

ENTROPIA

I STRZAŁKA CZASU

Andrzej Hryczuk



University of Oslo



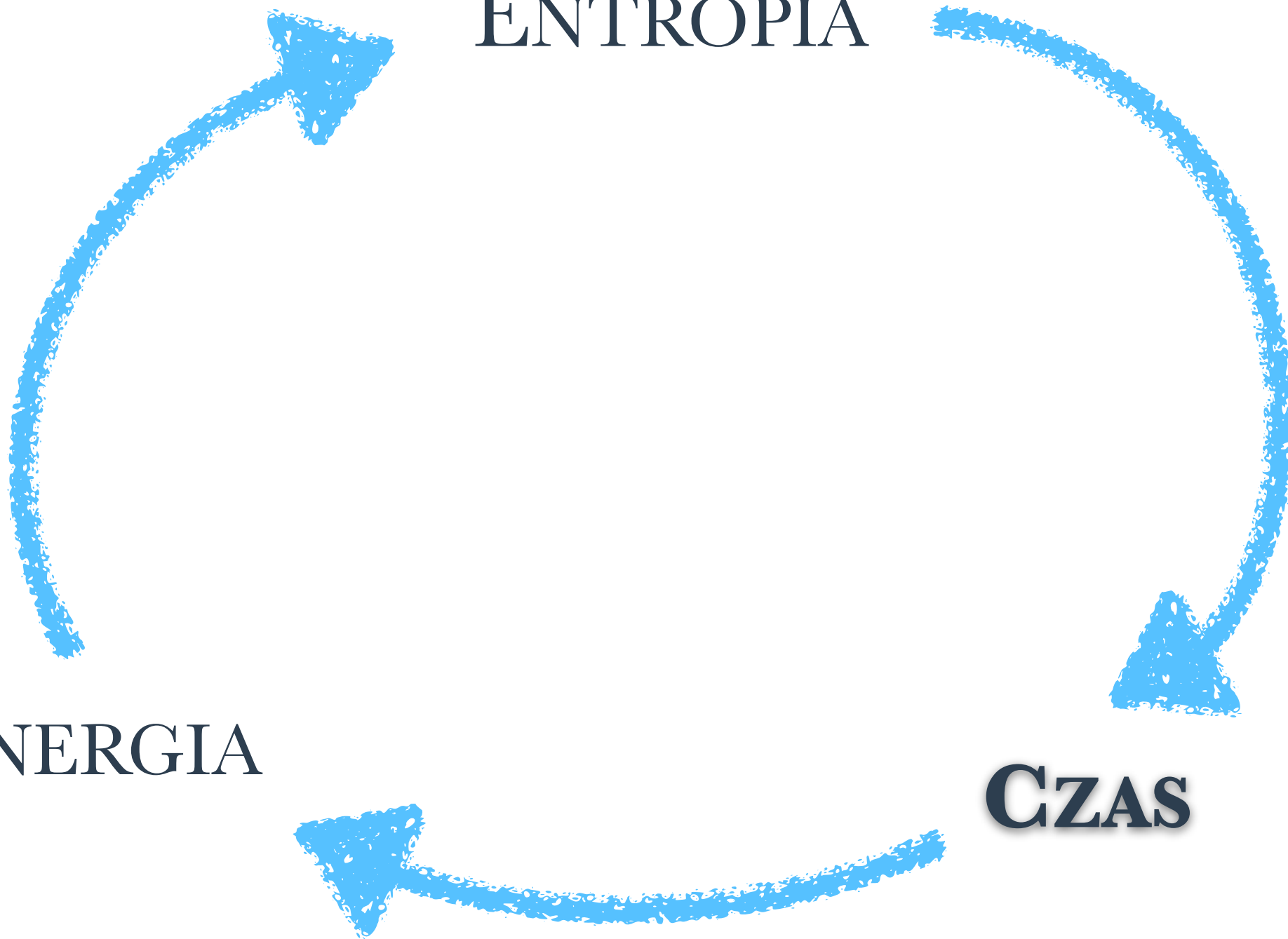
Narodowe Centrum
Badań Jądrowych

Letnie Spotkania z Nauką, 4.08.2018

ENTROPIA

ENERGIA

CZAS



*II zasada dynamiki Newtona

prędkość

siła

masa

przyspieszenie

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

zmiana **prędkości** w **czasie**
określona przez **działające siły**



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

II zasada dynamiki Newtona

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

równanie Maxwella-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

przeszłość i przyszłość są traktowane na równi !

Innymi słowy, **czas** w fizyce...



dlaczego nie???

...to jedynie **zmienna parametryzująca** przebieg zdarzeń

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

I. NEWTON



...czy może też coś pomiędzy?



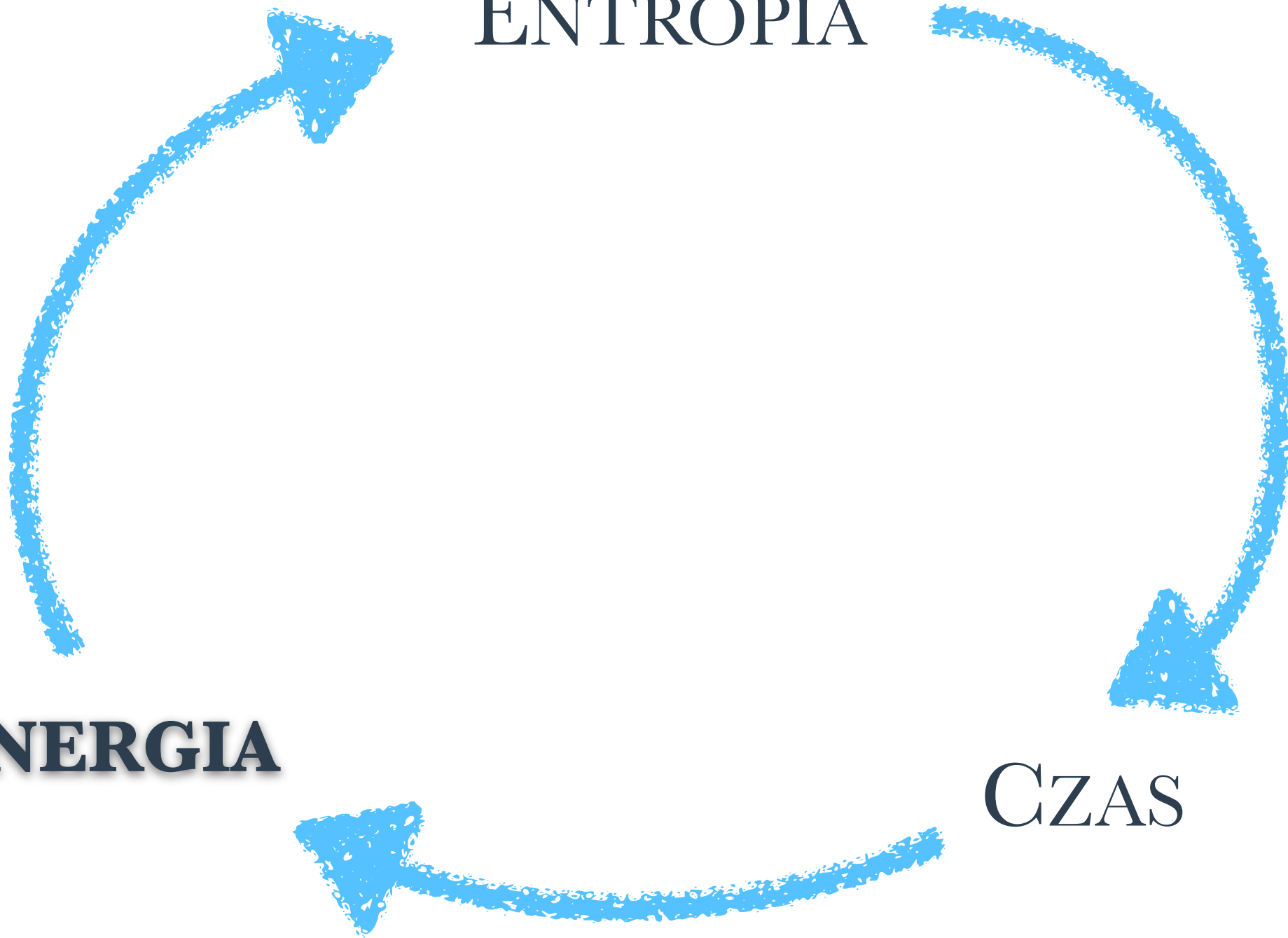
„Ludzie tacy jak my, wierzący w fizykę, wiedzą, że
różnica między przeszłością, teraźniejszością i
przyszłością jest tylko **uparcie obecną iluzją.**”

A. Einstein

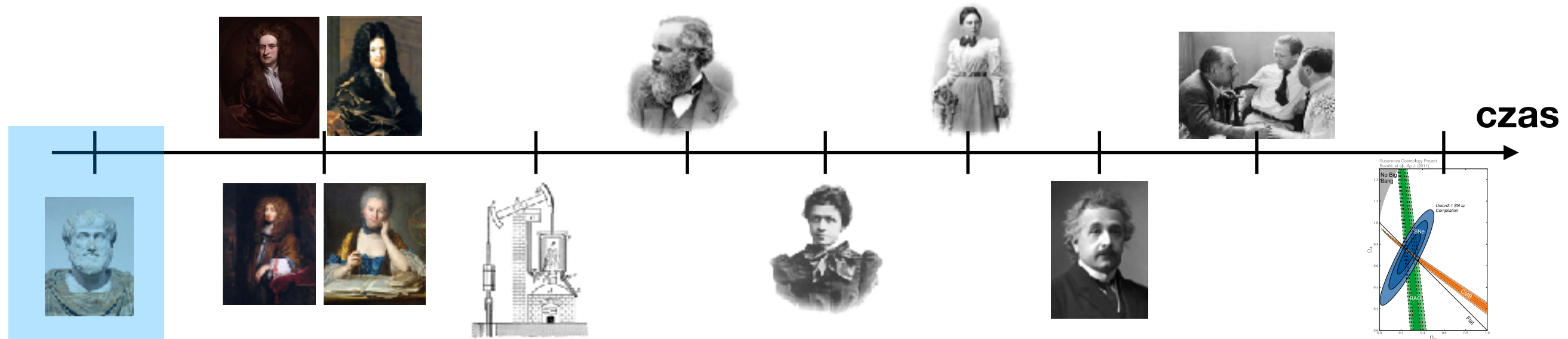
ENTROPIA

ENERGIA

CZAS



ENERGIA

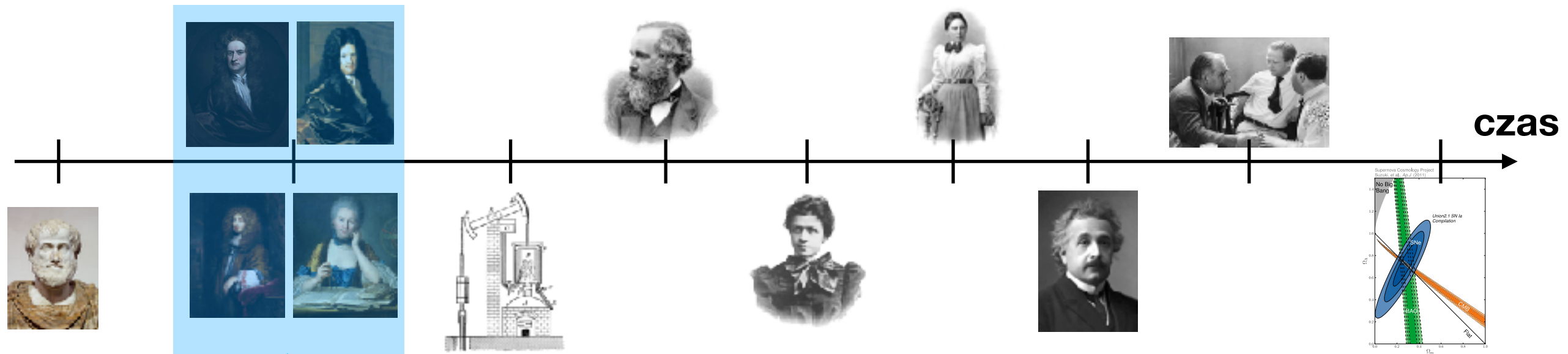


4BC: **ἐνέργεια** - Arystoteles „*Etyka nikomachejska*”

pojęcie **energii** nie jest wyjątkowo oczywiste

filozofia starożytna 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)

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

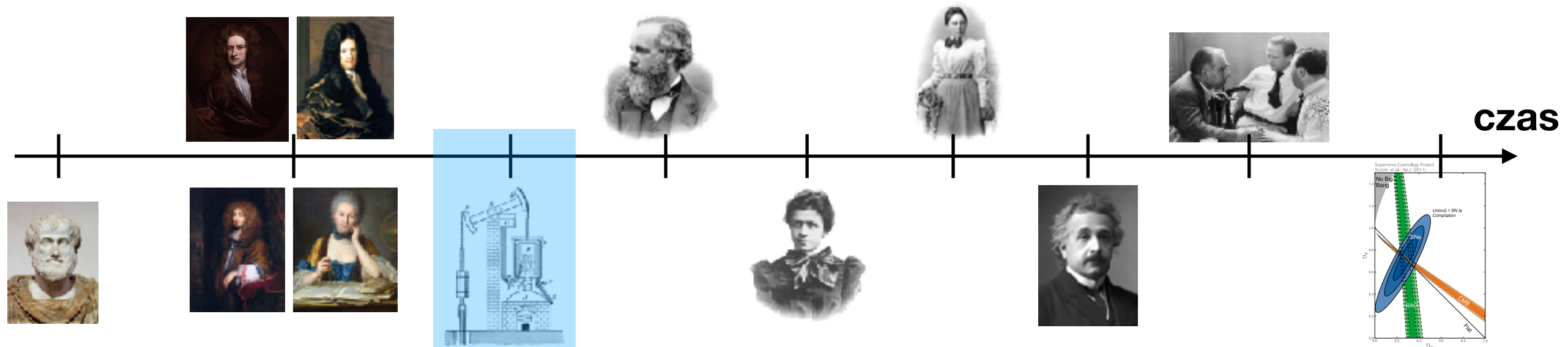
~50 lat ząartej dyskusji

- pęd jest prostszy bo nie ma „pędu potencjalnego”

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

(ciekawostka: studiując ogień przewidziała istnienie promieniowania podczerwonego)

ENERGIA

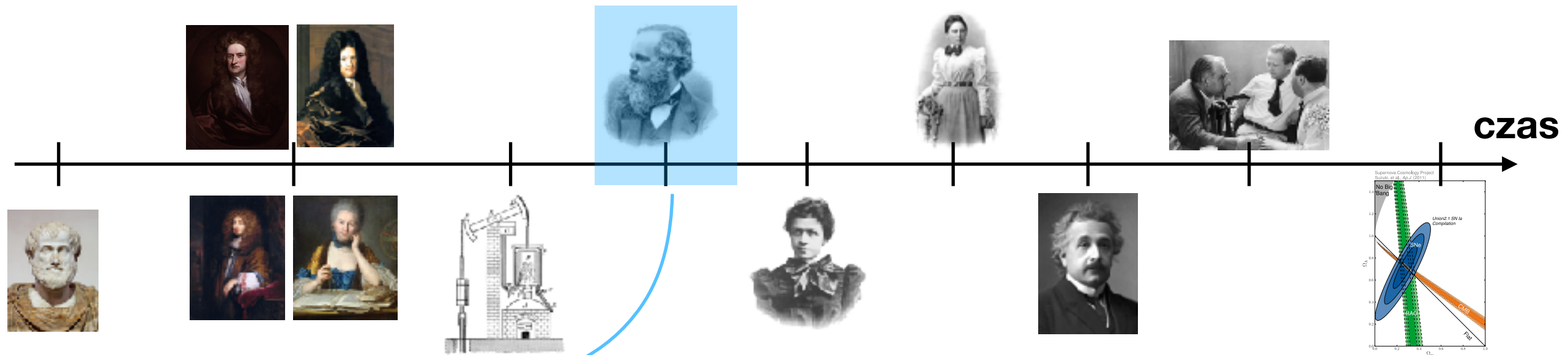


XVIIIw: rozwój termodynamiki i silników parowych

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

(np. relacja pomiędzy **pracą** i **energią**)

ENERGIA

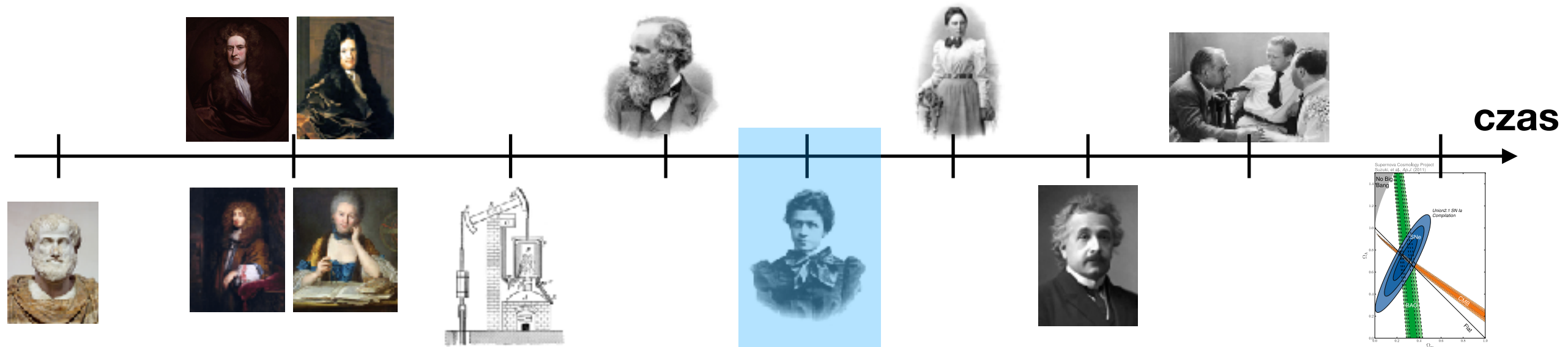


XIXw: elektryczność i magnetyzm = elektrodynamika (Maxwell)

energia potencjalna pól elektrycznych i magnetycznych

niezwykle istotny krok w kierunku współczesnego rozumienia w ramach teorii względności

ENERGIA

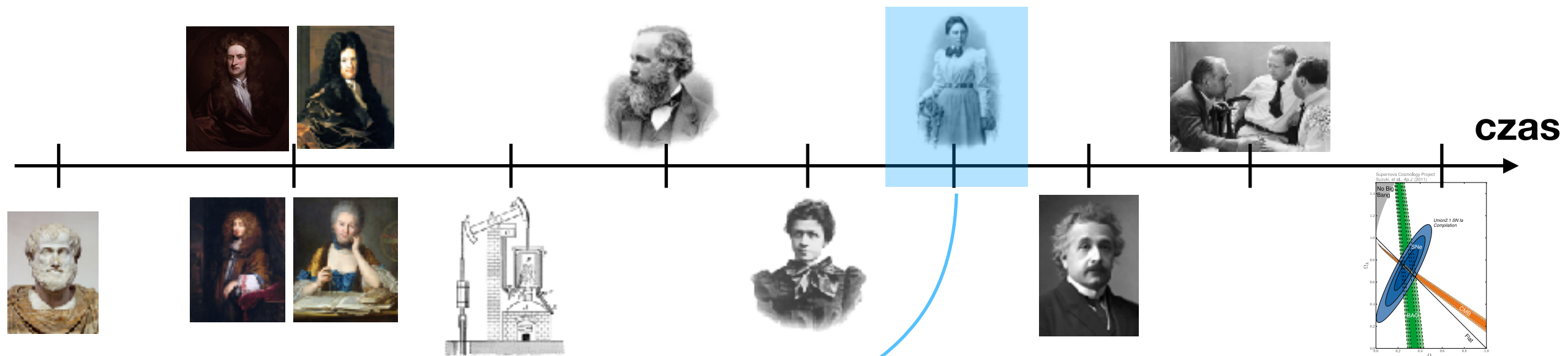


pocz. XXw: Szczególna Teoria Względności (Einstein & Mileva Marić)

powiązanie czasu i przestrzeni - czasoprzestrzeń

$$E = mc^2$$

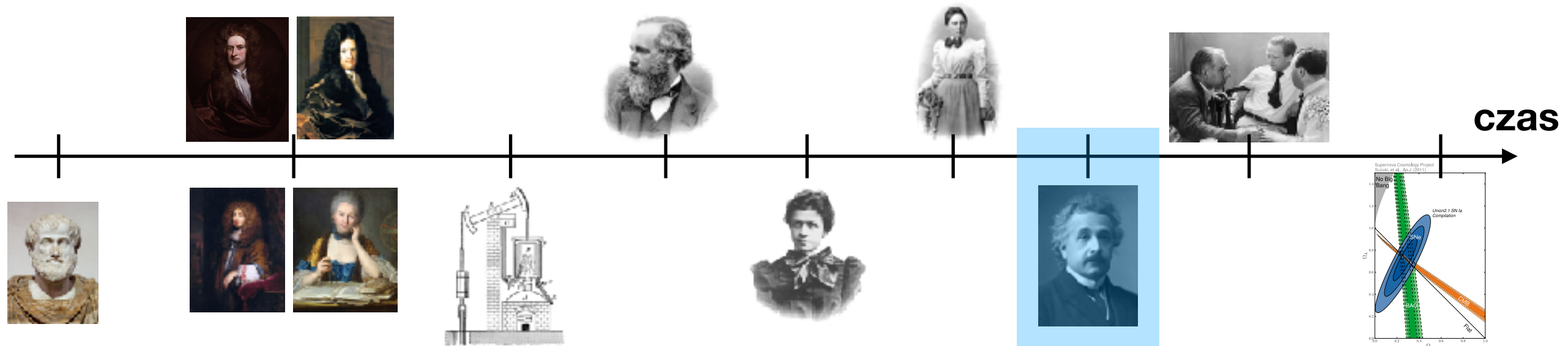
ENERGIA



1918: twierdzenie Noether

fundamentalna przyczyna zasady zachowania energii

ENERGIA

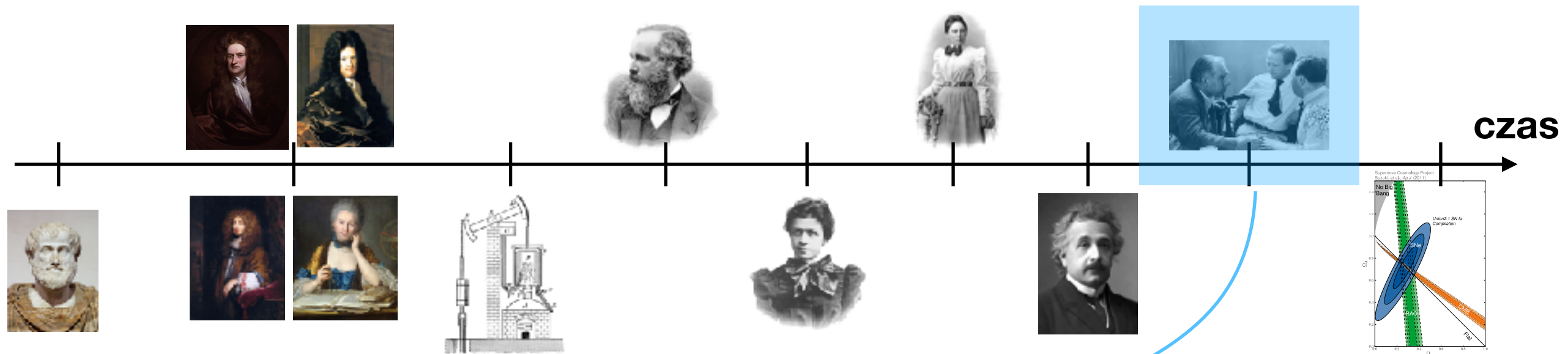


ok. 1915: **Ogólna Teoria Względności** (a.k.a. teoria grawitacji)

energia zakrzywia czasoprzestrzeń

koncept **energii** zaczyna być bardziej subtelny

ENERGIA

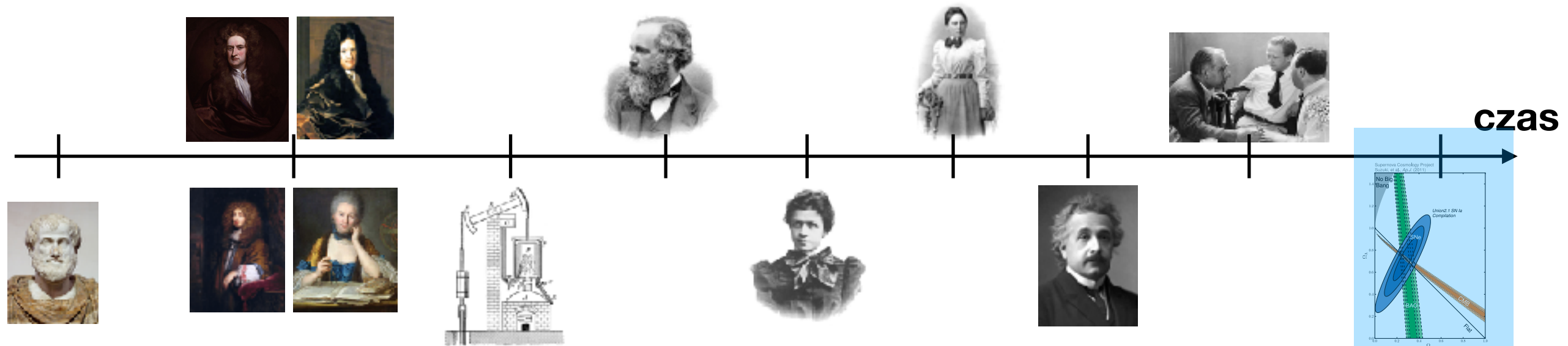


połowa. XXw - narodziny mechaniki kwantowej

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

...

ENERGIA



1998: rozszerzanie się Wszechświata **przyspiesza!**

wszystko wskazuje na istnienie „ciemnej energii”

ENERGIA

Zasada zachowania



wykonana praca:

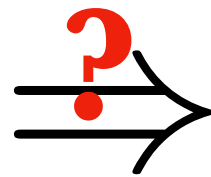
$$W=mgh$$

<

uzyskana energia:

$$E=2mgh$$

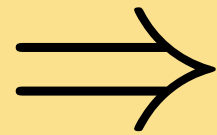
~~stałość~~
zmiana praw
fizycznych w czasie



~~złamanie zasady~~
zachowania energii!

Twierdzenie Noether

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

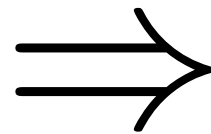


istnieje wielkość
fizyczna, która
jest zachowana



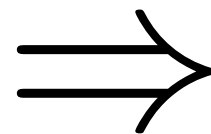
Przykłady:

prawa fizyki są niezmiennie
w czasie



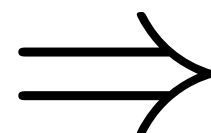
zasada zachowania
energii

prawa fizyki są takie same
w różnych punktach przestrzeni



zasada zachowania
pędu

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



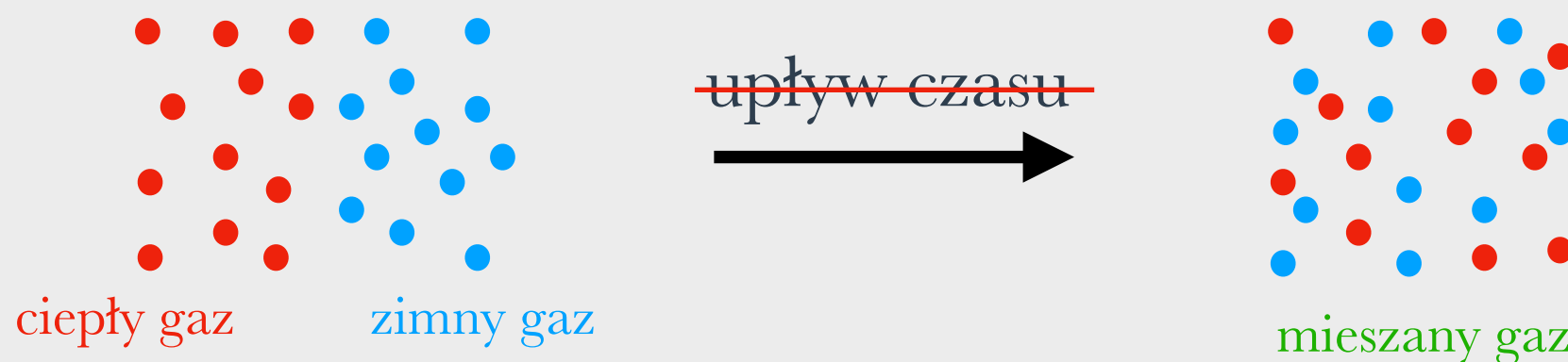
zasada zachowania
ładunku elektrycznego

...

Tw. Noether pokazuje jak ściśle **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...

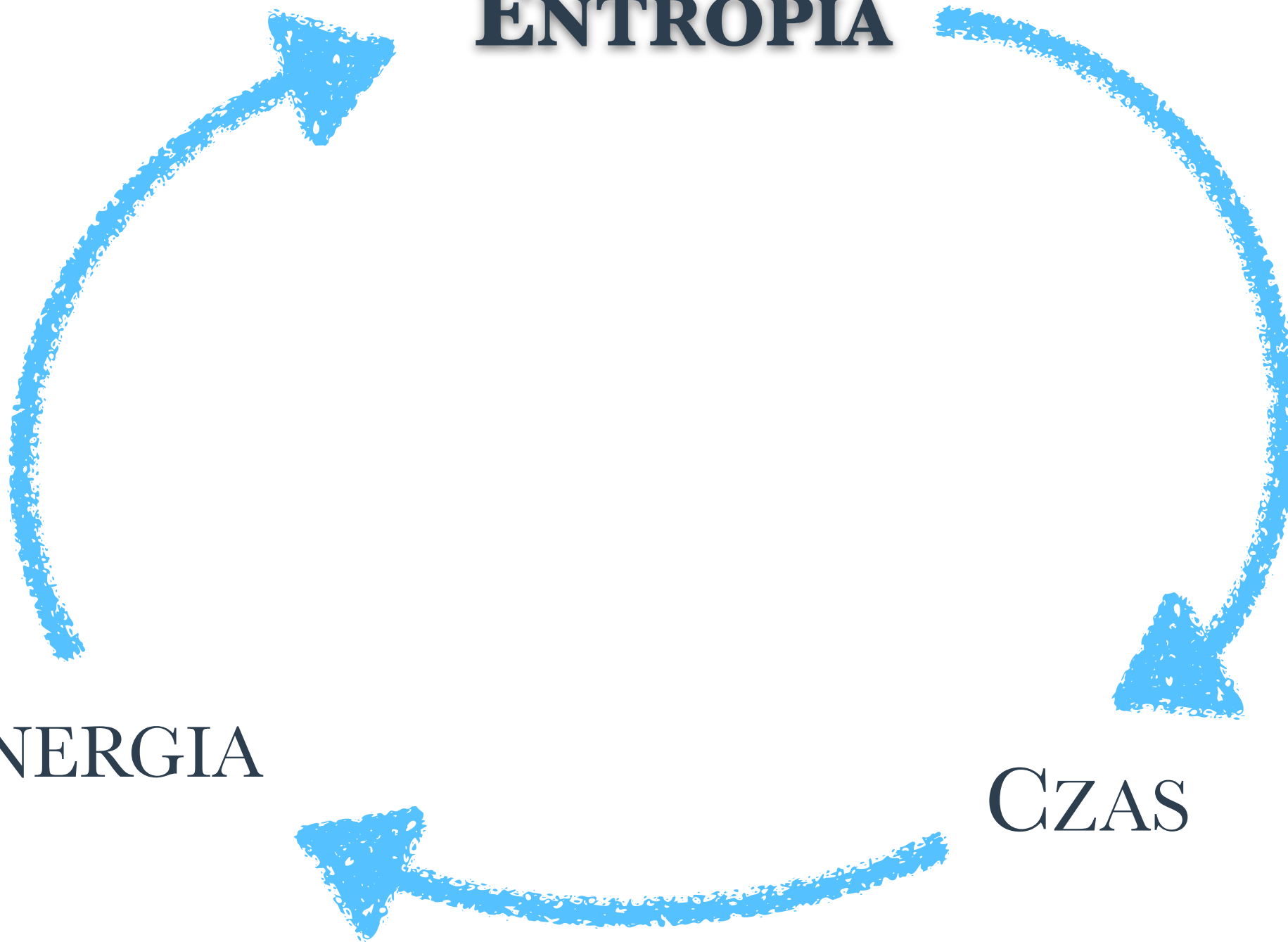


...ale się rozprasza

ENTROPIA

ENERGIA

CZAS



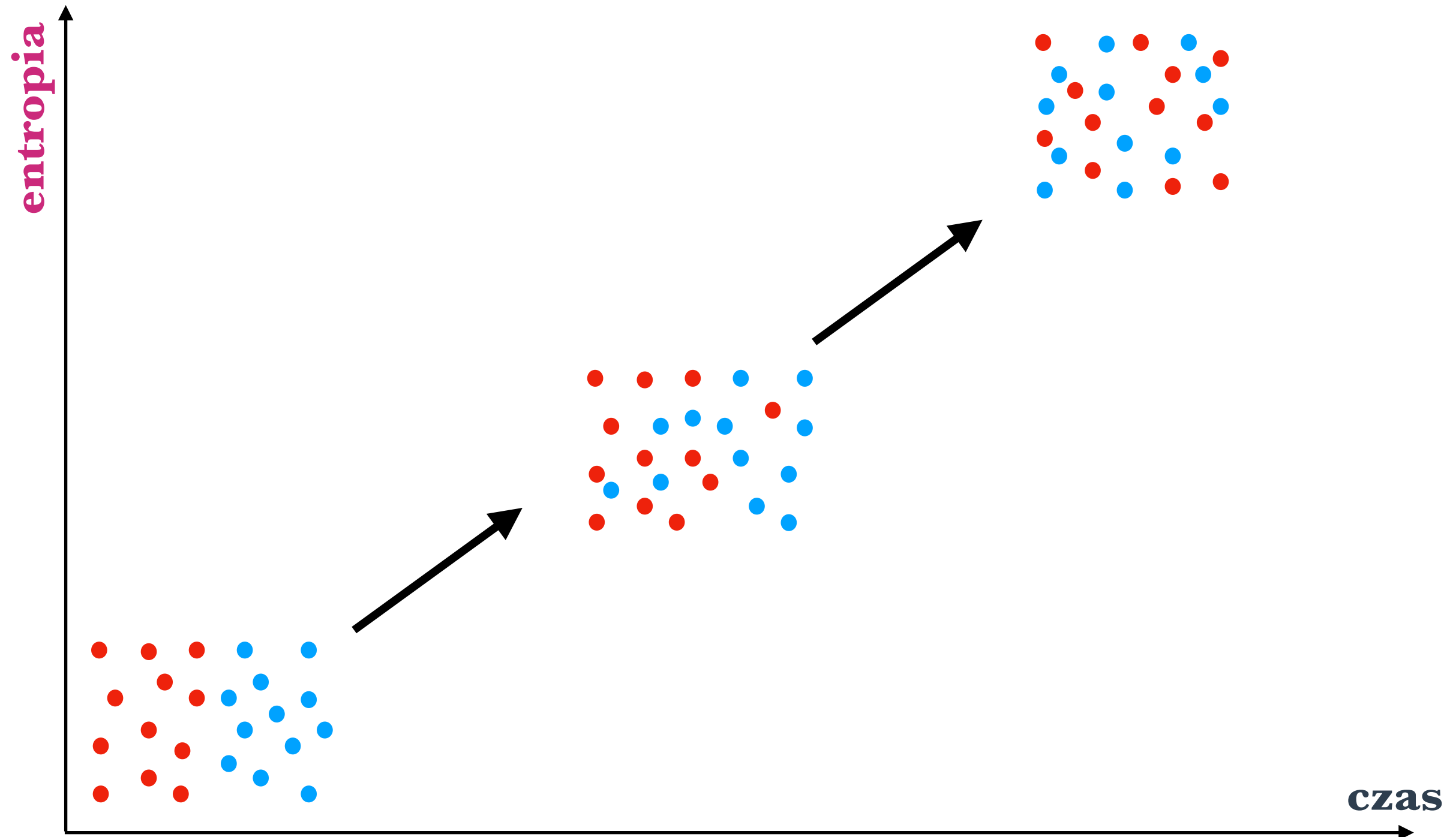


Dygresja: ile wynosi energia Wszechświata?

najprawdopodobniej... zero!

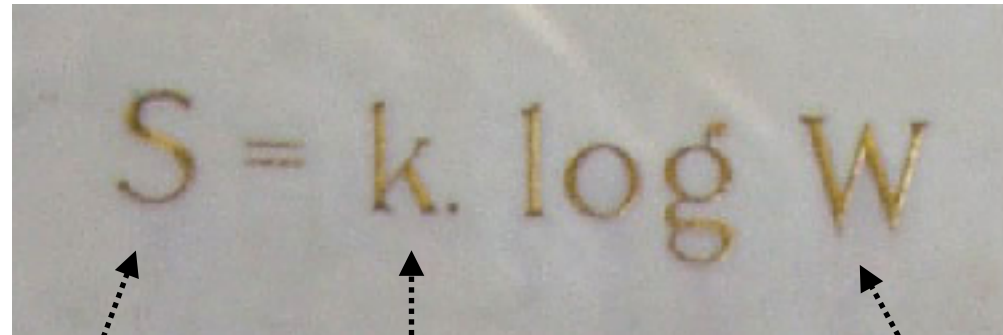
II zasada termodynamiki

$$\Delta S \geq 0$$



Entropia jako miara „nieuporządkowania”

Czym jest **Entropia**?


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

(napis na nagrobku L. Boltzmann)

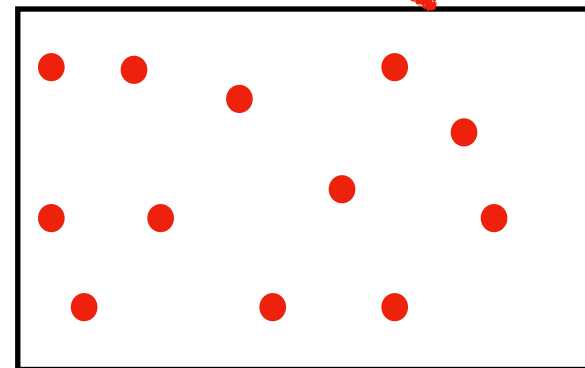
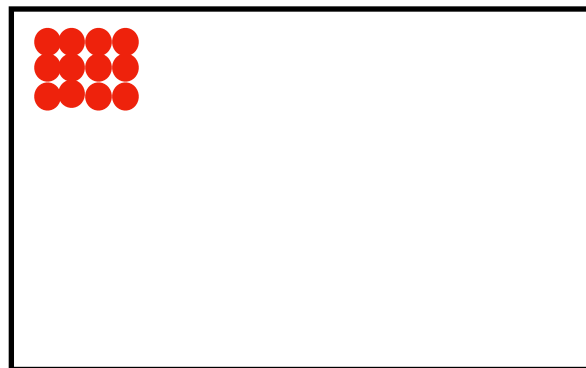
entropia

stała Boltzmann

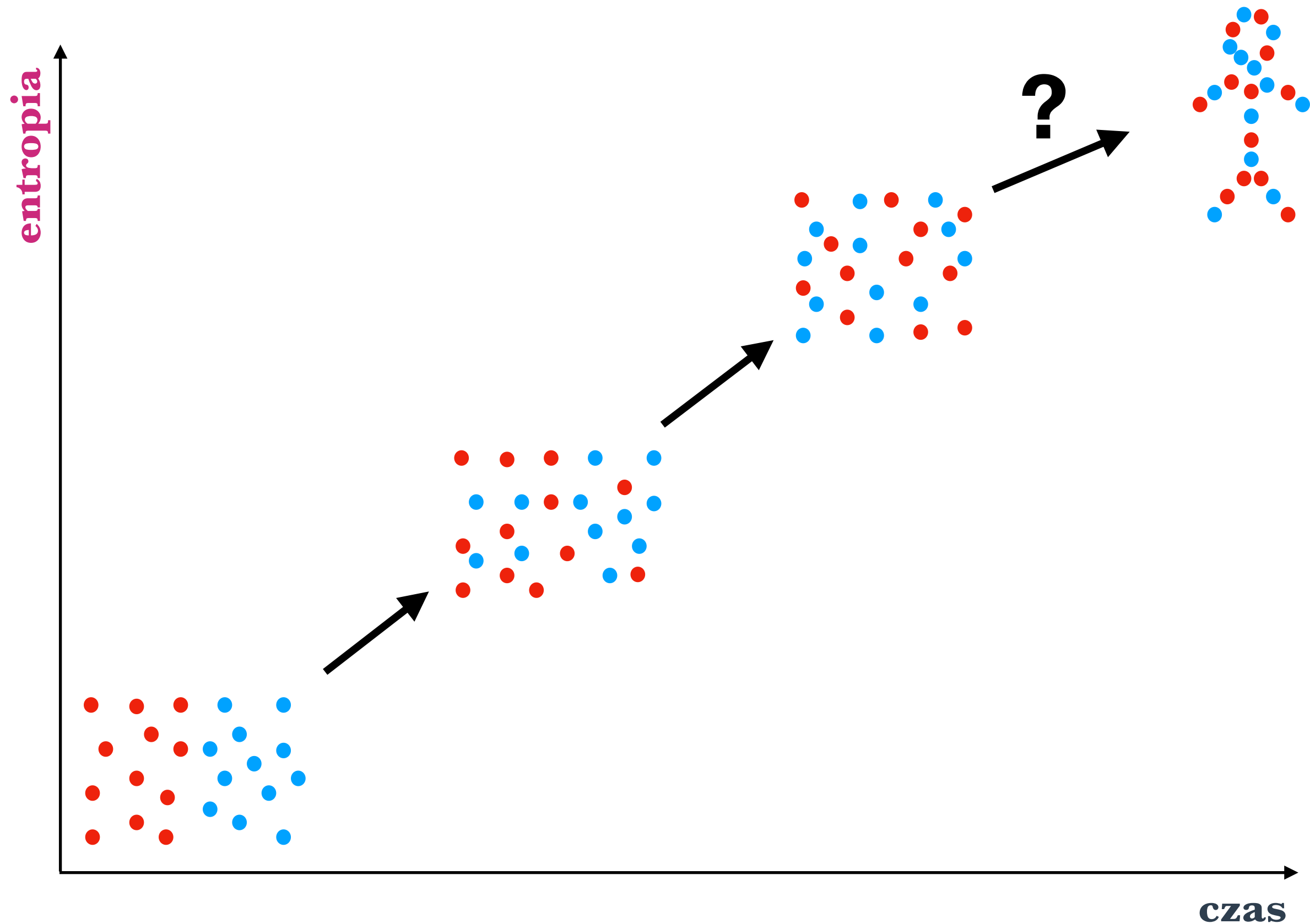
**liczba równoważnych
konfiguracji (kombinacji)**

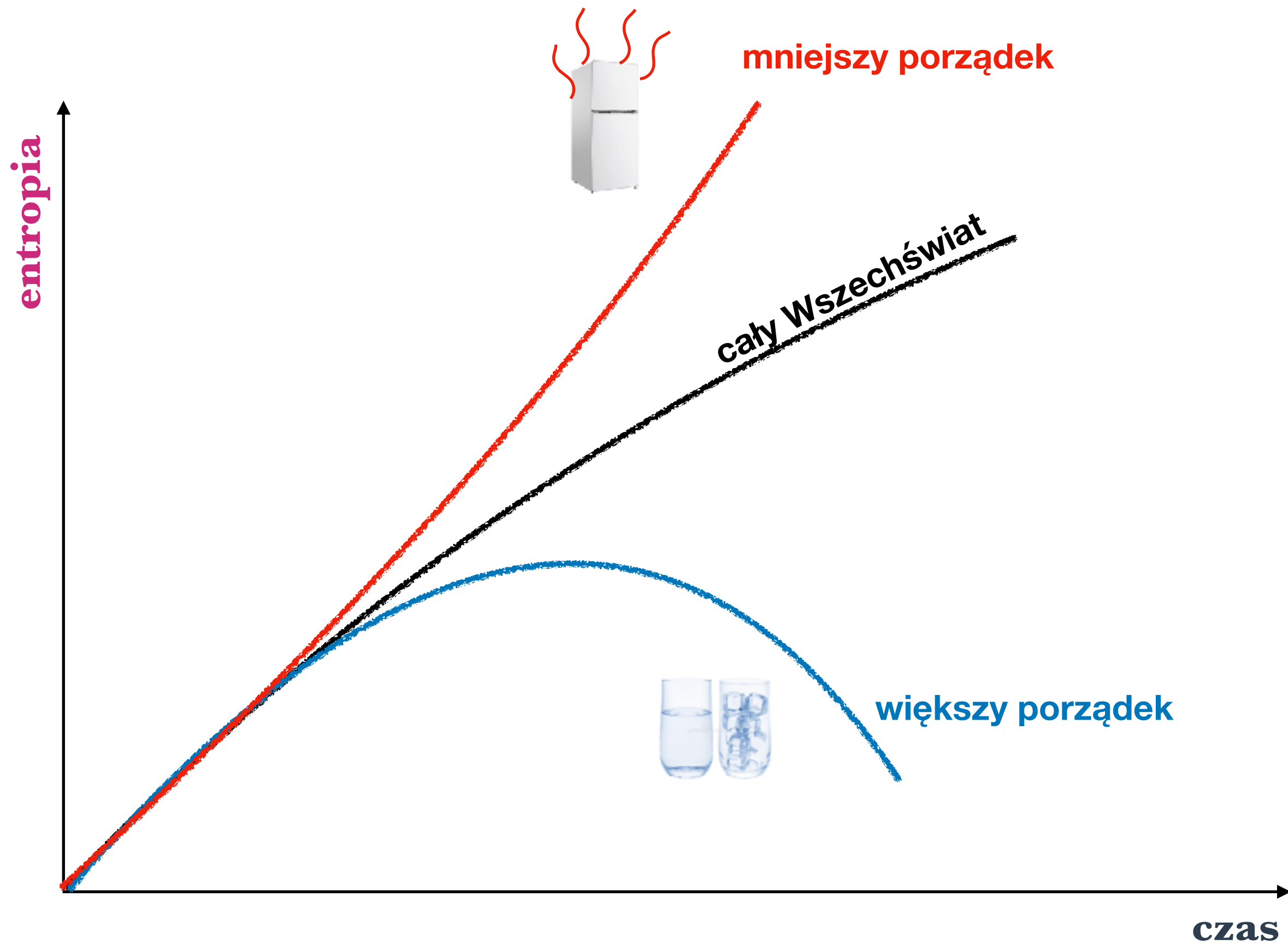
mała

duża



Entropia *a* Złożoność





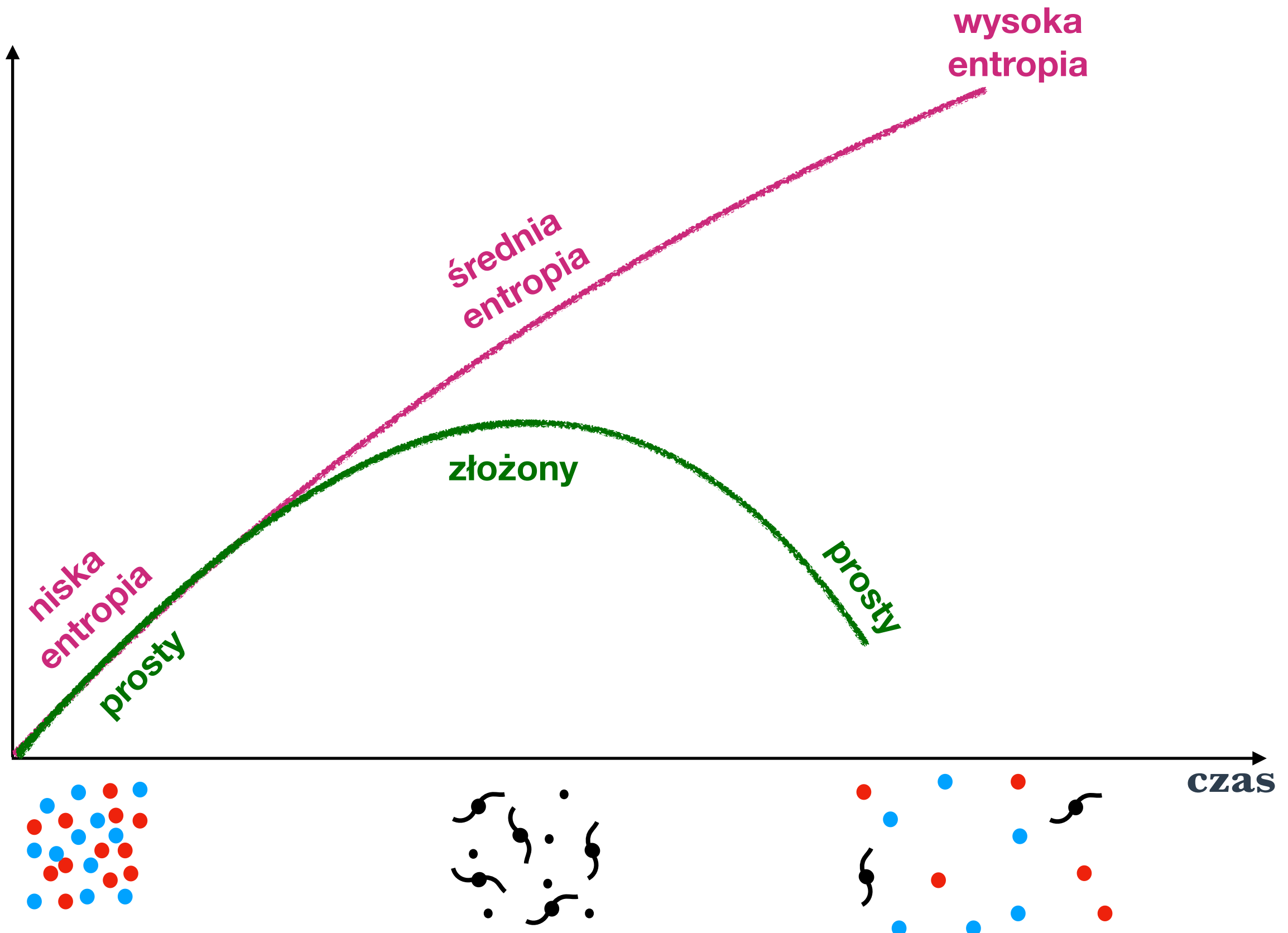
Entropia $\neq$ Złożoność




MINUTE
PHYSICS

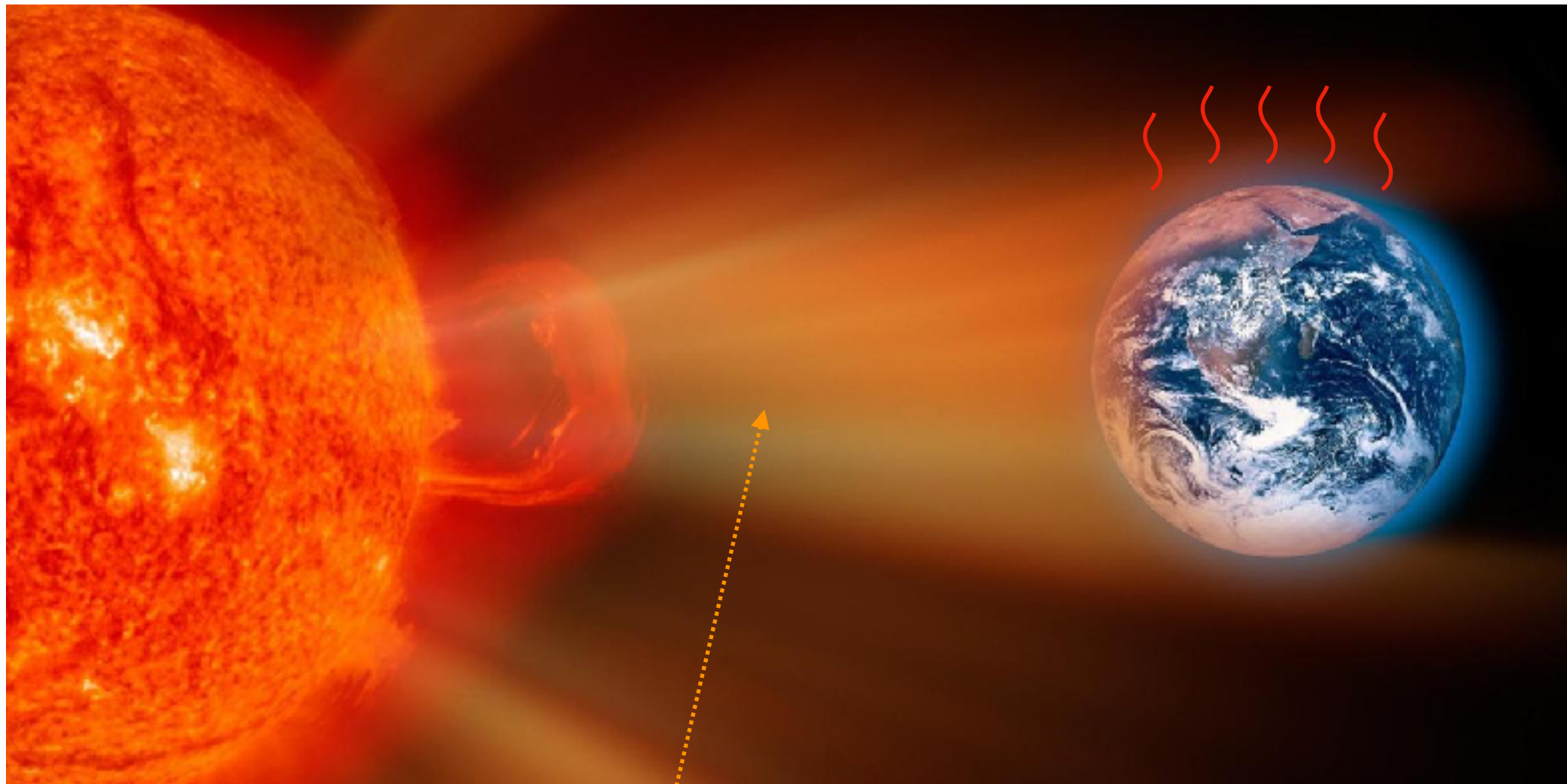
źródło: MinutePhysics
„The Big Picture” w/ Sean Carroll

Złożoność jest naturalnym etapem pośrednim ewolucji układu
inny przykład: nasz Wszechświat



Entropia jako miara użyteczności danej formy energii

~90 000 000 000 000 000 J/s

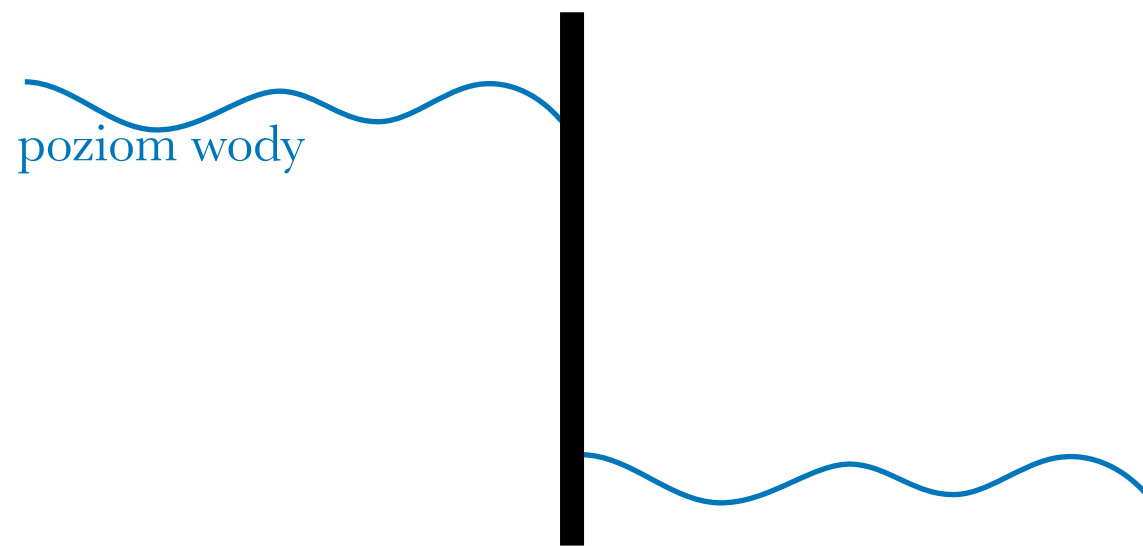


~90 000 000 000 000 000 J/s

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

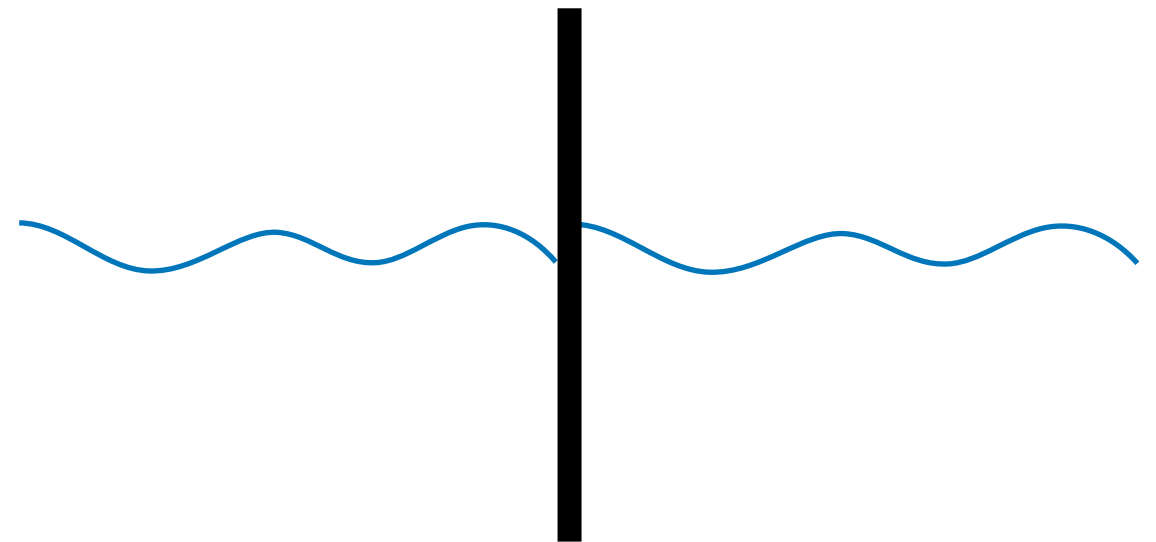
Energia może znajdować się w bardziej lub mniej **użytecznej formie**

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



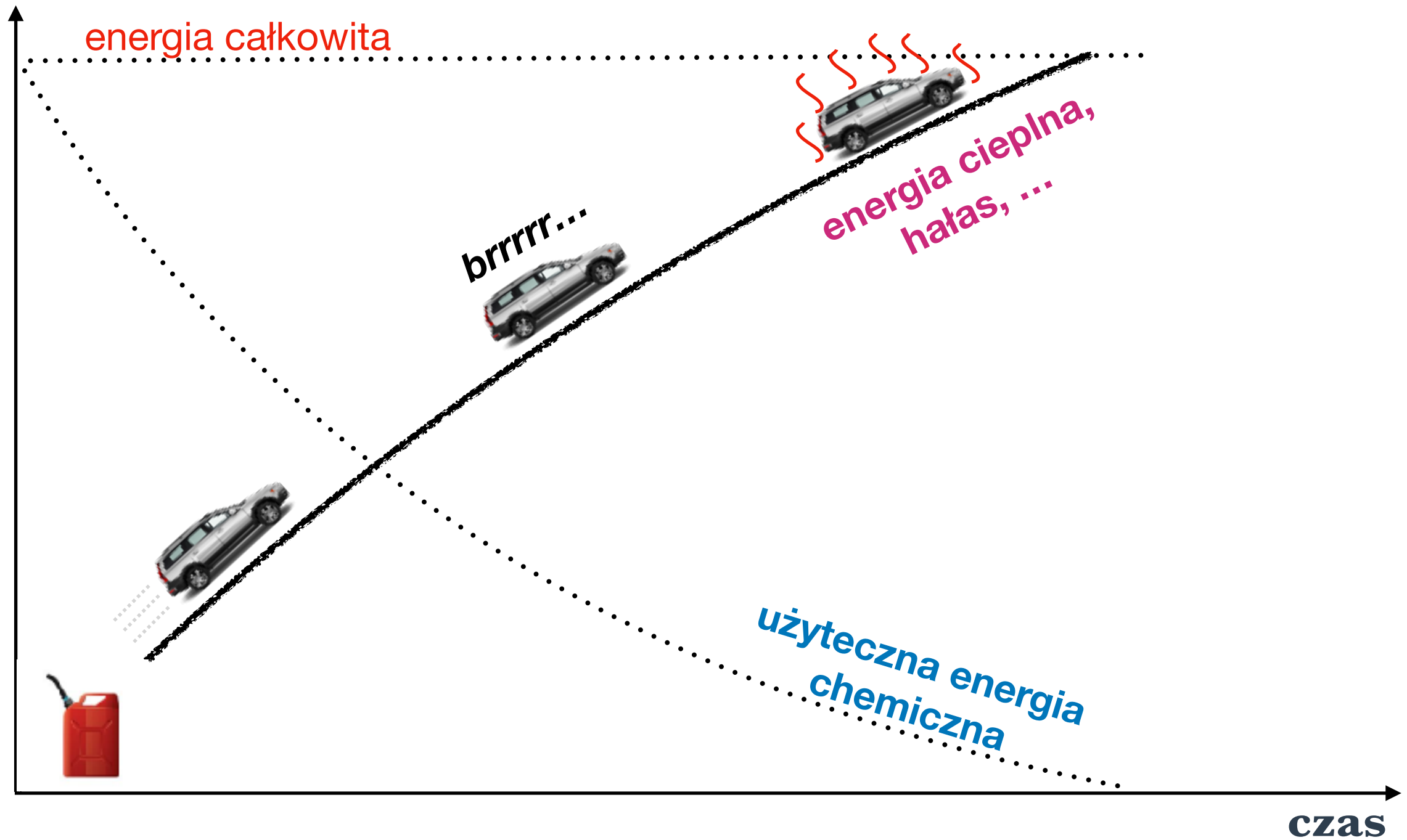
czyli daleka od równowagi,
można ją wykorzystać do
wykonania pracy

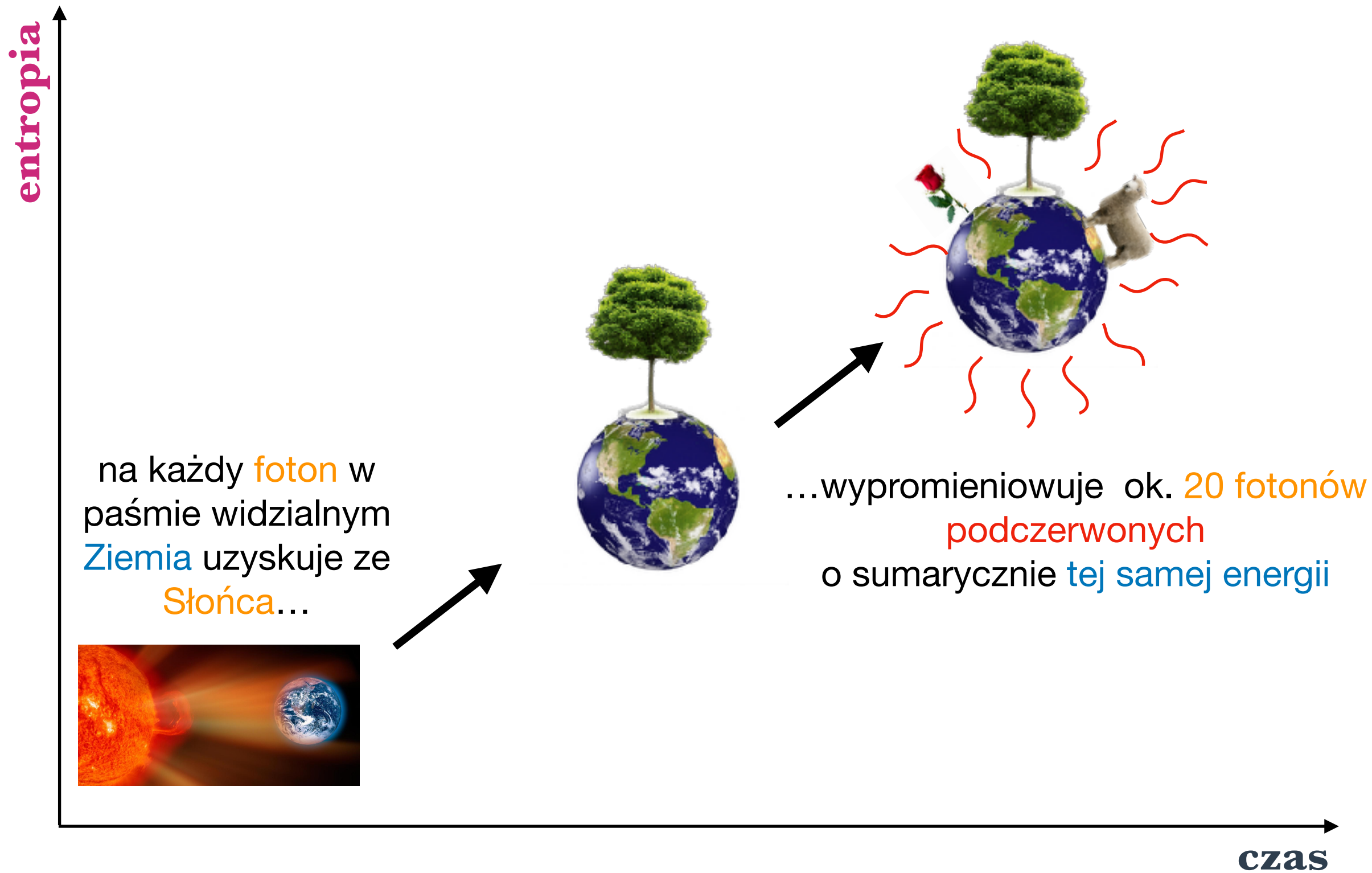
Mało użyteczna energia to energia w stanie o wysokiej entropii:



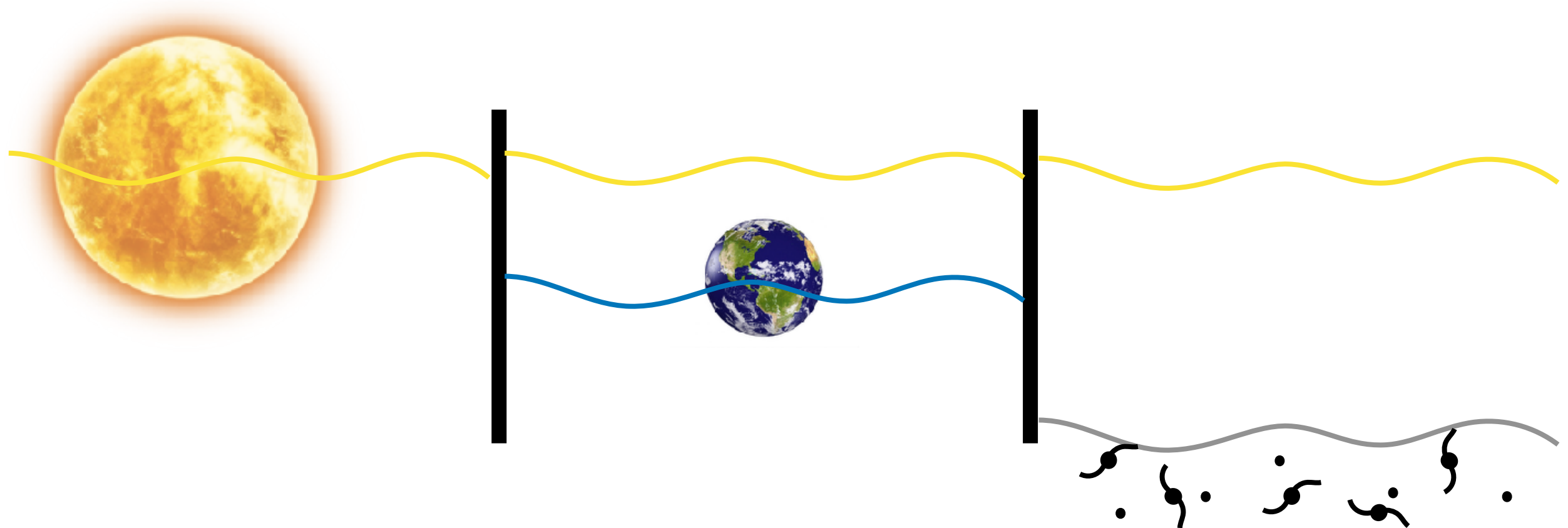
np. w stanie lub bliska stanu
równowagi

Zużywanie się **energii**, przykład:



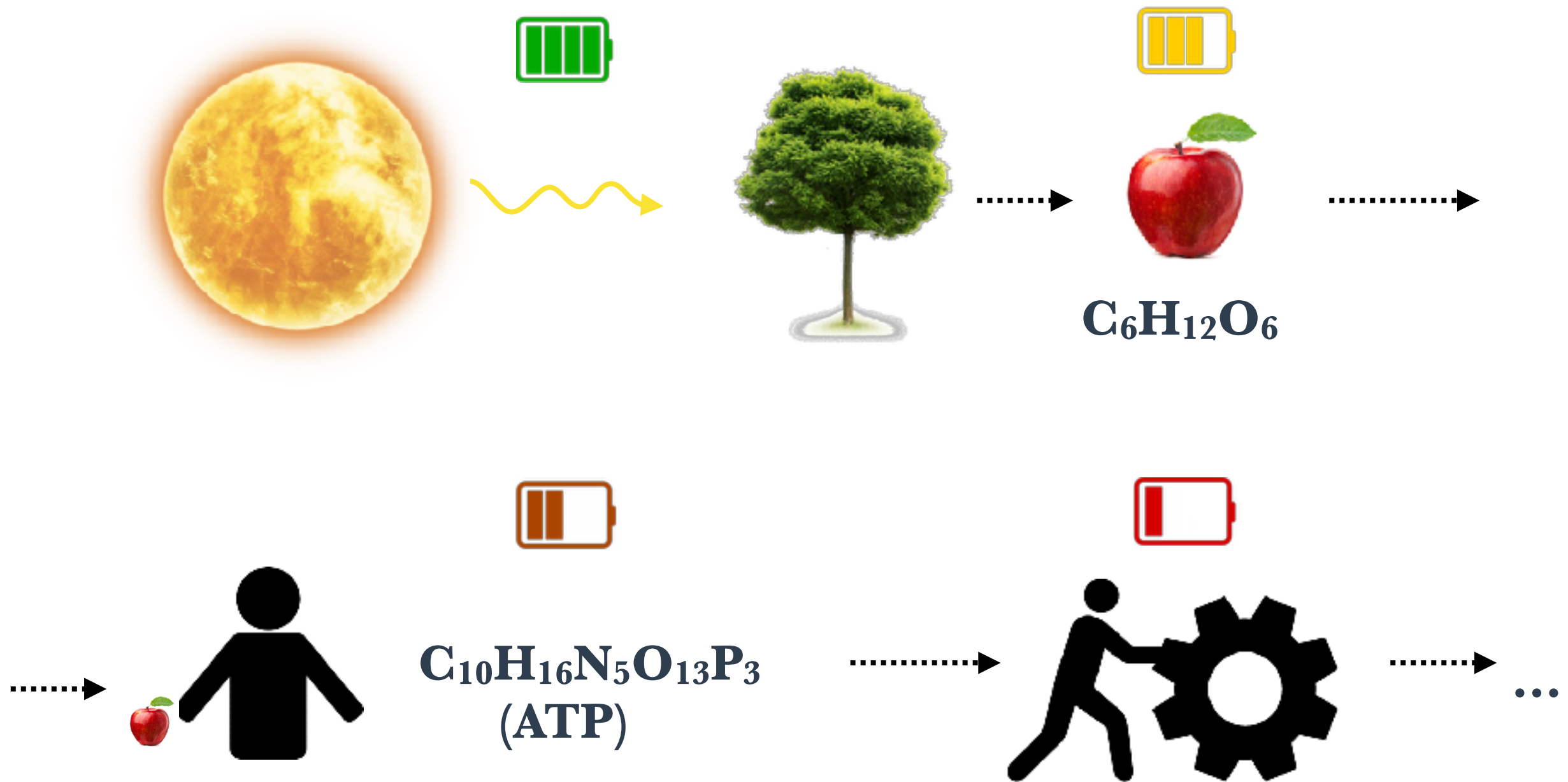


Możemy wykorzystać energię ze **Słońca** tylko dlatego, że
dookoła wszystko jest w stanie o dużo niższej energii
(daleko od równowagi termodynamicznej)

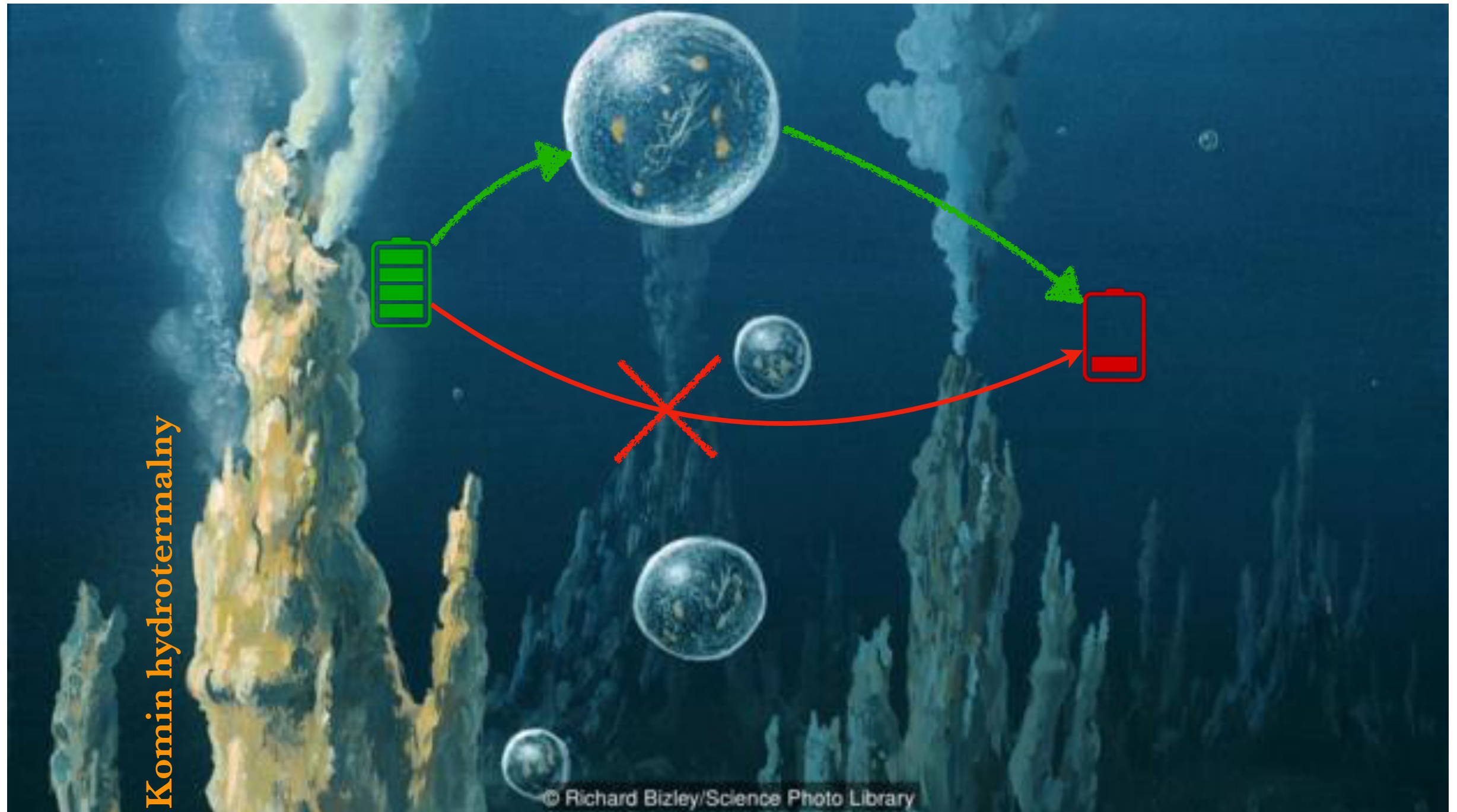


Gdyby tak nie było, **Ziemia** szybko ogrzałaby się do tej samej
temperatury co otoczenie

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



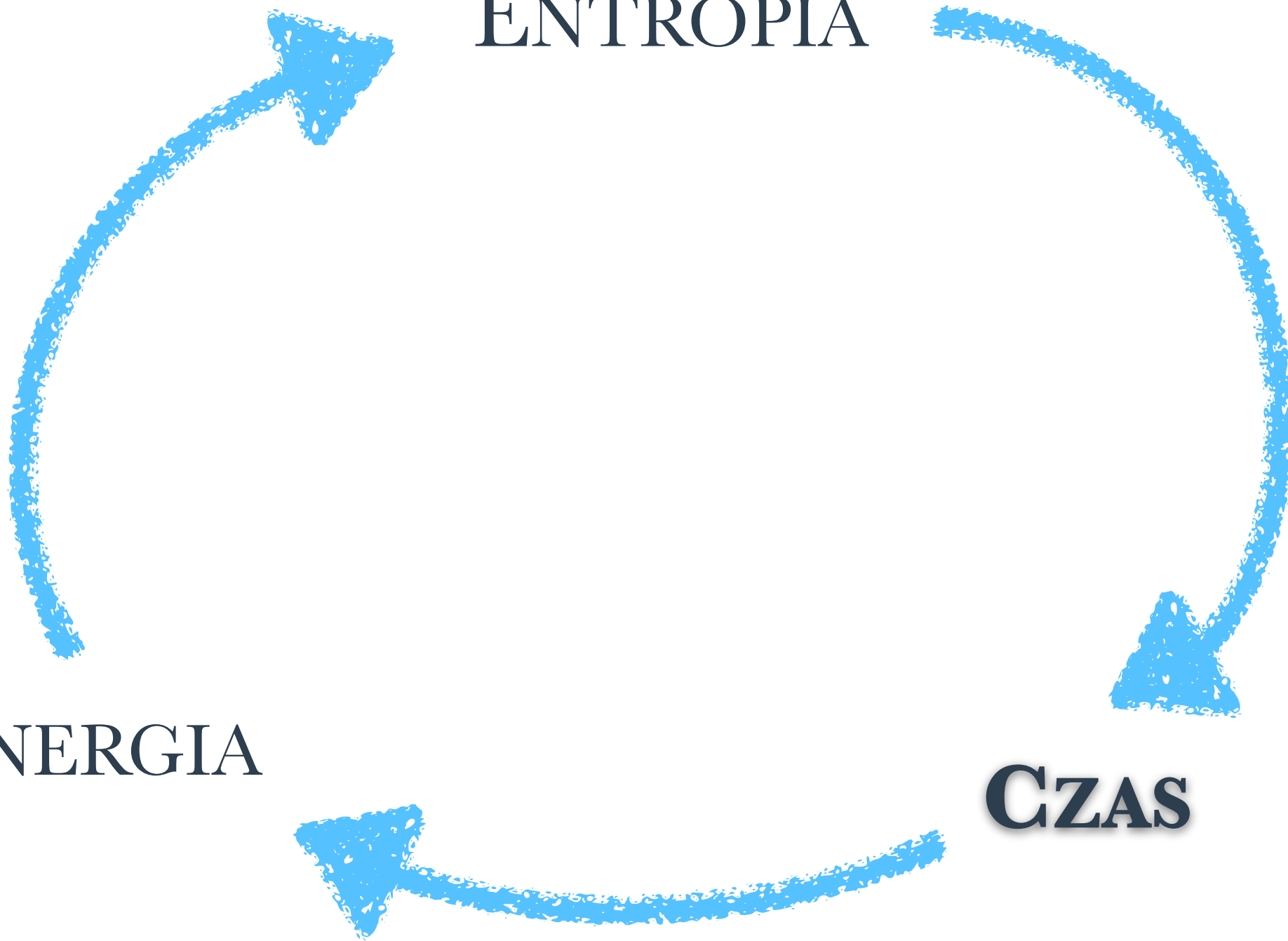
Może właśnie z tego powodu powstały pierwsze bakterie?



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, WIEM. JEŚLI PYTAJĄCEMU USIŁUJĘ
WYTŁUMACZYĆ, NIE WIEM.”

ŚW. AUGUSTYN