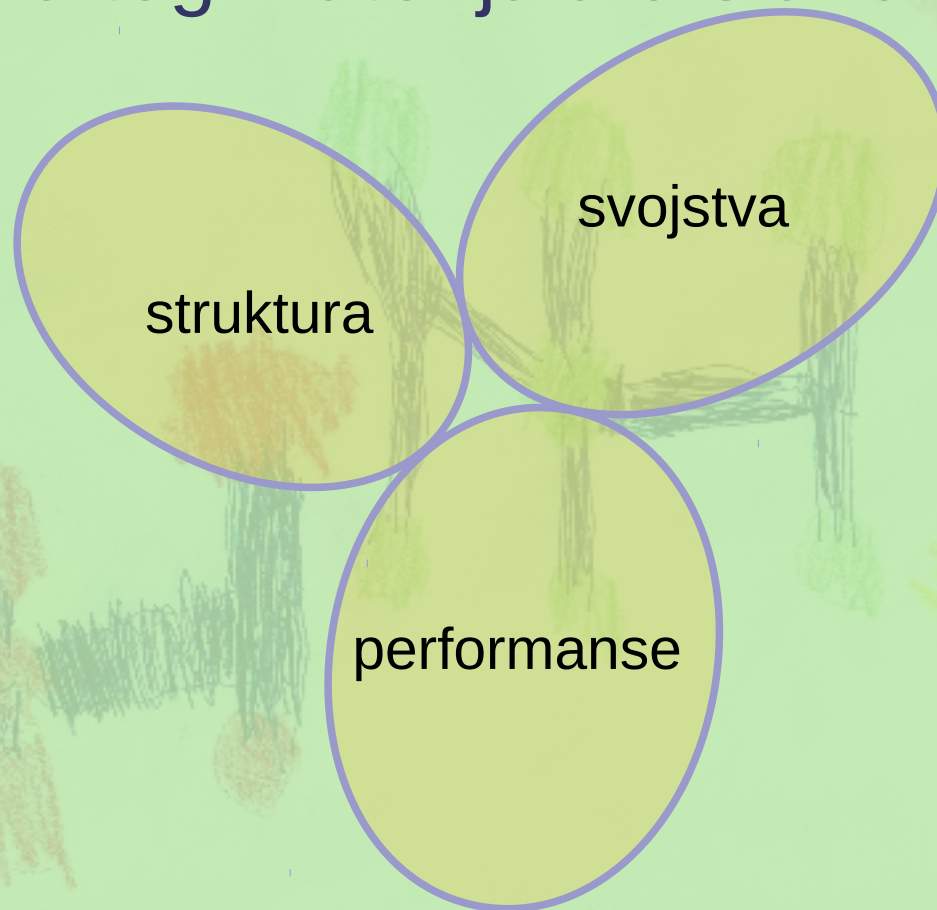


# Znanost i inženjerstvo materijala

- MSE se u modernom smislu riječi razvija nakon drugog svjetskog rata. Naime, da bi se svojstva materijala RAZUMJELA, pa se potom svojstva novih materijala mogla planirati, potrebna je KVANTNA MEHANIKA.
- Uzročno posljedični slijed:
  - – struktura – svojstva – performanse –
- Razvoj je skokovit, i raste.

# Znanost i inženjerstvo materijala

- Svrha: stvaranje novog znanja koje omogućuje dublje razumijevanje materijala i učinkovitu primjenu tog materijala u službi čovječanstva.



ili:

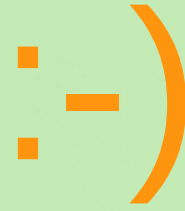




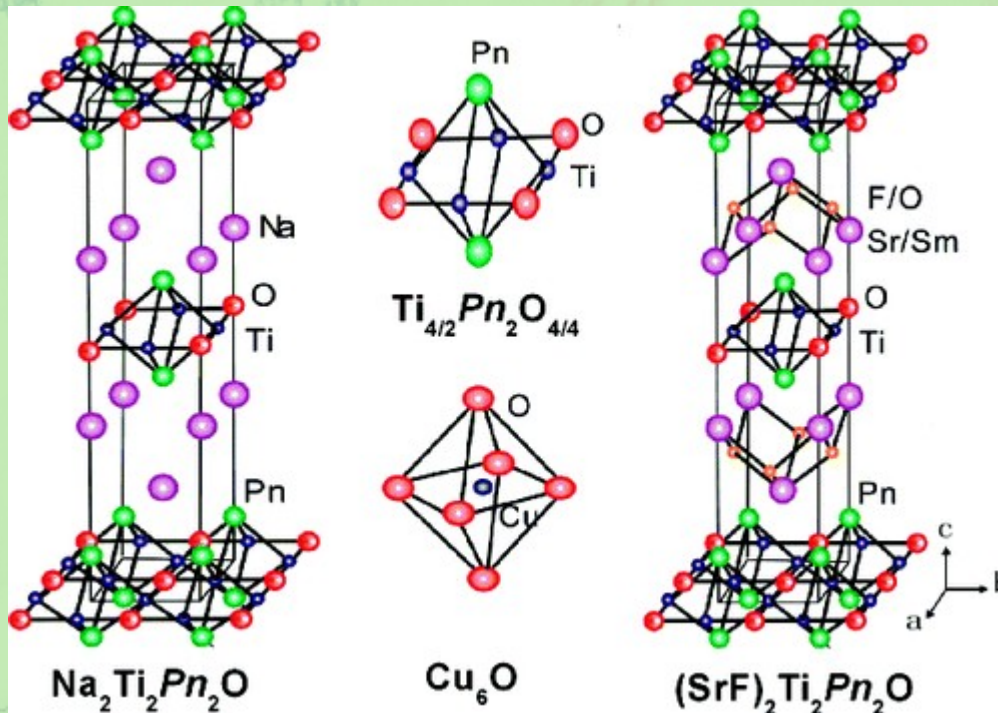
# Interdisciplinarnost

- Metalurgija
- Kemija
- Matematika
- Fizika
  - kondenzirana materija i kvantna mehanika
  - utjecaj nuklearne, atomske, ...
- (Priroda i društvo)

# 1. lekcija: ըՐՃՀՍՈՃՈՆՑ



- ԳՅՐՈՆԻՎՅՈՆԵՐԻՒՄԻ ՄԻՔՐՈՑԻՆՈՒՄ ԵՎ ՈՒՊՅԱՅԻՆՈՒՄ ԸՅՐՑ



Chem. Mater. 2010

# Ali ipak ambiciozno ...



# Naš plan @ Fizika materijala

- Uvod
- Kemijsko vezanje
- Kristalno stanje
- Nered u kondenziranoj materiji
- Višefazni materijali
- Performanse materijala i njihovo procesiranje
- Kompoziti
- Magnetska svojstva materijala
- Dielektrična svojstva materijala

# Fizika materijala

## 2010 Nobel Prizes



### Graphene: Carbon's New Face

**PHYSICS** Imagine a sheet of material that's just one atom thick, yet super-strong, highly conductive, practically transparent and able to reveal new secrets of fundamental physics. That's graphene, isolated by Andre Geim and Konstantin Novoselov, 2010 Nobel Laureates in Physics.

→ [Read more.](#)



### Molecule Makers

**CHEMISTRY** Richard F. Heck, Ei-ichi Negishi and Akira Suzuki share the 2010 Nobel Prize in Chemistry for developing new, more efficient ways of linking carbon atoms together to build the complex molecules that are improving our everyday lives.

→ [Read more.](#)

2011. kemija – D. Shechtman, za otkriće kvazikristala

2013. fizika – "Higgsov bozon"

2014. fizika – plava svjetleća dioda

[nobelprize.org](http://nobelprize.org)

# 2016

**David J. Thouless**

University of Washington, Seattle, WA, USA

and the other half to

**F. Duncan M. Haldane**

Princeton University, NJ, USA

and

**J. Michael Kosterlitz**

Brown University, Providence, RI, USA

*“for theoretical discoveries of topological phase transitions and topological phases of matter”*

## They revealed the secrets of exotic matter

This year’s Laureates opened the door on an unknown world where matter can assume strange states. They have used advanced mathematical methods to study unusual phases, or states, of matter, such as superconductors, superfluids or thin magnetic films. Thanks

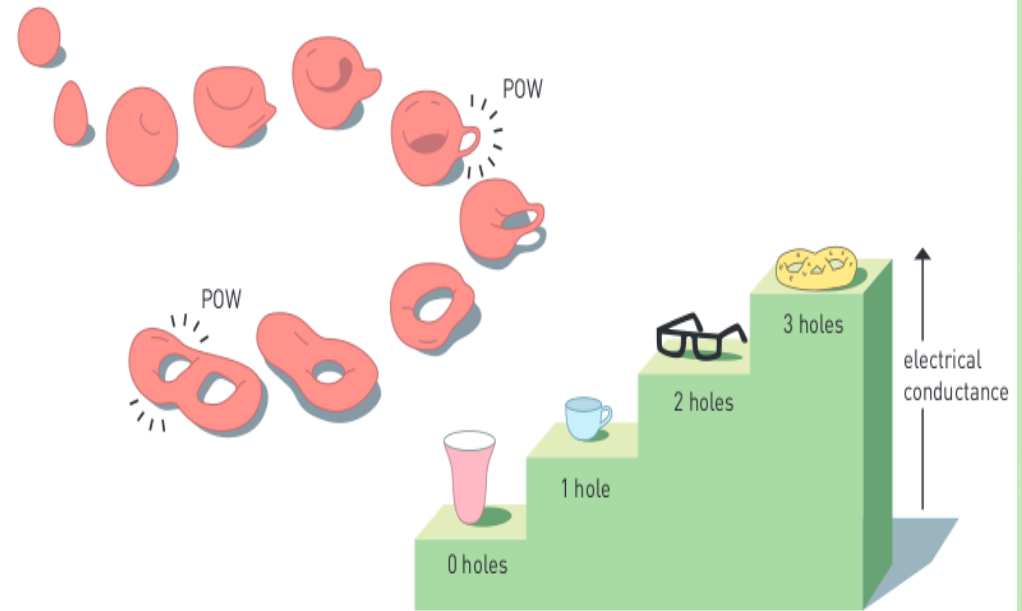
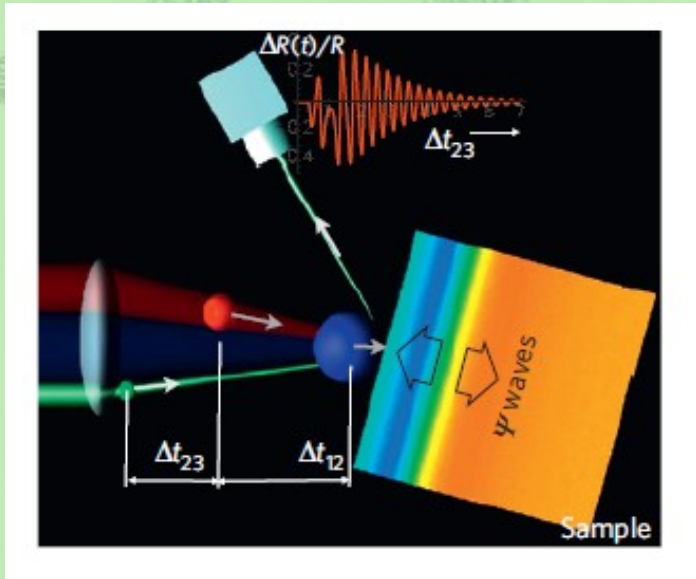


Illustration: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

# Fizika materijala

kozmiologija u laboratoriju



Nature Physics 2010

**Coherent dynamics of macroscopic electronic order through a symmetry breaking transition**

**observations without free parameters. Of particular interest is the observation of spectrotemporal distortions arising from spontaneous annihilation of topological defects, analogous to those discussed by the Kibble-Zurek cosmological model<sup>2,3</sup>.**

2021

# Press release: The Nobel Prize in Physics 2021

- : polovica N.N ide u "neuredene materijale"

Around 1980, **Giorgio Parisi** discovered hidden patterns in disordered complex materials. His discoveries are among the most important contributions to the theory of complex systems. They make it possible to understand and describe many different and apparently entirely random materials and phenomena, not only in physics but also in other, very different areas, such as mathematics, biology, neuroscience and machine learning.



# Materijali i "dark matter"

- Hidden order in magnetoelectric multiferroics can be used as detector of dark matter.

# Vrste/podjela materijala

- Prema kojem kriteriju?
  - svojstvo
  - postupak oblikovanja
  - energija
  - primjena
  - cijena
  - ekološki aspekti
  - ...
- Prema kojem god kriteriju dijelili, jedno moramo imati na umu ...

# Vrste/podjela materijala

- veza struktura – svojstva
  - kemijski sastav – otpornost na kemikalije
  - mikrostruktura – mehanička svojstva
  - specifičnost elektronskih vrpci – vodljivost
  - spinska stanja elektrona – magnetska svojstva
  - ...

# Vrste/podjela materijala

- Podjela prema strukturi / tipu kemijske veze / procesabilnosti / performansama
  - metali
    - vodiči, neprozirni, kovki, gusti
  - polimeri
    - izolatori, niska gustoća, ne apsorbiraju svjetlost
  - keramike
    - tvrdi, krhki, kemijska i toplinska otpornost, izolatori

# Literatura

- **C. Kittel, Introduction to solid state physics, Wiley, 2005.**
- **L.H.Van Vlack, Elements of materials science and engineering, Addison Wesley, 1989.**
- *W.D. Callister, Fundamentals of materials science and engineering (+ e-text), John Wiley and Sons, 2001.*
- **A.G. Guy, Introduction to materials science, McGraw-Hill, 1972.**
- **W.F. Smith, Principles of material science and engineering, McGraw-Hill, 1990.**
- **J.I. Gersten i F.W. Smith, The physics and chemistry of materials, Wiley, 2001**
- **D. Grdenić, Molekule i kristali, Školska knjiga, ZG, 2005.**
- **V. Knapp, Fizika materijala, Skripta Sveučilišta u ZG, 1973.**