

# ENTROPIA I STRZAŁKA CZASU

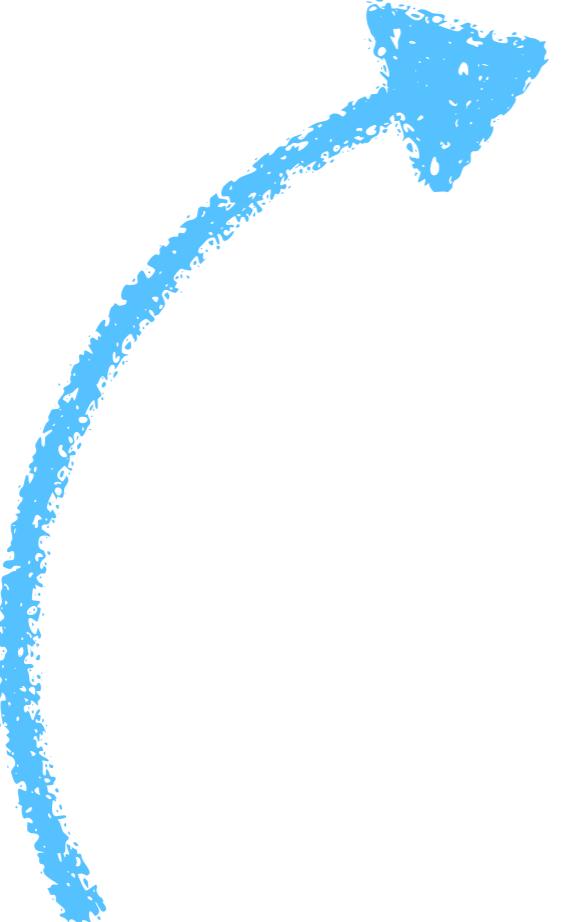
Andrzej Hryczuk



University of Oslo



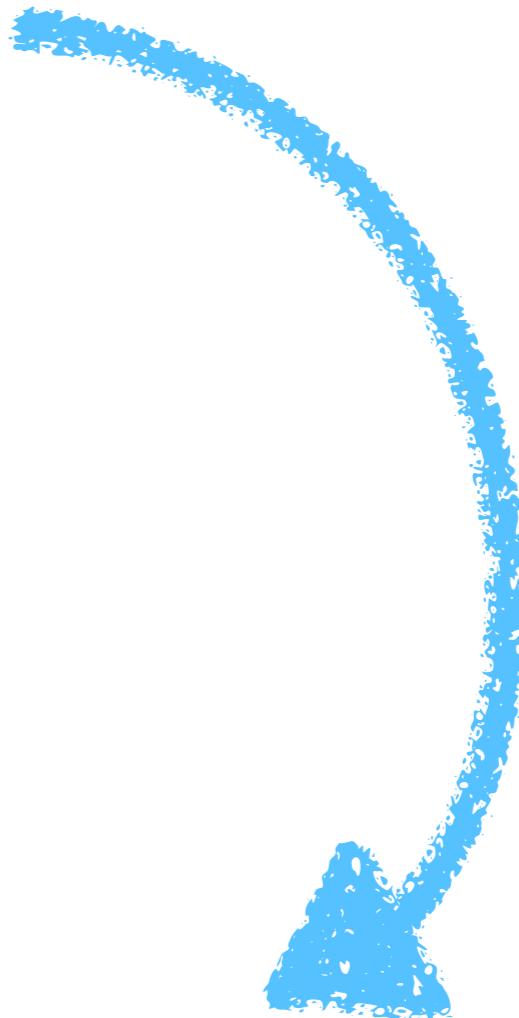
Narodowe Centrum  
Badań Jądrowych



ENTROPIA



ENERGIA



CZAS

## \*II zasada dynamiki Newtona

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

zmienna prędkości w czasie  
określona przez działające siły →

pozwala przewidzieć  
zachowanie układu  
„w przód” i „w tył” w czasie

## II zasada dynamiki Newtona

$$\frac{F}{m} = \frac{dv}{dt}$$

równanie Maxwell-Faraday'a

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

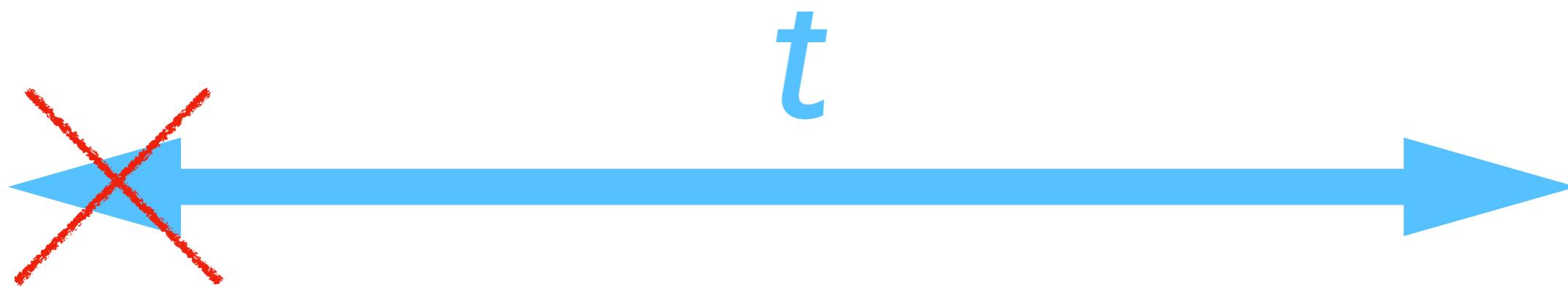
równanie Schroedingera

$$\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}$$

czas jako  
parametr

przesłość i przyszłość są traktowane na równi !

**Innymi słowy, *czas* w fizyce...**



*t*

**dlaczego nie???**

**...to jedynie zmienność parametryzująca przebieg zdarzeń**

„**ABSOLUTNY, PRAWDZIWY I MATEMATYCZNY**  
**CZAS SAM Z SIEBIE I ZE SWOJEJ WŁASNEJ**  
**NATURY PŁYNIE RÓWNIEZ I BEZ ZWIĄZKU Z**  
**CZYMKOLOWIEK ZEWNĘTRZNYM.**”

I. NEWTON

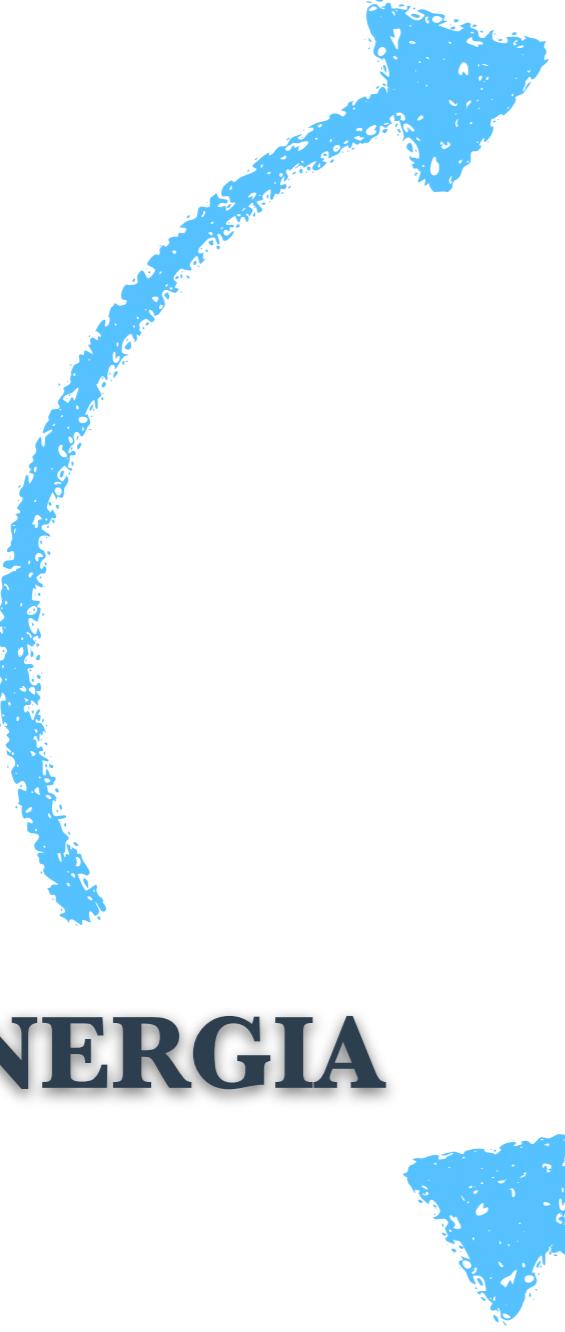


...czy może też coś pomiędzy?



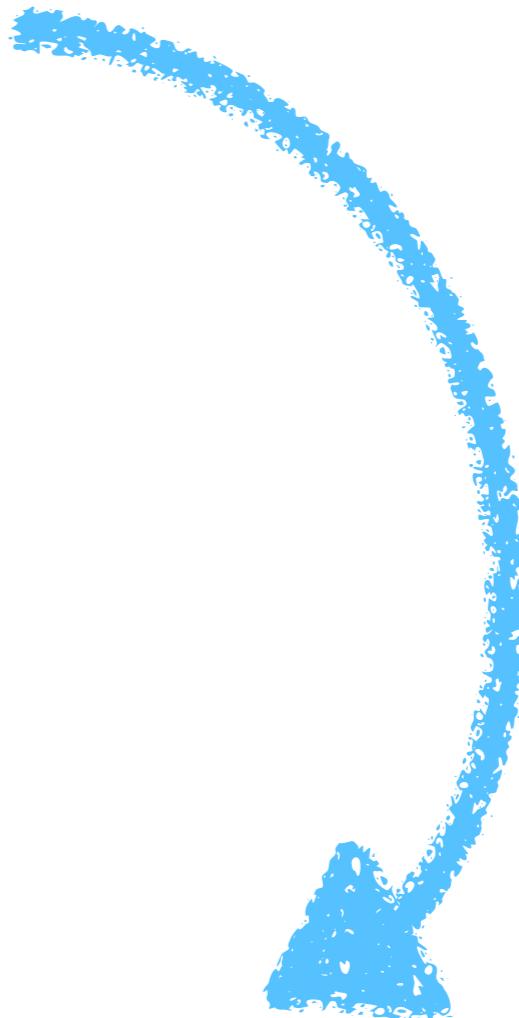
„Ludzie tacy jak my, wierzący w fizykę, wiedzą, że różnica między przeszłością, teraźniejszością i przyszłością jest tylko *uparcie obecną iluzją*.”

A. Einstein



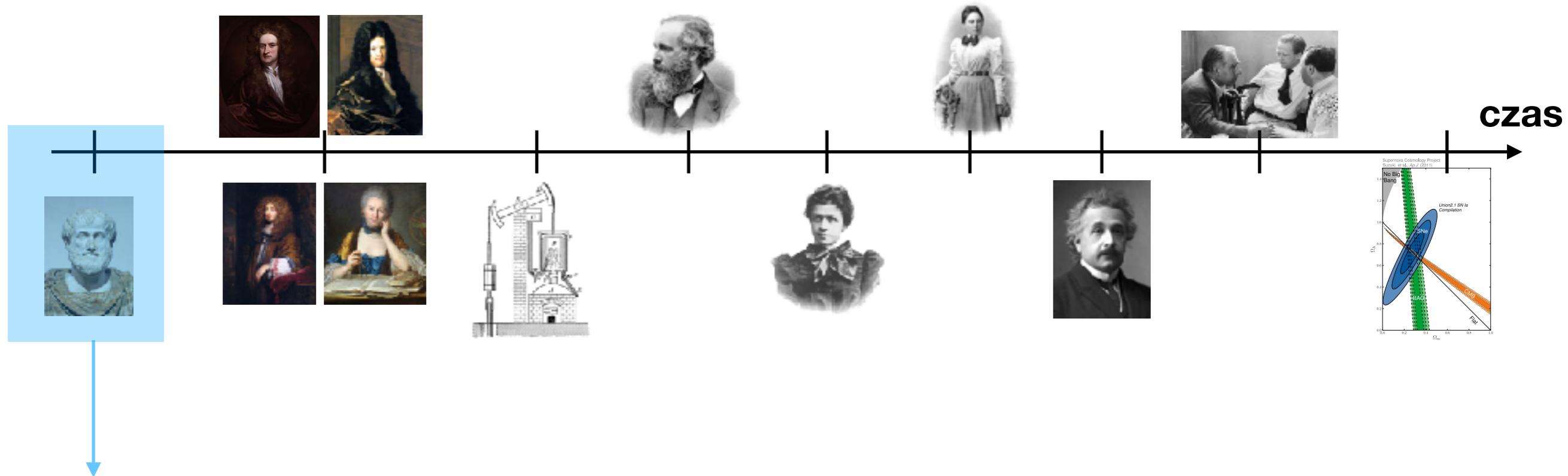
**ENERGIA**

**ENTROPIA**



**CZAS**

# ENERGIA

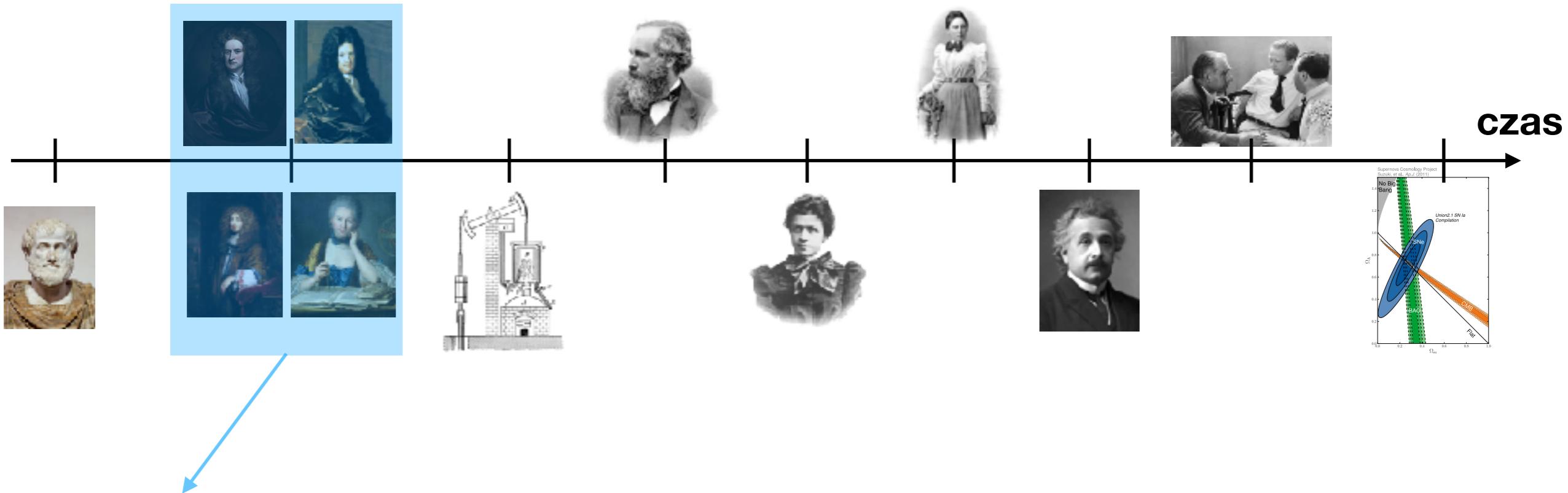


4BC: ἐνέργεια - Arystoteles „Etyka nikomachejska”

pojęcie energii nie jest wyjątkowo oczywiste

filozofia starożytnej miała na myśli coś co „powoduje ruch” - jeżeli szukać dzisiejszego odpowiednika to raczej impet czy pęd

# ENERGIA



XVII-XVIIIw: **energia w mechanice**

zachowanie **pędu** w zderzeniach elastycznych (Huygens)

roznóżnienie pojęcia **pędu** i **energii** (debata vis viva - „Newton vs. Leibnitz”)



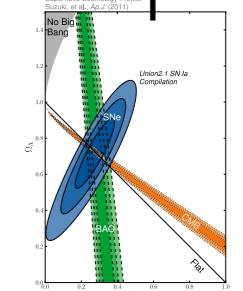
~50 lat zażartej dyskusji

- pęd jest prostszy bo nie ma „pędu potencjalnego”

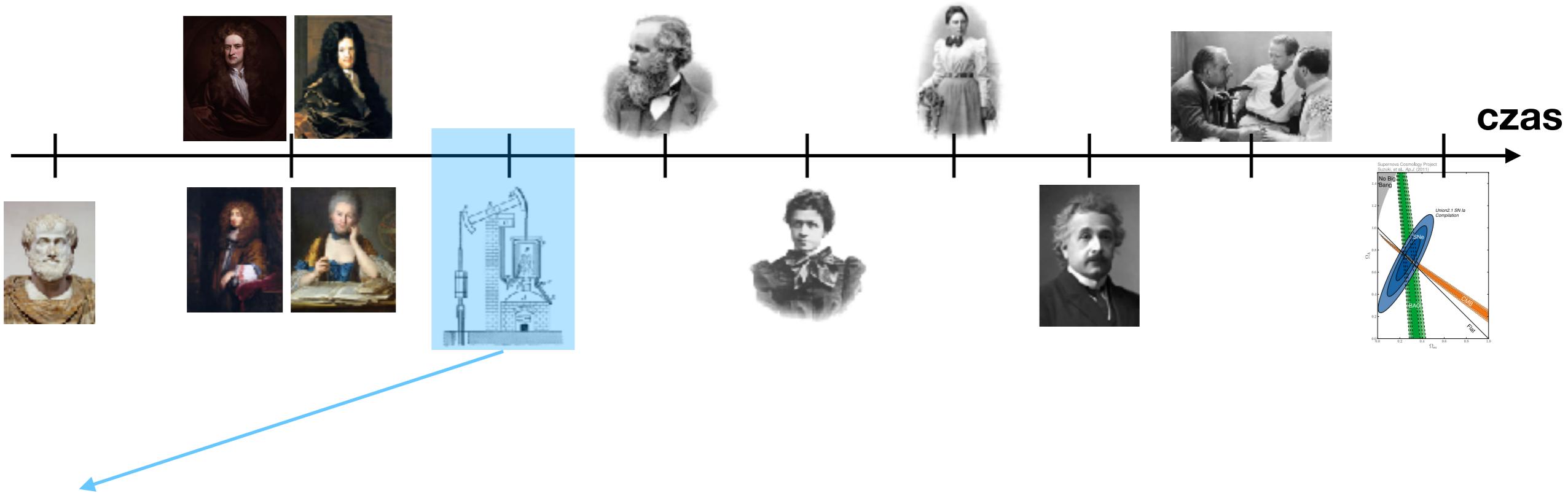
zachowanie **energii** jako odrębna zasada (Marquise Du Châtelet)



(ciekawostka: studując ogień przewidziała istnienie promieniowania podczerwonego)



# ENERGIA

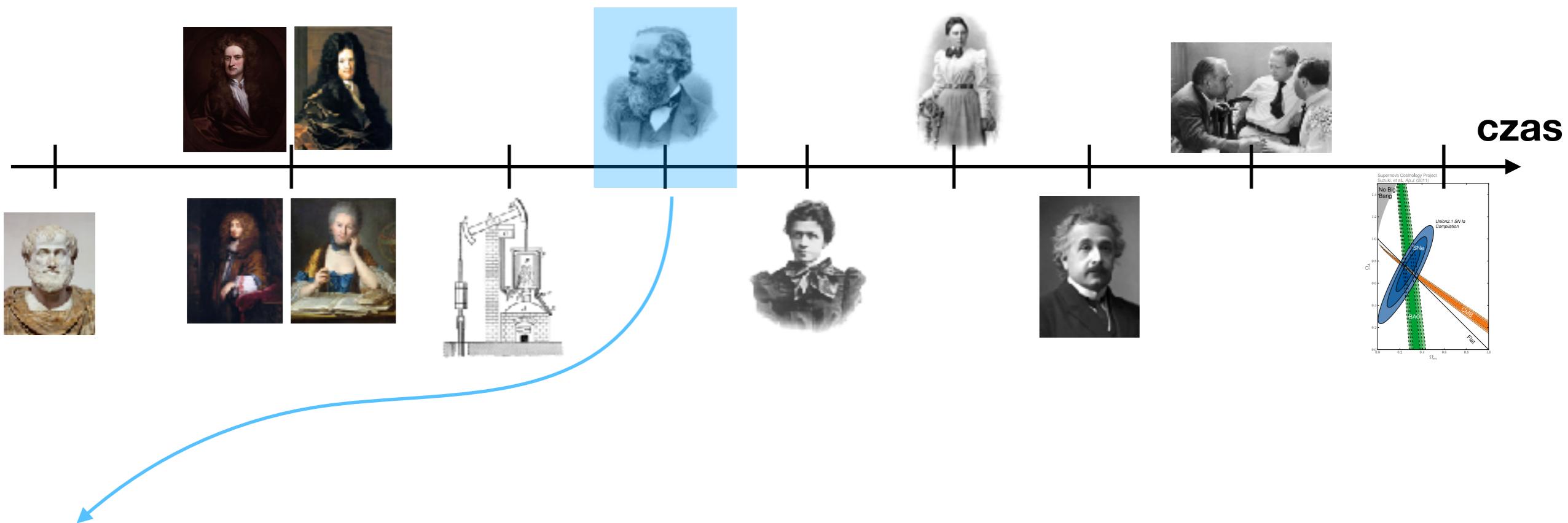


XVIIIw: rozwój termodynamiki i silników parowych

rozkwit pojęcia energii - nagle zrozumienie różnych postaci energii (mechanicznej, cieplnej) i przemian między nimi niezwykle istotne

(np. relacja pomiędzy pracą i energią)

# ENERGIA

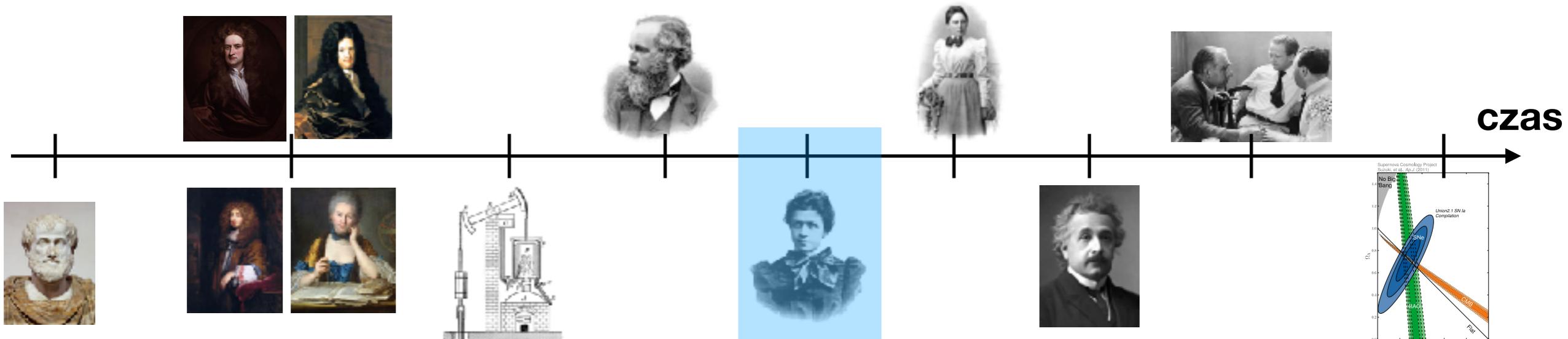


XIXw: elektryczność i magnetyzm = elektrodynamika (Maxwell)

energia potencjalna pól elektrycznych i magnetycznych

niezwykle istotny krok w kierunku współczesnego  
rozumienia w ramach teorii względności

# ENERGIA

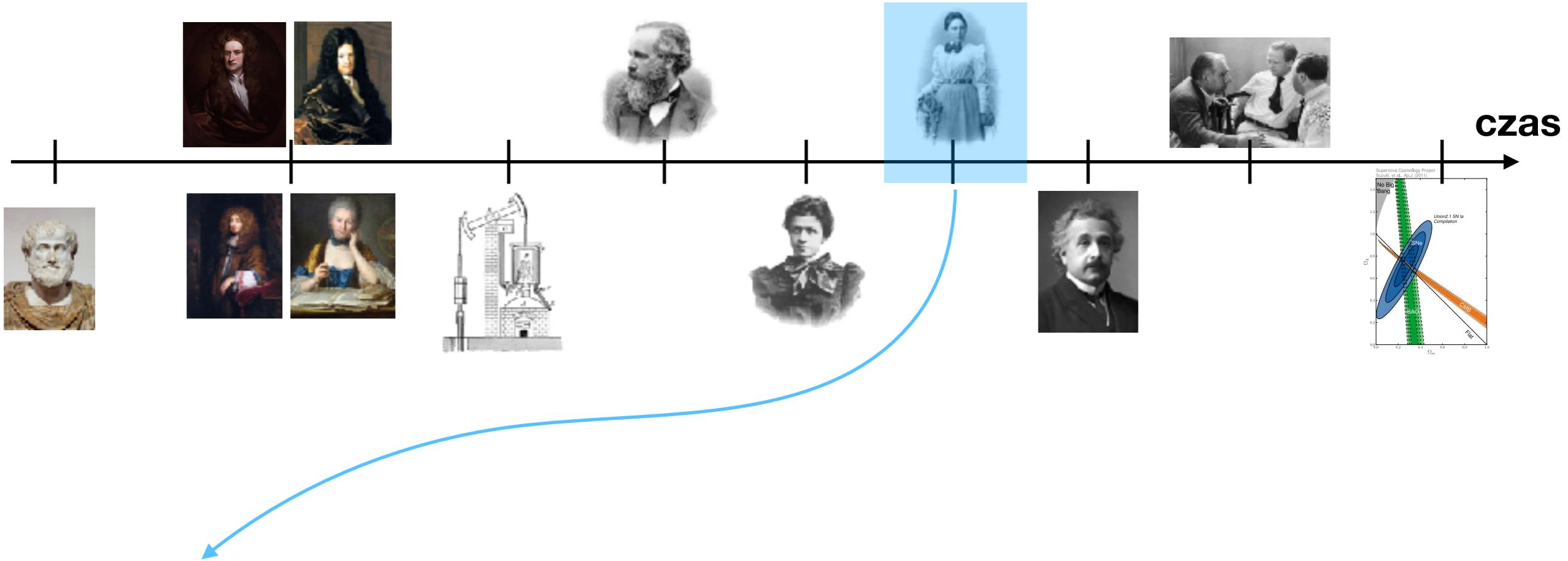


pocz. XXw: Szczególna Teoria Względności (Einstein & Mileva Marić)

powiązanie **czasu** i przestrzeni - **czasoprzestrzeń**

$$E = mc^2$$

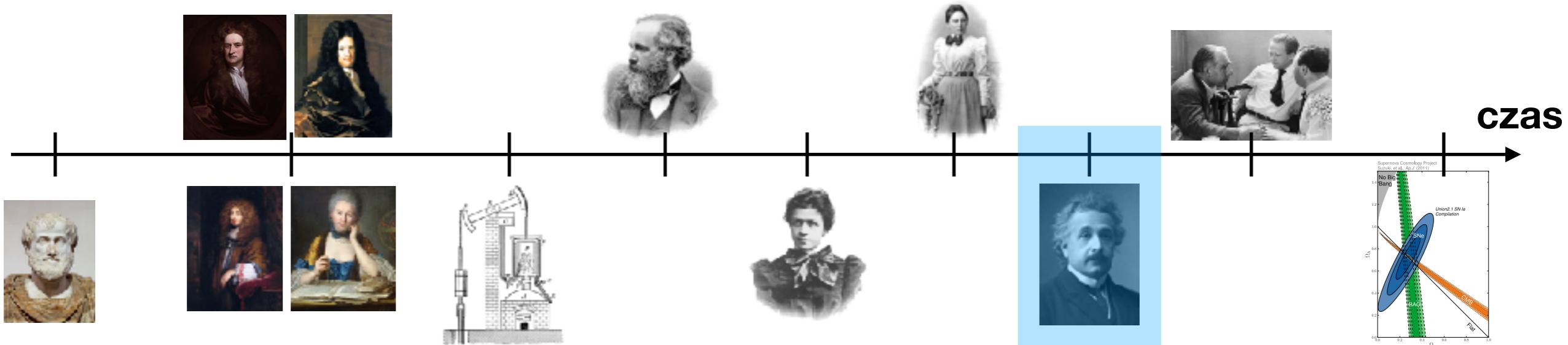
# ENERGIA



1918: twierdzenie Noether

fundamentalna przyczyna **zasady zachowania energii**

# ENERGIA

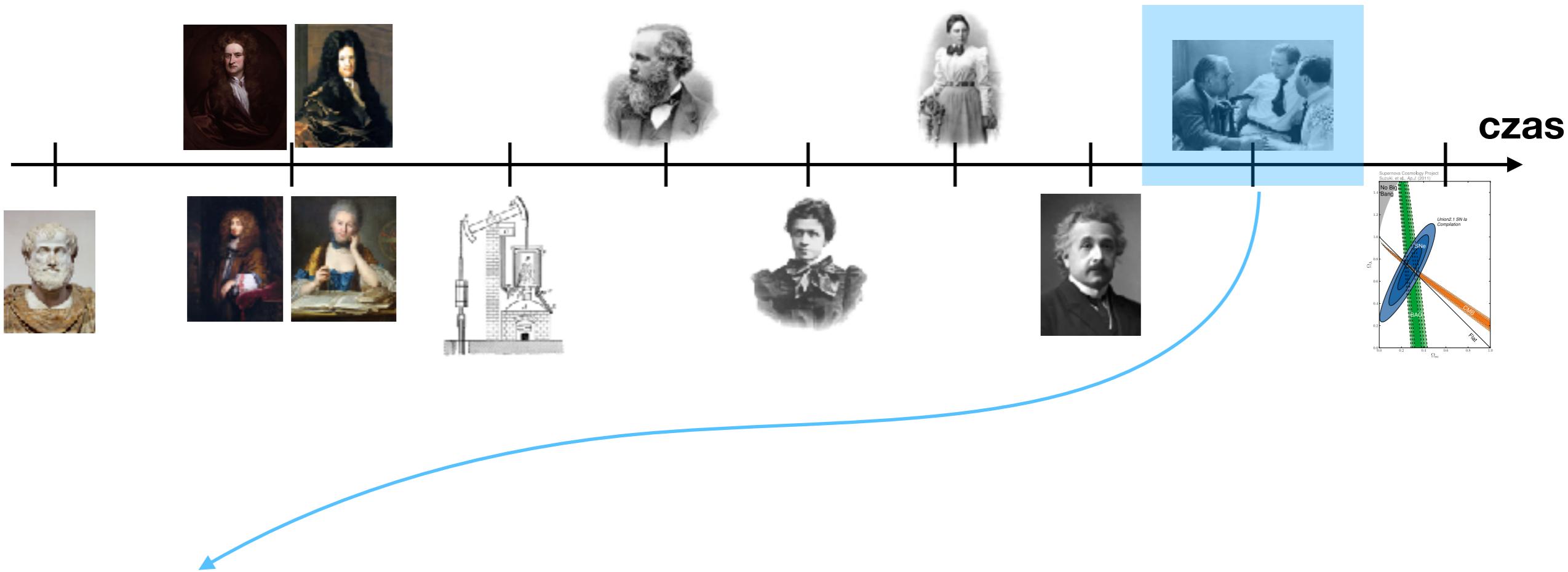


ok. 1915: Ogólna Teoria Względności (a.k.a. teoria grawitacji)

energia zakrzywia czasoprzestrzeń

koncept energii zaczyna być bardziej subtelny

# ENERGIA

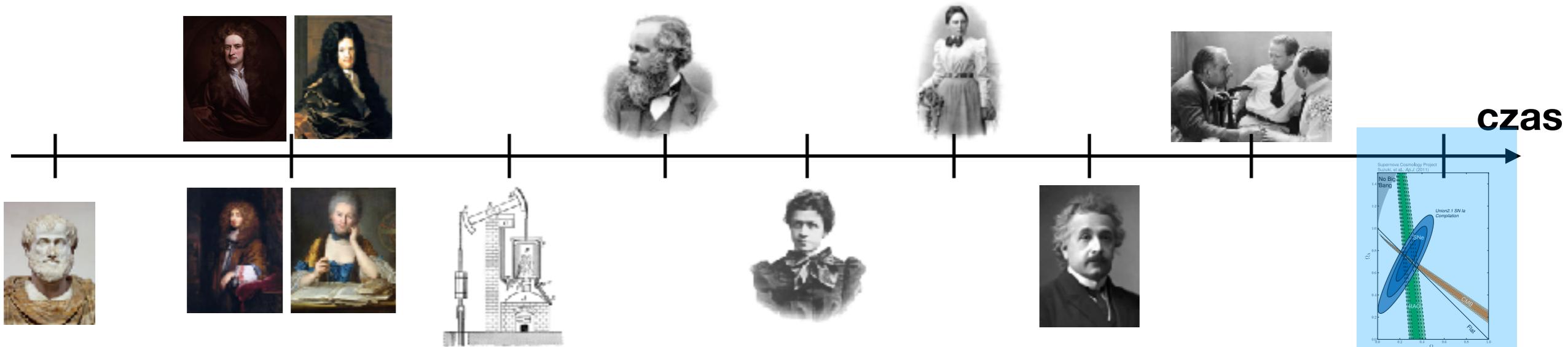


połowa. XXw - narodziny mechaniki kwantowej

- dyskretne poziomy energii (Bohr)
- zasada nieoznaczoności (Heisenberg)

...

# ENERGIA



1998: rozszerzanie się Wszechświata **przyspiesza!**

wszystko wskazuje na istnienie „**ciemnej energii**”

# ENERGIA

## Zasada zachowania



wykonana praca:

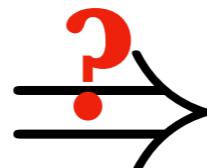
$$W=mgh$$



uzyskana energia:

$$E=2mgh$$

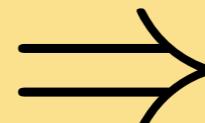
stałość  
zmiana praw  
fizycznych w czasie



złamanie zasady  
zachowania energii!

# Twierdzenie Noether

jeżeli prawa fizyki są niezmienne ze względu na jakąś transformację  
(tzn. mają pewną *symetrię*)

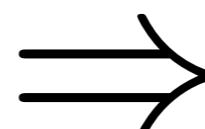


istnieje wielkość fizyczna, która jest zachowana



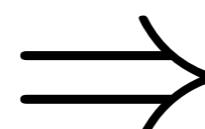
## Przykłady:

prawa fizyki są niezmienne w czasie



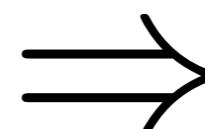
zasada zachowania energii

prawa fizyki są takie same w różnych punktach przestrzeni



zasada zachowania pędu

siła zależy od różnicy potencjałów (a nie od jego bezwzględnej wartości)



zasada zachowania ładunku elektrycznego

...

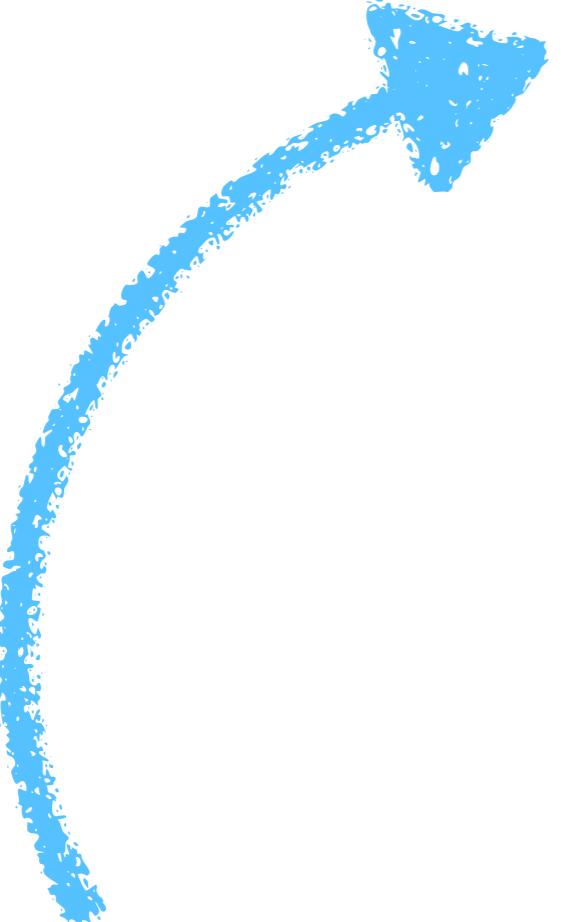
Tw. Noether pokazuje jak ścisłe energia związana jest z czasem... jednak widzimy też, że zasada zachowania energii nie mówi nam wiele o naturze czasu - znów jak poprzednio czas to tylko parametr

**zaraz, zaraz... przecież energia „się zużywa”, prawda?**  
czy to nic nie mówi o kierunku upływu czasu?

**rzeczywiście, energia nie ginie...**



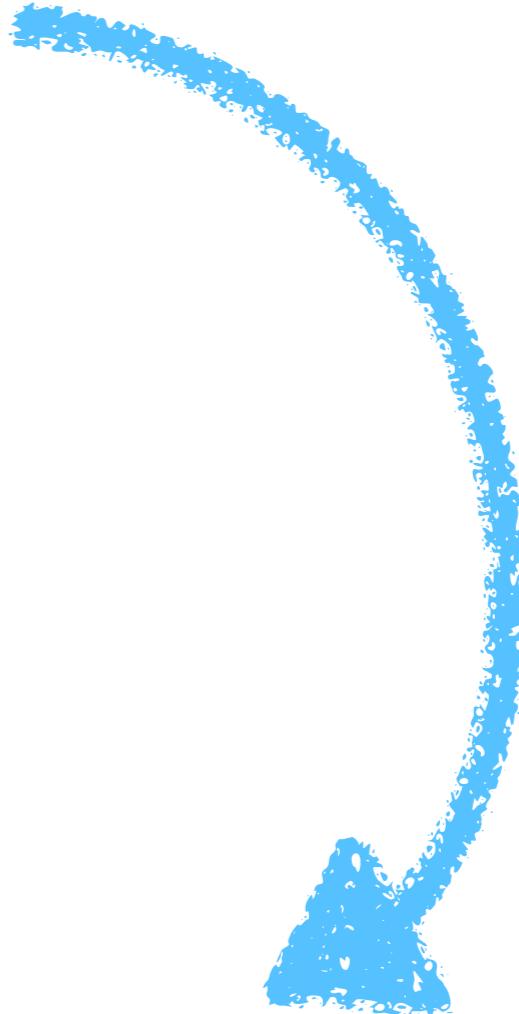
**...ale się rozprasza**



**ENTROPIA**



**ENERGIA**



**CZAS**

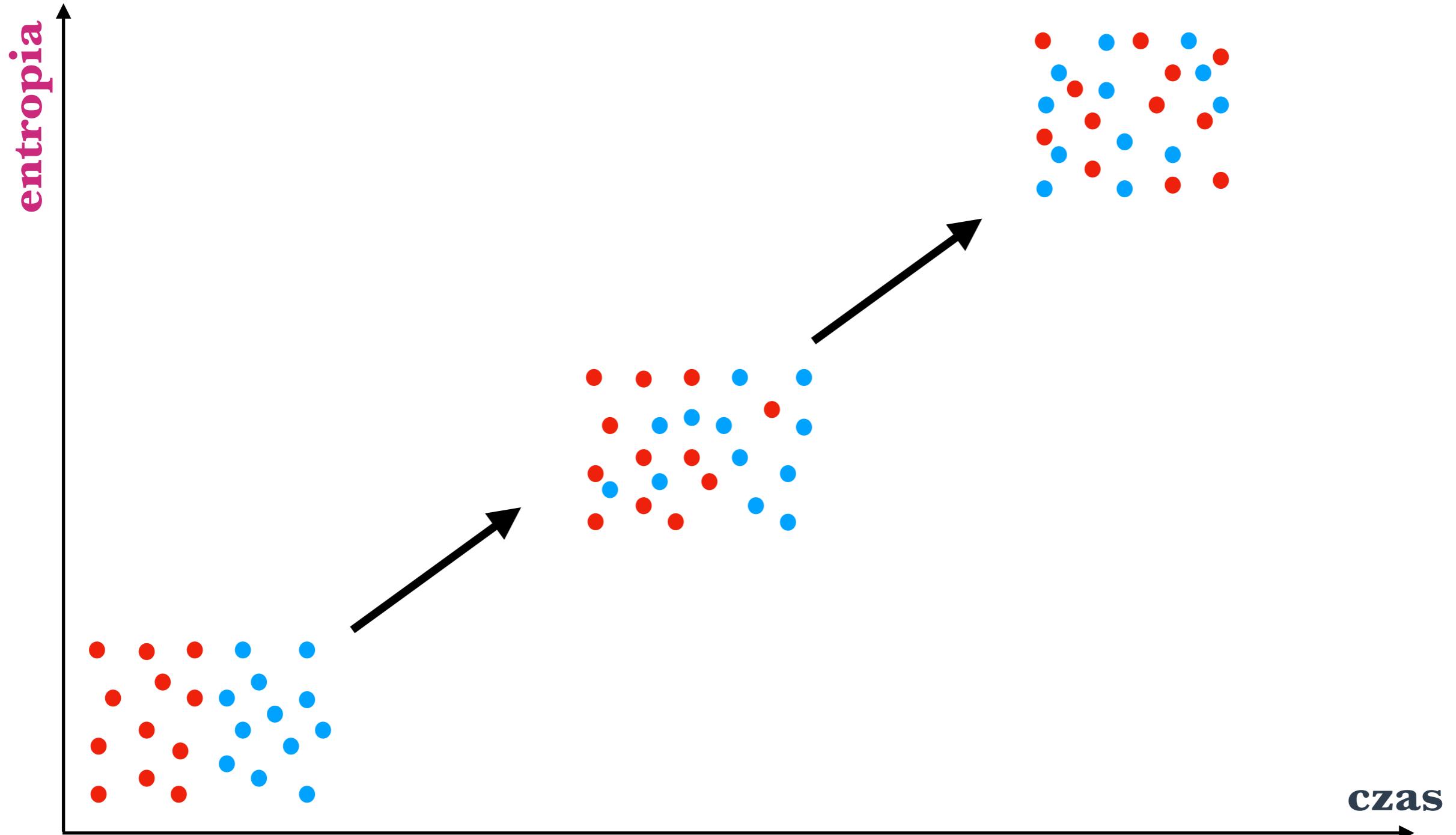
# Dygresja: ile wynosi energia Wszechświata?



najprawdopodobniej... zero!

## II zasada termodynamiki

$$\Delta S \geq 0$$



Entropia jako miara „nieuporządkowania”

# Czym jest Entropia?

$$S = k \cdot \log W$$

(napis na nagrobku L. Boltzmanna)

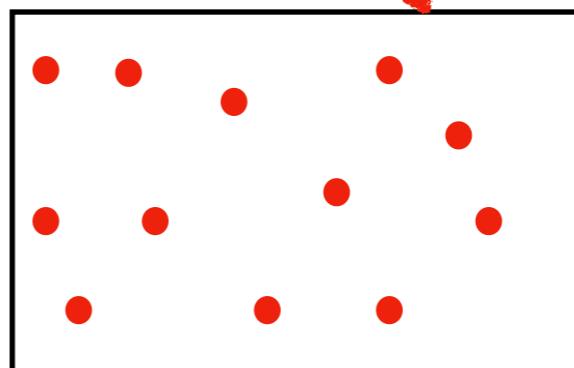
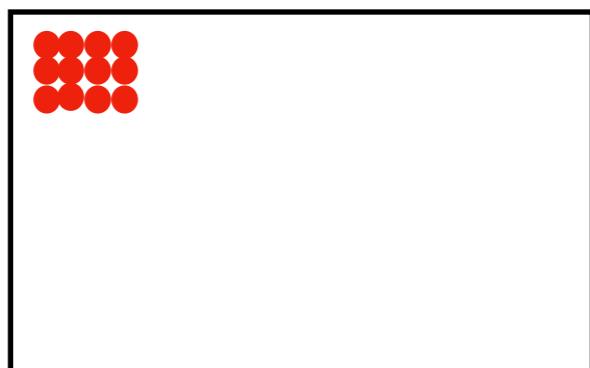
**entropia**

stała Boltzmanna

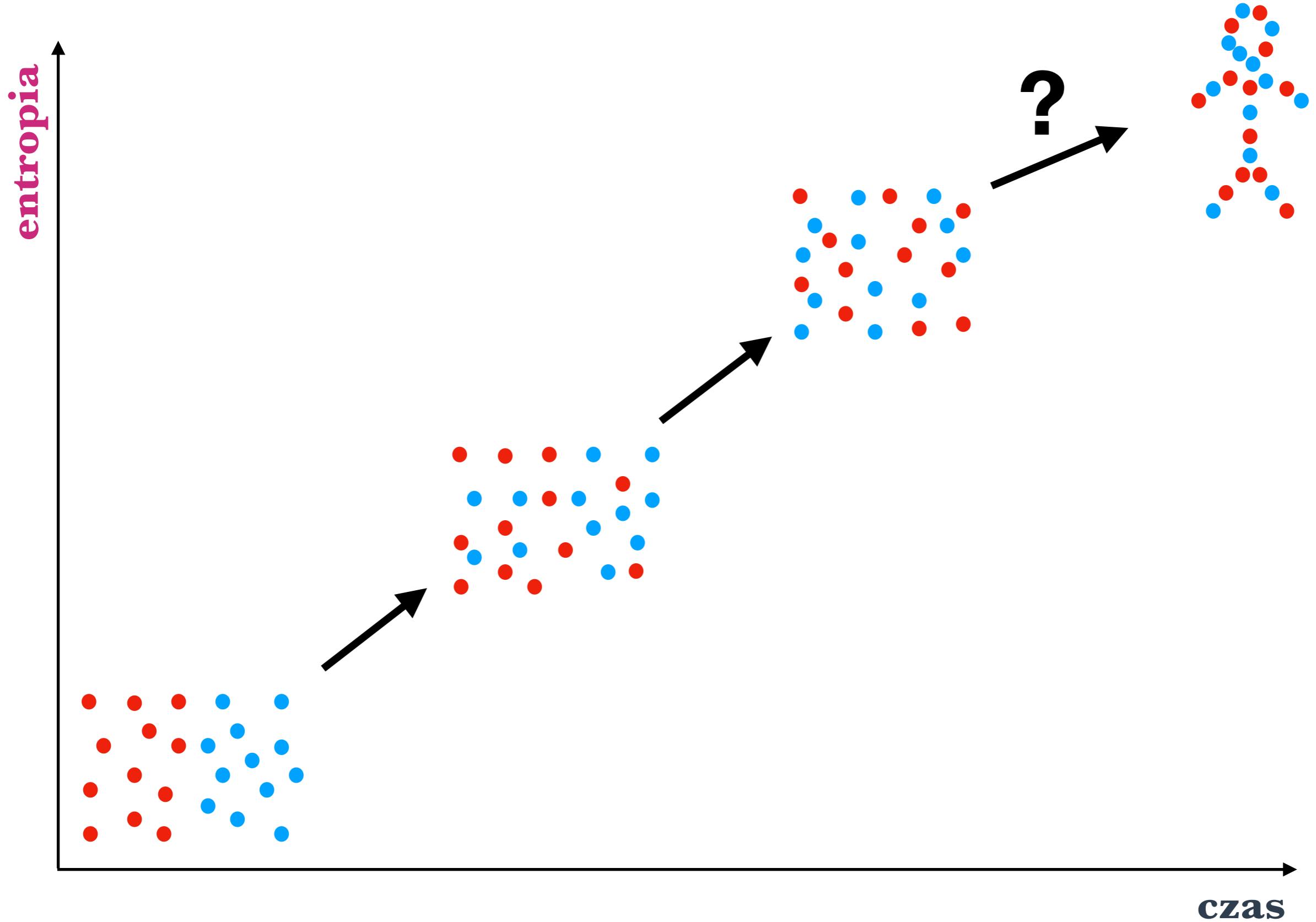
**liczba równoważnych konfiguracji (kombinacji)**

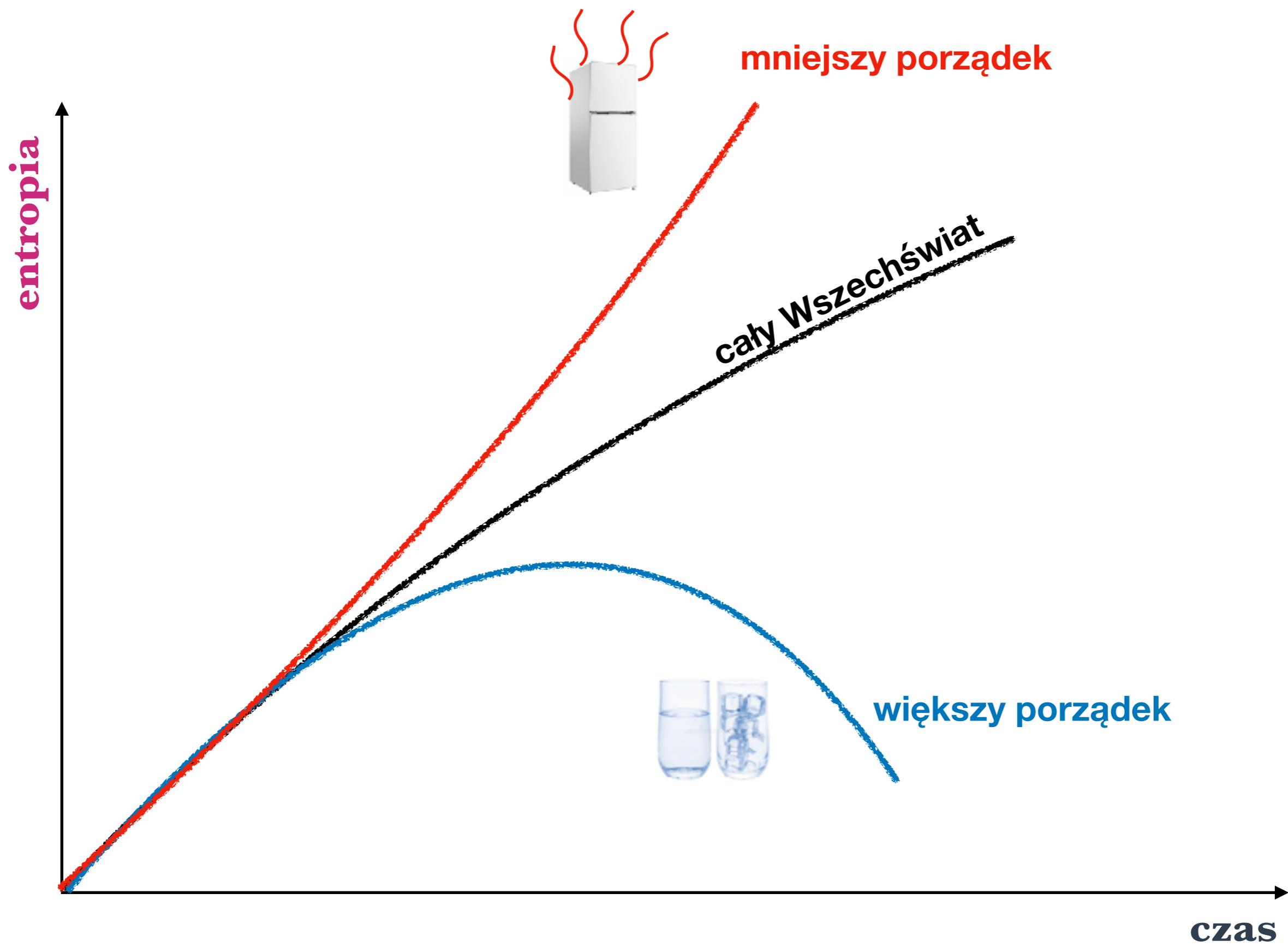
mała

duża



# Entropia a Złożoność





# Entropia ≠ Złożoność

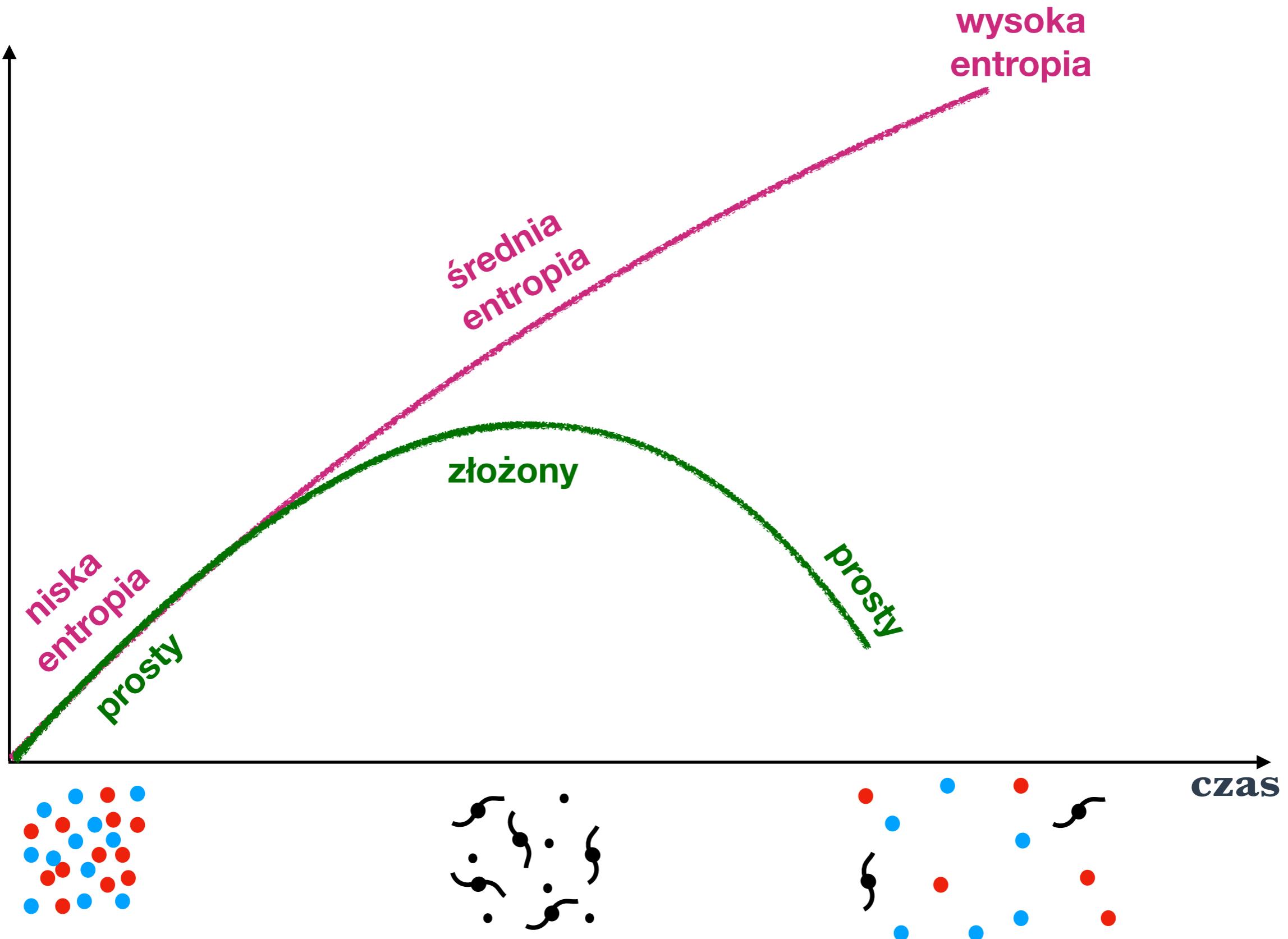


MP  
MINUTE  
PHYSICS

źródło: MinutePhysics  
„The Big Picture” w/ Sean Carroll

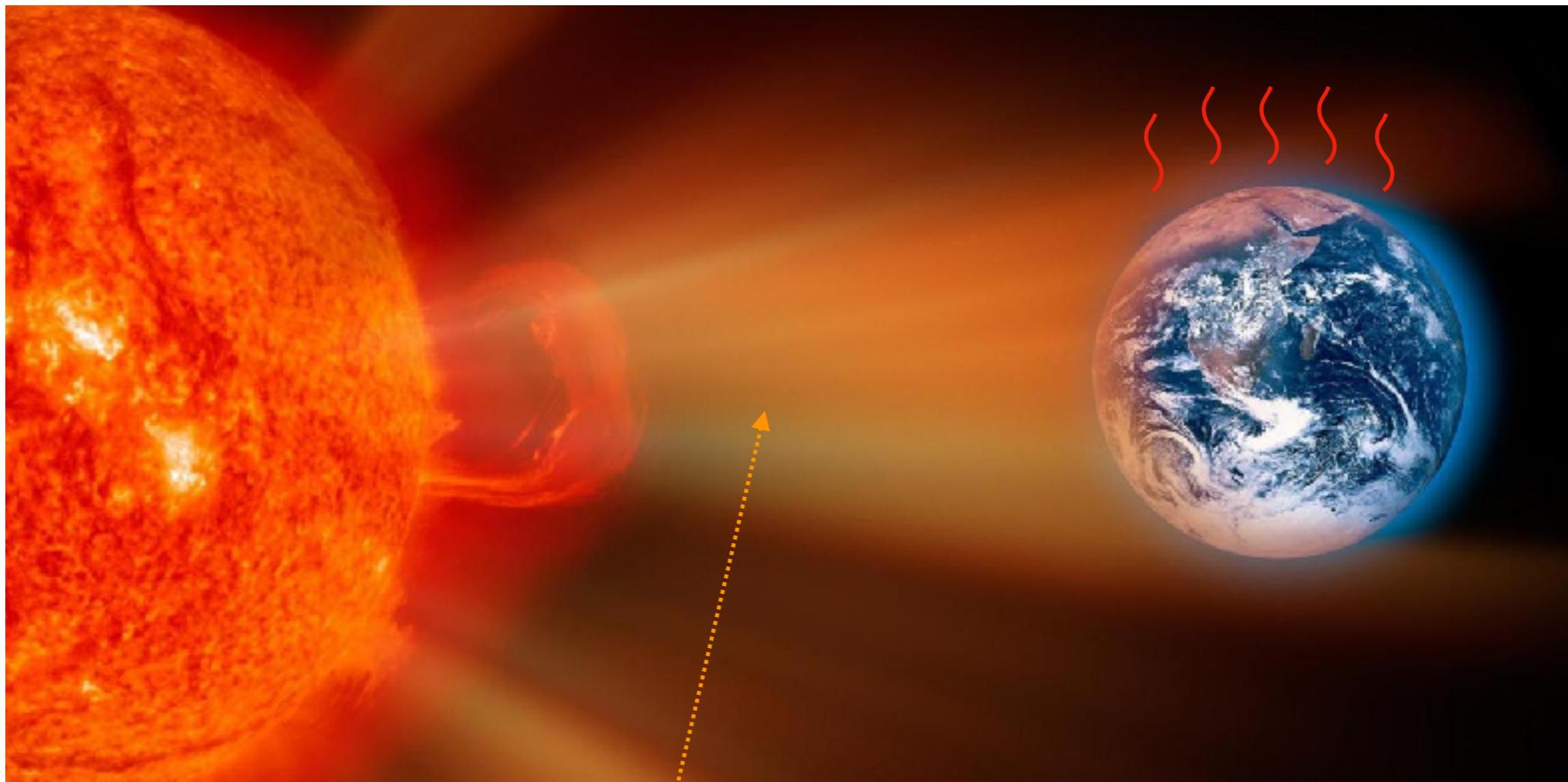
# Złożoność jest naturalnym etapem pośrednim ewolucji układu

innego przykładu: nasz Wszechświat



## Entropia jako miara użyteczności danej formy energii

$\sim 90\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ J/s$

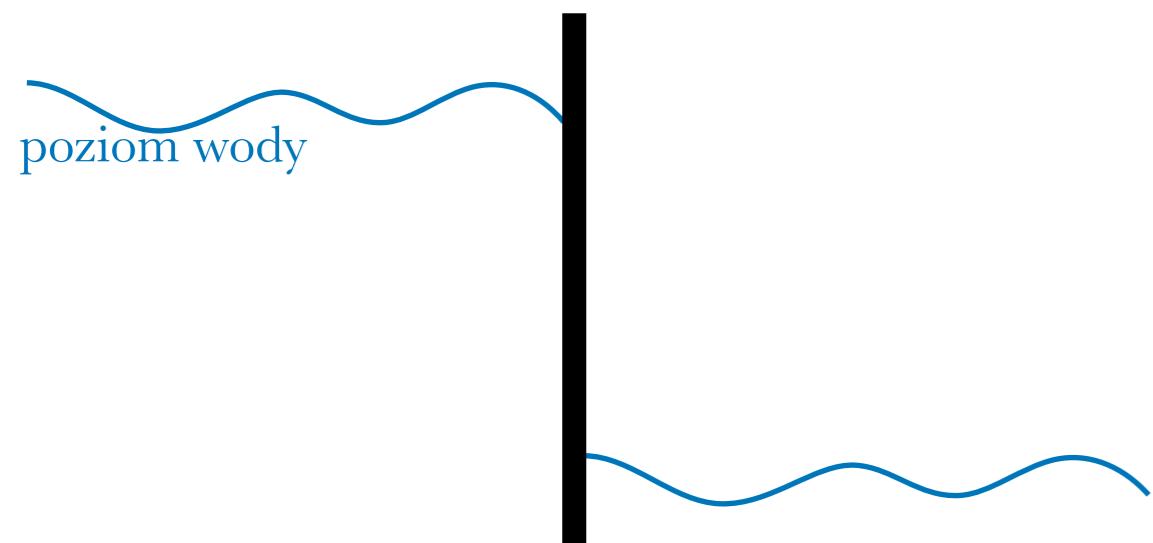


$\sim 90\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ J/s$

Słońce daje nam nie tyle energię (Ziemia oddaje tyle samo co dostaje), co użyteczną (niskoentropową) energię

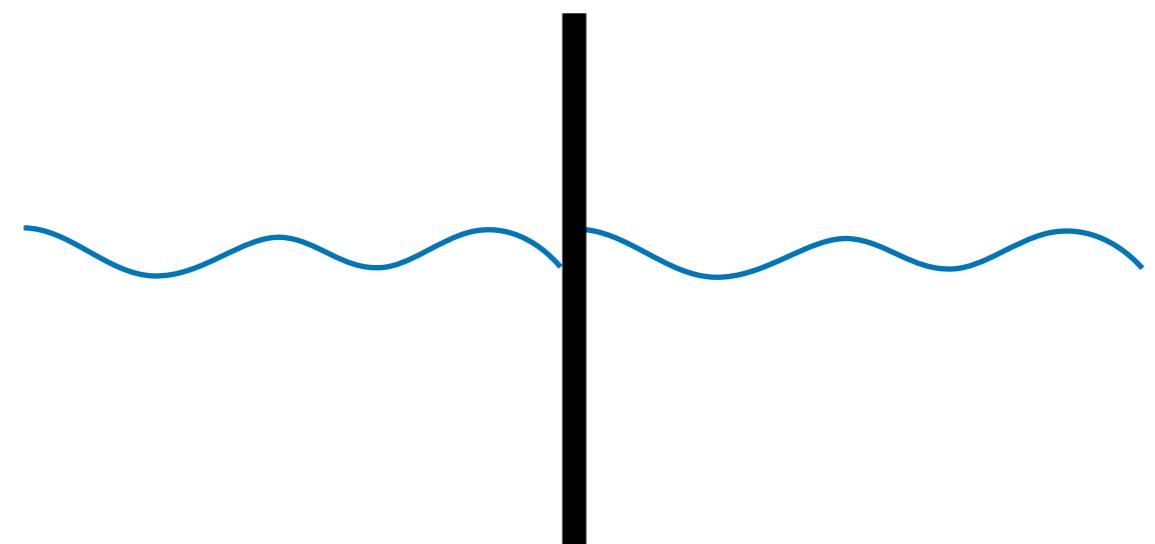
# Energia może znajdować się w bardziej lub mniej użytecznej formie

Użyteczna energia (tzw. energia swobodna) to energia w stanie o niskiej entropii:



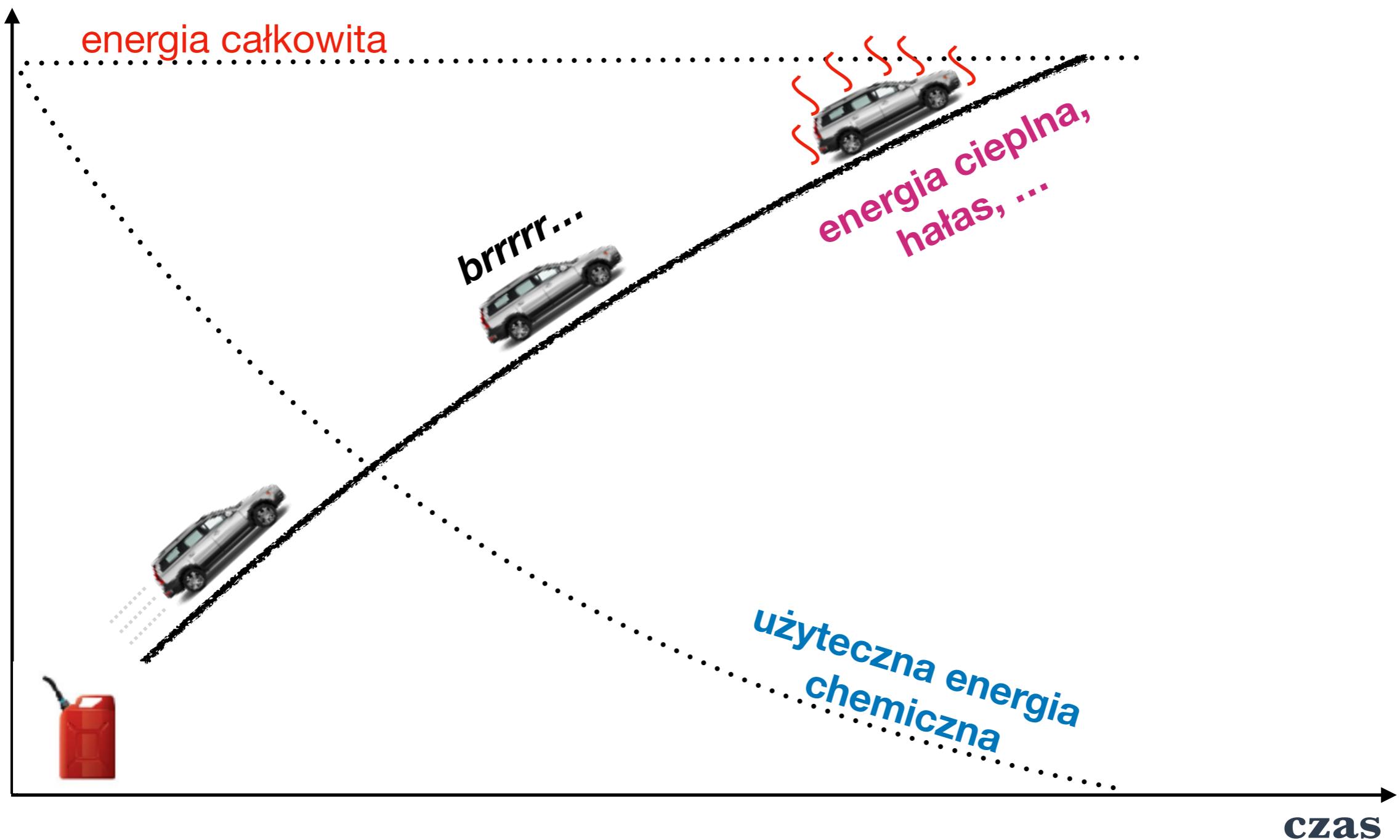
czyli daleka od równowagi,  
można ją wykorzystać do  
**wykonania pracy**

Mało użyteczna energia  
to energia w stanie  
o wysokiej entropii:

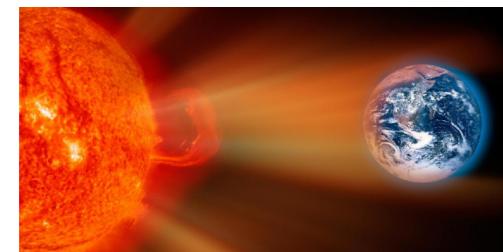


np. w stanie lub bliska stanu  
równowagi

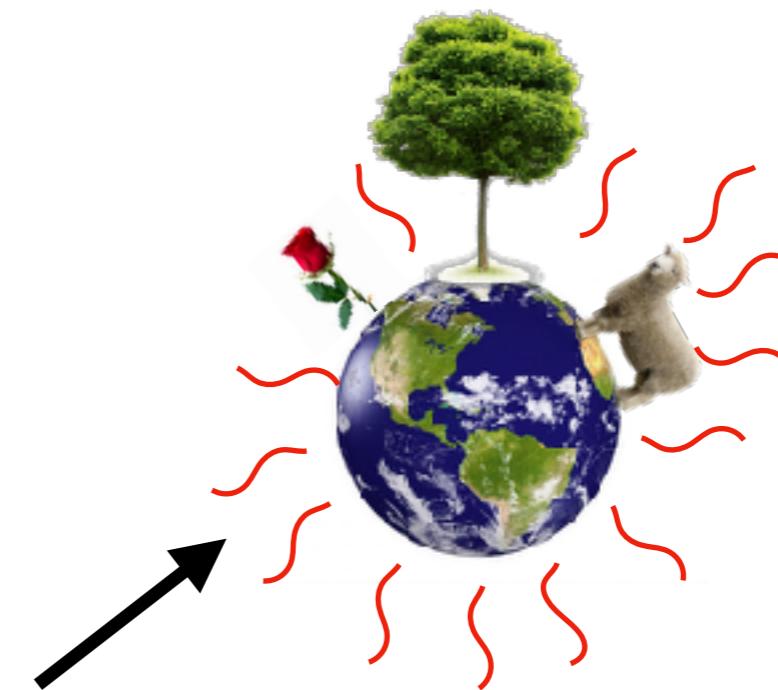
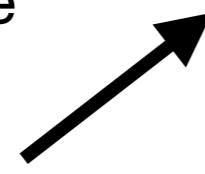
## Zużywanie się energii, przykład:



entropia



na każdy **foton** w paśmie widzialnym **Ziemia** uzyskuje ze **Słońca...**

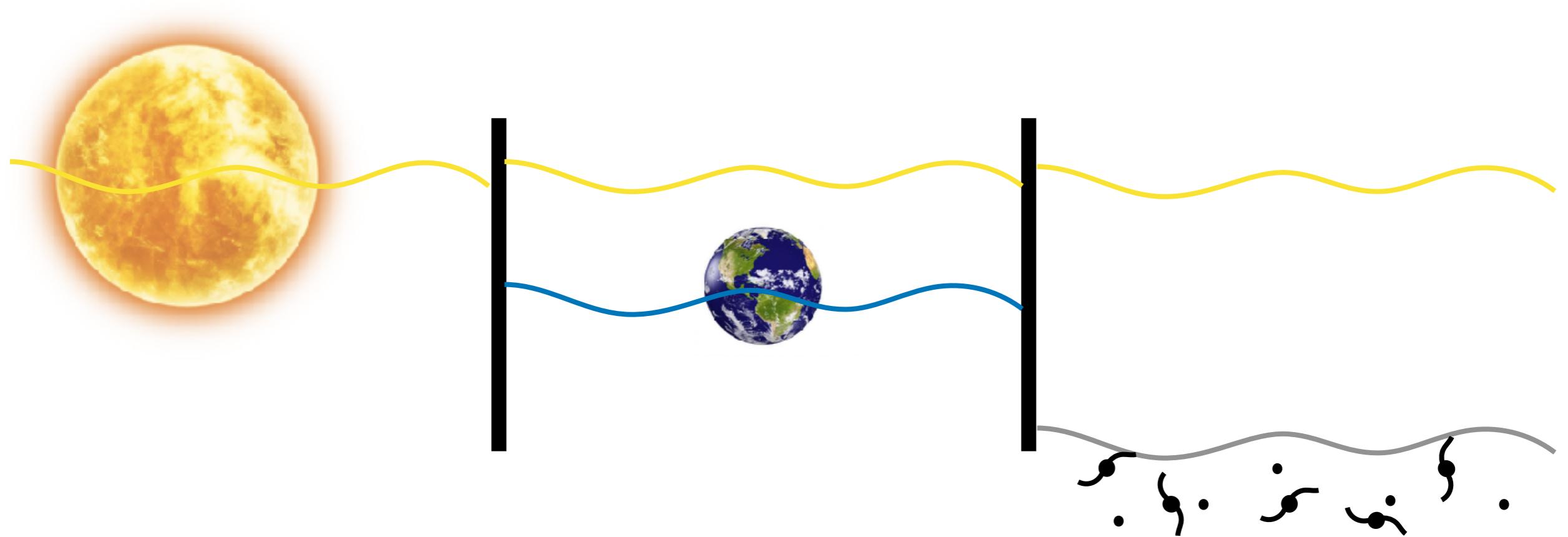


...wy promieniuje ok. 20 fotonów podczerwonych o sumarycznie tej samej energii

czas

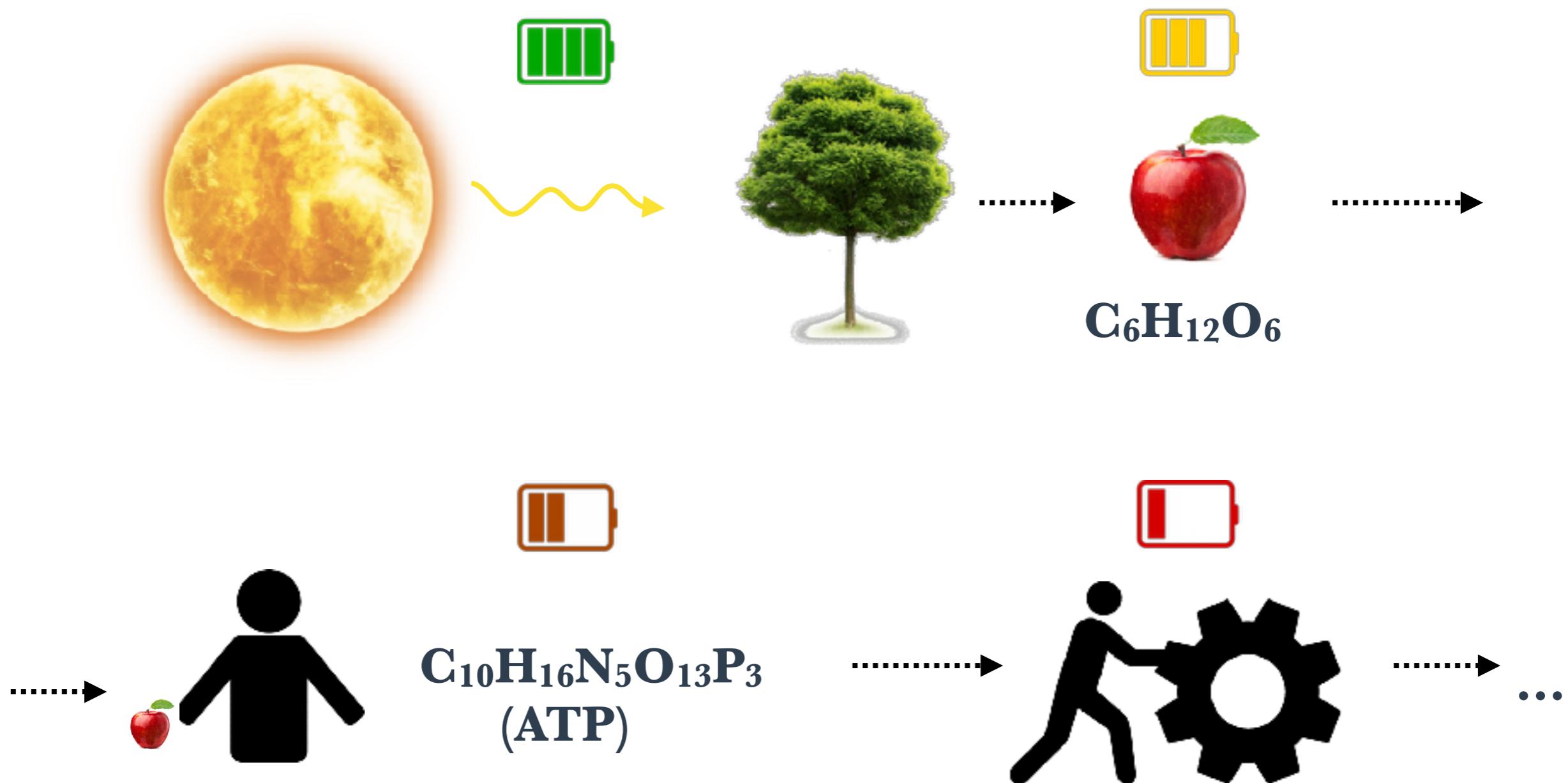
Możemy wykorzystać energię ze **Słońca** tylko dlatego, że  
**dookoła wszystko jest w stanie o dużo niższej energii**

(daleko od równowagi termodynamicznej)

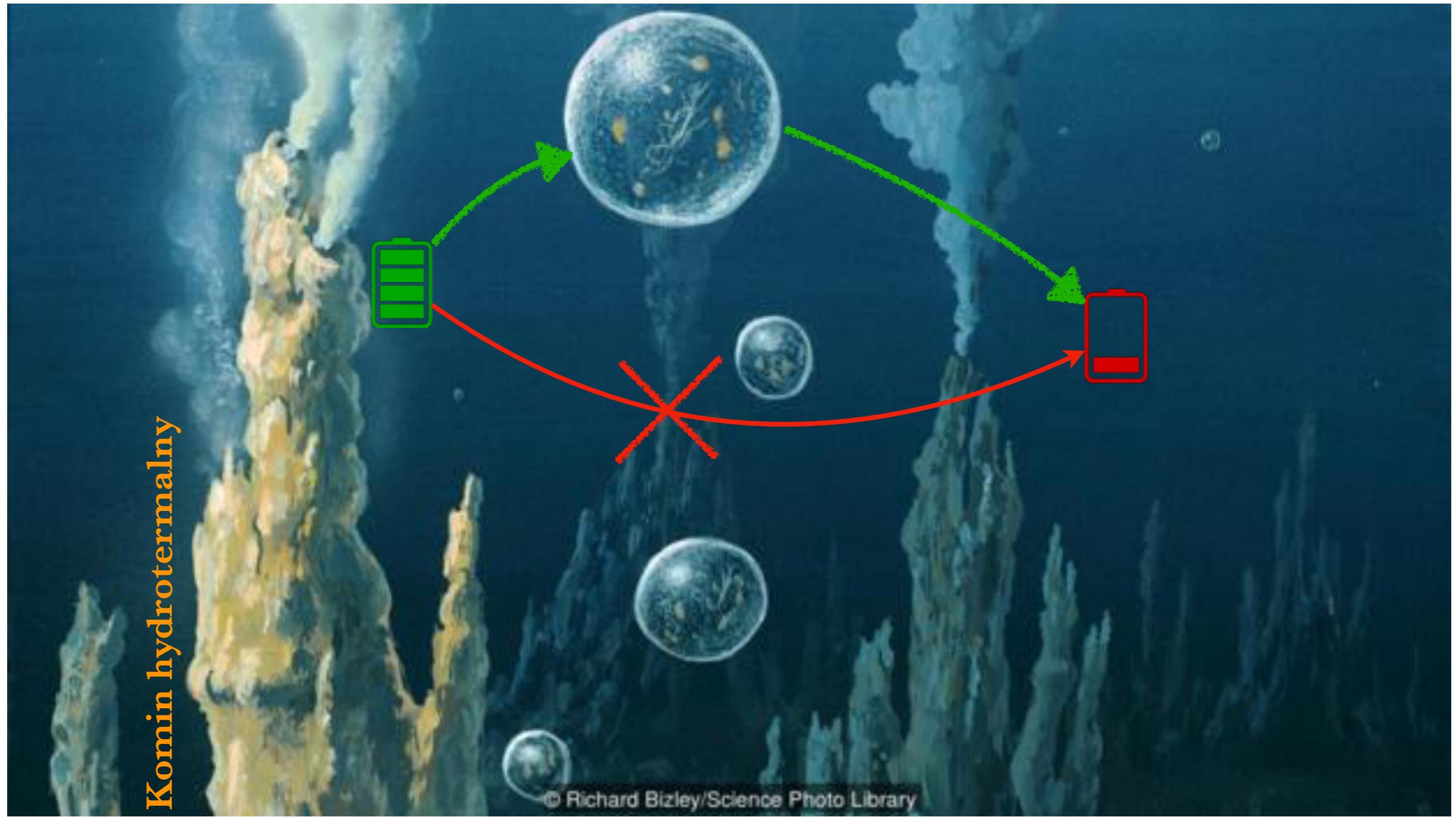


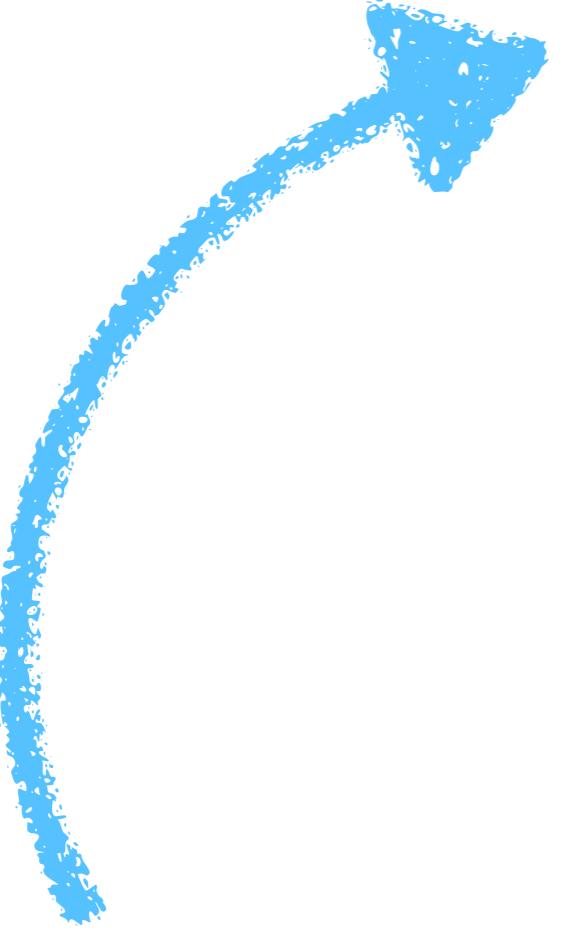
Gdyby tak nie było, **Ziemia szybko ogrzałaby się do tej samej temperatury co otoczenie**

**Tymczasem Życie wykorzystuje wzrost entropii do własnych celów...**



# Może właśnie z tego powodu powstały pierwsze bakterie?

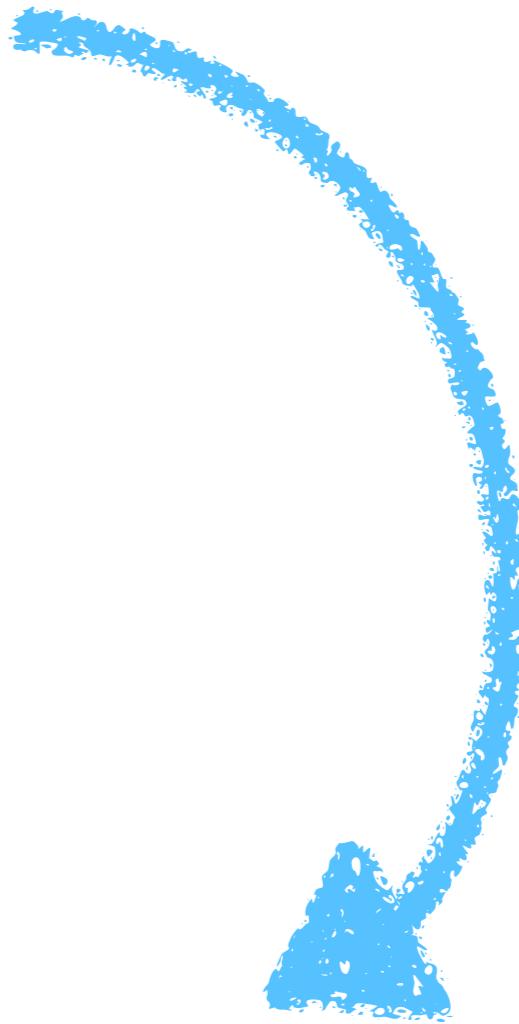




ENTROPIA



ENERGIA



CZAS

# Oblicza Czasu:



**Makroskopowo wzrost entropii „tworzy” czas - mikroskopowo to ciągle głęboka zagadka**

**Czas z pewnością nie jest absolutny - np. płynie z różną prędkością w różnych układach**

**Nasze doświadczenie czasu to z kolei zupełnie inna historia...**



„CZYMŻE JEST CZAS? JEŚLI NIKT MNIE O TO NIE PYTA, WIĘM. JEŚLI PYTAJĄCEMU USIŁUJĘ WYTŁUMACZYĆ, NIE WIĘM.”

ŚW. AUGUSTYN