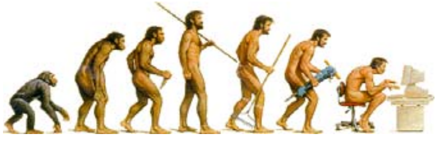
# Czy komputer może myśleć?

Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl Wydział Fizyki UW

## Czy komputer może myśleć?

a. Tw. Gödla kontra Matrix
b. Moim zdaniem



Rys. źródło: Internet



## Sprawy bieżące

1. Esej na temat przyszłości – do 12 stycznia!
2. Nowy przedmiot „**Od pomysłu do patentu - Trendy, nowe technologie i zarządzanie innowacjami**" (Jacek Szczytko, Piotr Nieżurawski)– kwalifikacje na podstawie EGZAMINU! 1100-2`TNT (2 i 3 rok FIZ), 3 ECTS



## Sprawy bieżące

•Format pliku: Imie_Nazwisko_Krotki_tytul.doc
•blendy ortograwiczne
•źródła, cytowania!
•No i PLAGIATY
•Wpisy do indeksu

**Kiedy w ogóle mówimy o plagiacie?**

Dr med. Marek Wroński rzecznik rzetelności naukowej na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym - Wtedy, kiedy autor przepisał fragment tekstu od innego autora i nie zaznaczył go znakami cytatu oraz nie powołał się na źródło cytowania. Co więcej, dosłowne przepisanie np. kilkunastu nie swoich zdań, nawet z podaniem na końcu tego fragmentu tekstu odnośnika bibliograficznego, to też plagiat! Coraz częściej plagiatorzy komponują prace z kilkunastu lub nawet kilkudziesięciu akapitów z tekstów innych autorów. To taki patchwork plagiarism, praca zszywana z łatek.

http://wyborcza.pl/1,75478,7167027,Plagiaty___wstydliwa_uniwersytecka_przypadlosc.html

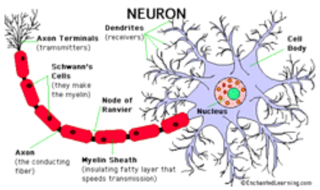
# Sprawy bieżące



# Mózg a komputer

W jaki sposób policzyć ilość operacji logicznych w mózgu?

"When will computer hardware match the human brain?" Hans Moravec, Journal of Evolution and Technology 1998. Vol. 1 http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/




**Siatkówka oka:**

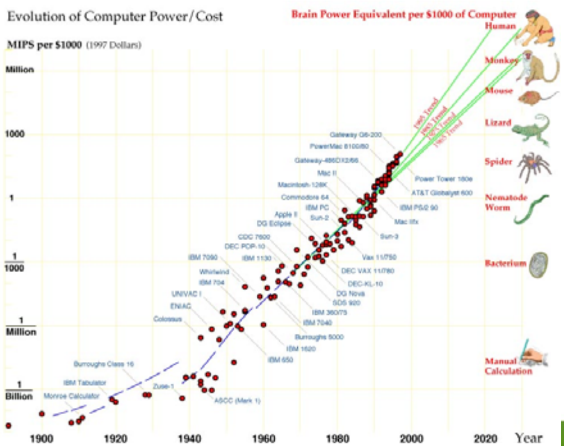
powierzchnia: 1cm$^2$, grubość: 1mm,
$10^8$ neuronów, 10 obrazów/s (rozdzielczość $10^6$, 16 mln. kolorów)
program komputerowy rozpoznający kształt, kolor, ruch – 1000 MIPS
ok. $10^6$ - $10^7$ MIPS (Million computer Instructions Per Second)

**Mózg**

objętość: 1500 cm$^3$
$10^{11}$ neuronów (ale aż $10^{15}$ połączeń)
ok.. $10^9$ - $10^{10}$ MIPS (a być może więcej)



# Mózg a komputer





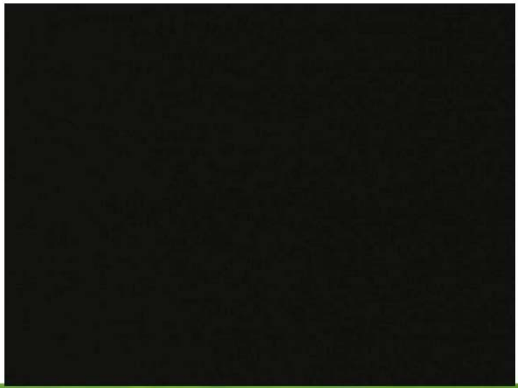

# Mózg a komputer

**Czy w ogóle można tak porównywać?**

**Hardware**
Fizyka

**Software**
Matematyka

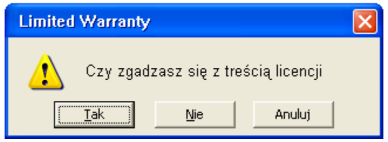
# Czy komputer może myśleć?





# GPL, Limited Warranty etc.

1. Opinia prezentowana w niniejszym wykładzie jest wyłączną opinią Jacka Szczytko®© 2014 i nie należy traktować jej, jako jakąkolwiek sugestię, zalecenie, rekomendację lub wskazówkę o jakimkolwiek charakterze do zmiany swojego zdania.
2. Jacek Szczytko®© 2014 zastrzega sobie prawo do wprowadzania zmian do opinii wspomnianej w par. 1 bez obowiązku zawiadomienia
3. Niniejszym Jacek Szczytko®© 2014 wyklucza wszelką swoją odpowiedzialność, jakiejkolwiek natury, za działania lub zaniechania działań ze strony innych słuchaczy związane lub oparte na opinii przedstawionej niniejszym powyżej w par 1. lub cokolwiek w związku z czymkolwiek, ani żadnej rzeczy która jego jest.

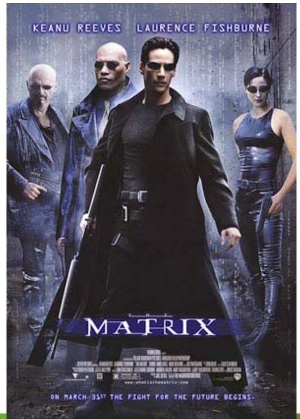





# Czy komputer może myśleć?

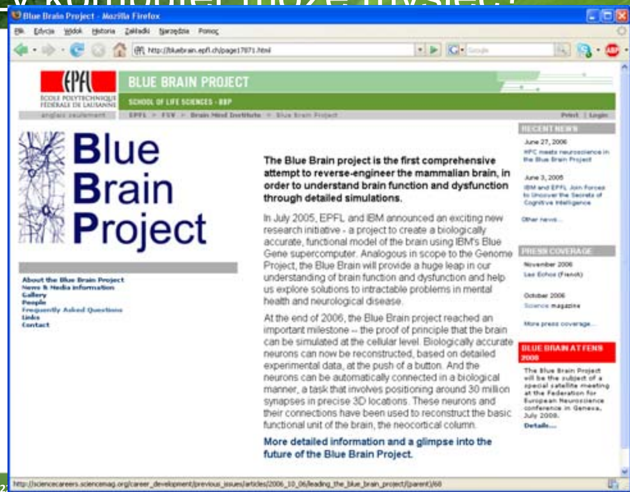
- Co to znaczy myśleć?
- Co to jest świadomość?
- Czy maszyna może myśleć tak jak człowiek?
  - albo dzięki algorytmowi
  - albo symulując układ fizyczny

*Dialog z przyroda musi byc prowadzony w jezyku matematyki, w przeciwnym razie przyroda nie odpowiada na nasze pytania.*
Michał Heller

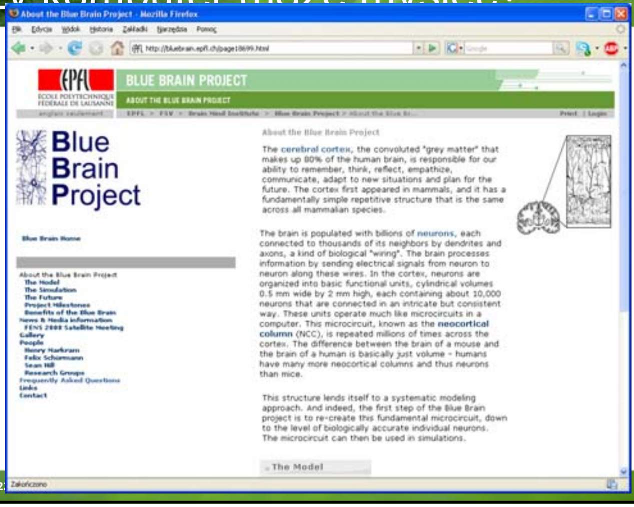





# Czy komputer może myśleć?



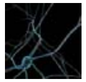
## Czy komputer może myśleć?





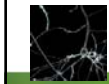

EPFLTV
VIDEO & AUDIO LIBRARY


Simulating the whole column


Ion channel visualization


Flying through the column!


Zooming out, highlighting a single neuron

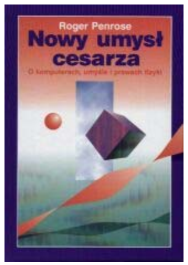

Close-up of a single neuron

Blue Brain Project

neocortical column (NCC),
10,000 neurons
8192 processors of the Blue Gene

## Czy komputer może myśleć?

- Więcej na ten temat: Roger Penrose: „Nowy umysł cesarza – o komputerach, umyśle i prawach fizyki" PWN 1995






## Czy komputer może myśleć?

- Jak myśli komputer, czyli maszyna Turinga.


**Pewniki**:
1. Podstawą działania komputera są operacje LOGICZNE prawda-fałsz (1-0)
2. Maszyna posiada algorytm-program* (zamienia dane wejściowe na wyjściowe) i pamięć
3. Program, to pewien zbiór operacji logicznych (czyli ZDANIE LOGICZNE)

**Wnioski**:
•Maszyna może tylko wykonywać operacje, które dadzą się ZAPISAĆ w języku logiki matematycznej.
•Wykonując pewien program maszyna może się zatrzymać lub nie.

Operacje, które maszyna może wykonać zatrzymując się noszą nazwę OBLICZALNYCH (ang. computability).

*Program = tzw. stany wewnętrzne

# Czy komputer może myśleć?

- Jak myśli komputer, czyli maszyna Turinga.

**Jak taka maszyna wygląda?**

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | dane |

| Numer instrukcji (stan) | Dane | Nowy stan / 0-1 / R-L-STOP |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 / 0 / R |
| | 0 | 4 / 0 / L |
| 2 | 1 | 9 / 0 / R |
| | 0 | 7 / 1 / STOP |
| 3 | 1 | 4 / 1 / L |
| | 0 | 2 / 0 / L |
| 4 | 1 | 37 / 1 / R |
| | 0 | 12 / 1 / R |
| ... | ... | ... |




# Czy komputer może myśleć?

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | dane |

| Numer instrukcji (stan) | Dane | Nowy stan / 0-1 / R-L-STOP |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 / 0 / R |
| | 0 | 4 / 0 / L |
| 2 | 1 | 9 / 0 / R |
| | 0 | 7 / 1 / STOP |
| 3 | 1 | 4 / 1 / L |
| | 0 | 2 / 0 / L |
| 4 | 1 | 37 / 1 / R |
| | 0 | 12 / 1 / R |
| ... | ... | ... |




# Czy komputer może myśleć?

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | dane |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |

| Numer instrukcji (stan) | Dane | Nowy stan / 0-1 / R-L-STOP |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 / 0 / R |
| | 0 | 4 / 0 / L |
| 2 | 1 | 9 / 0 / R |
| | 0 | 7 / 1 / STOP |
| 3 | 1 | 4 / 1 / L |
| | 0 | 2 / 0 / L |
| 4 | 1 | 37 / 1 / R |
| | 0 | 12 / 1 / R |
| ... | ... | ... |




# Czy komputer może myśleć?

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | dane |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |

| Numer instrukcji (stan) | Dane | Nowy stan / 0-1 / R-L-STOP |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 / 0 / R |
| | 0 | 4 / 0 / L |
| 2 | 1 | 9 / 0 / R |
| | 0 | 7 / 1 / STOP |
| 3 | 1 | 4 / 1 / L |
| | 0 | 2 / 0 / L |
| 4 | 1 | 37 / 1 / R |
| | 0 | 12 / 1 / R |
| ... | ... | ... |

## Czy komputer może myśleć?

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | dane |
| | | $t_1$ | | | | | | | | | | | | |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |
| | | | $t_3$ | | | | | | | | | | | |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |
| | | $t_4$ | | | | | | | | | | | | |

$$T_{1/3/0/R,0/4/0/L,1/9/0/R,\ 0/7/1/STOP,1/4/1/L,0/2/0/L,...}$$



## Czy komputer może myśleć?

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | dane |
| | | $t_1$ | | | | | | | | | | | | |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |
| | | | $t_3$ | | | | | | | | | | | |
| ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | ... | |
| | | $t_4$ | | | | | | | | | | | | |

$$T_{1/3/0/R,0/4/0/L,1/9/0/R,\ 0/7/1/STOP,1/4/1/L,0/2/0/L,...}$$

Listę instrukcji również możemy zakodować w postaci liczby.

Każda maszyna Turinga ma swój numerek! (inaczej: każdy program ma swój kod)

$T_n(m)=p$ ⟵ TO JEST KOMPUTER



## Czy komputer może myśleć?

$T_n(m)=p$



## Czy komputer może myśleć?

$T_n(m)=p$

Maszyna Turinga wykonuje OBLICZALNE operacje

zadania obliczalne, liczby obliczalne π, e, √2 itp, zbiory rekurencyjne…

A co jeśli maszyna nigdy nie zakończy rachunków?

$T_n(m)=\square$

## Czy komputer może myśleć?

$$\boldsymbol{T}_n(m)=p$$

Maszyna Turinga wykonuje OBLICZALNE operacje

zadania obliczalne, liczby obliczalne $\pi$, e, √2 itp, zbiory rekurencyjne...

A co jeśli maszyna nigdy nie zakończy rachunków?

$$\boldsymbol{T}_n(m)=\square$$

***Problem stopu***, ang. ***Halting problem****:* Czy istnieje algorytm, który moglibyśmy zastosować do WSZYSTKICH maszyn Turinga i który by pozwalał przewidzieć, że dana maszyna się zatrzyma?

$$\boldsymbol{H}(n,m)=\begin{cases} 1 \text{ dla} & \boldsymbol{T}_n(m)=p \\ 0 \text{ dla} & \boldsymbol{T}_n(m)=\square \end{cases}$$



## Czy komputer może myśleć?

$$\boldsymbol{T}_n(m)=p$$

Maszyna Turinga wykonuje OBLICZALNE operacje

zadania obliczalne, liczby obliczalne $\pi$, e, √2 itp, zbiory rekurencyjne...

A co jeśli maszyna nigdy nie zakończy rachunków?

$$\boldsymbol{T}_n(m)=\square$$

***Problem stopu***, ang. ***Halting problem****:* Czy istnieje algorytm, który moglibyśmy zastosować do WSZYSTKICH maszyn Turinga i który by pozwalał przewidzieć, że dana maszyna się zatrzyma?

$$\boldsymbol{H}(n,m)=\begin{cases} 1 \text{ dla} & \boldsymbol{T}_n(m)=p \\ 0 \text{ dla} & \boldsymbol{T}_n(m)=\square \end{cases}$$

*Entscheidungsproblem Hilberta* (1900 r. 1928 r.) – czy istnieje mechaniczna (algorytmiczna) procedura pozwalająca rozstrzygnąć wszystkie zagadnienia matematyczne należące do pewnej szerokiej, lecz dobrze zdefiniowanej klasy?



## Czy komputer może myśleć?

Odpowiedź Kurta Gödla (1931 r.) i Alana Turinga (1937) – NIE!

__Inne__: **Church** zdefiniował system logiczny wraz z twierdzeniami i nazwał go efektywną obliczalnością. **Kleen** wymyślił tzw. "ogólne twierdzenia rekursywne" i pracował w ramach przez nie określonych. **Post** miał jeszcze zupełnie inny pomysł. Można wykazać, że wszystkie te istotnie różne podejścia są równoważne, co oznacza, że możemy zająć się tylko jednym z nich. Wybierzemy najbardziej powszechną metodę - Turinga.



## Czy komputer może myśleć?

(zastosowane do maszyny Turinga)

Jeśli istniałaby uniwersalna procedura obliczenia:

$$\boldsymbol{H}(n,m)=\begin{cases} 1 \text{ dla} & \boldsymbol{T}_n(m)=p \\ 0 \text{ dla} & \boldsymbol{T}_n(m)=\square \end{cases}$$

to obliczalne byłoby także:

$$\boldsymbol{T}_n(m)\times\boldsymbol{H}(n,m)$$

a więc i także;

$$\boldsymbol{T}_n(n)\times\boldsymbol{H}(n,n)+1 \quad \text{(argument przekątniowy):}$$

A skoro jest to wyrażenie obliczalne, to znaczy, że jest to wynik obliczeń pewnej $k$-tej maszyny Turinga na $n$.

$$\boldsymbol{T}_n(n)\times\boldsymbol{H}(n,n)+1=\boldsymbol{T}_k(n)$$

Ale dla $n=k$ powyższe równanie jest SPRZECZNE!

$$\begin{cases} p\times1+1=p \\ \square\times0+1=\square \end{cases}$$

## Czy komputer może myśleć?

(zastosowane do maszyny Turinga)

Nie istnieje uniwersalna procedura, która pozwalałaby z góry rozstrzygnąć, czy dany program zakończy pracę, czy nie. Natomiast możliwa byłaby procedura

$$H'(n,m)=\begin{cases} 1 \text{ dla} & T_n(m)=p \\ 0 \text{ lub } \square \text{ dla} & T_n(m)=\square \end{cases}$$

Jeśli: $\begin{cases} \square\times\square=\square \\ \square+1=\square \end{cases}$ to wtedy dla $T_k(k)= T_k(k)\times H(k,k)+1= \square$

(bo inne wartości prowadziłyby do sprzeczności)

Algorytm jednak o tym nie może „wiedzieć”, bo gdyby „wiedział”, to $H'(k,k)=0$

Czyli dla KAŻDEGO algorytmu sprawdzającego $H'$ możemy znaleźć taką maszynę Turinga $T_k(k)$ o której MY WIEMY, że $T_k(k)=\square$, ale algorytm $H'$ tego nie będzie w stanie stwierdzić, bo nigdy się nie zatrzyma, bo $H'(k,k)=\square$!



## Twierdzenie Gödla

(ogólnie)

Najtrudniejsza częśd dowodu to pokazanie w jaki sposób można zakodować poszczególne aksjomaty i reguły wnioskowania systemu formalnego (np. algebry, geometrii euklidesowej itp.) w postaci operacji arytmetycznych.

***System formalny spójny*** (niesprzeczny wewnętrznie) to taki w którym nie da się udowodnić pewnego zdania i jego zaprzeczenia jednocześnie; inaczej mówiąc w systemie spójnym zaprzeczenie zdania prawdziwego jest zawsze fałszywe.

***System formalny zupełny*** to taki, w którym możliwe jest rozstrzygnięcie o prawdziwości dowolnego prawidłowo zapisanego zdania tego systemu.

Wikipedia



## Twierdzenie Gödla

(ogólnie)

***Twierdzenie Gödla o niezupełności*** stwierdza, że dowolny system formalny zawierający w sobie aksjomaty arytmetyki liczb naturalnych, jest albo zupełny albo spójny i nigdy nie posiada obu tych cech jednocześnie. Innymi słowy, jeśli system jest niesprzeczny to istnieją zdania których prawdziwości nie da się dowieść za pomocą aksjomatów i twierdzeń rozważanego systemu formalnego.

***II twierdzenie Gödla o niedowodliwości spójnosci*** to konsekwencja wcześniejszego twierdzenia Gödla: Głosi ono, że nie da się dowieść spójności (niesprzeczności) żadnego systemu formalnego zawierającego arytmetykę liczb naturalnych w ramach samego tego systemu. Aby taki dowód przeprowadzić niezbędny jest system wyższego rzędu, którego spójności w ramach jego samego również nie można dowieść i tak ad. infinituum.

Wikipedia



## Twierdzenie Gödla

(przykład)

3. W dalszych wywodach używam małych liter na oznaczenie liczb naturalnych, a dużych na oznaczenie skończonych zbiorów takich liczb. Niech $m \to [n,k,r]$ oznacza stwierdzenie: „Jeśli $X$ jest dowolnym $m$-elementowym zbiorem liczb naturalnych, którego $k$-elementowe podzbiory zostały rozdzielone do $r$ urn, to istnieje „duży" $n$-elementowy podzbiór $Y$ zbioru $X$ taki, że wszystkie $k$-elementowe podzbiory zbioru $Y$ trafiają do tej samej urny." Określenie „duży" oznacza, że zbiór $Y$ ma więcej elementów niż liczba naturalna będąca jego najmniejszym elementem. Rozważmy następujące zdanie: „Dla dowolnych $k, r, n$ istnieje takie $m_0$, że dla wszystkich $m$ większych od $m_0$ stwierdzenie $m \to [n,k,r]$ jest zawsze prawdziwe". J. Paris i L. Harrington (1977) wykazali, że to zdanie jest równoważne ze zdaniem typu Gödla dla standardowych aksjomatów arytmetyki (Giuseppe Peano). Zdania tego nie można udowodnić opierając się na tych aksjomatach, a jednak wyraża ono „oczywistą prawdę" na ich temat, mianowicie, że zdania, które można wydedukować z aksjomatów, są prawdziwe.

Roger Penrose, „Nowy umysł cesarza”, str. 171

# No i co z tego?

Obydwa twierdzenia Gödla można uogólnić na dowolne systemy formalne zawierające skończoną lub rekurencyjnie przeliczalną liczbę aksjomatów o ile tylko arytmetyka liczb naturalnych wchodzi w ich skład lub zawierają one skończoną liczbę aksjomatów i umożliwiaja przeprowadzenie tzw. arytmetyzacji twierdzeń.

Maszyna Turinga (KAŻDY KOMPUTER) jest właśnie takim systemem formalnym.



# No i co z tego?

Obydwa twierdzenia Gödla można uogólnić na dowolne systemy formalne zawierające skończoną lub rekurencyjnie przeliczalną liczbę aksjomatów o ile tylko arytmetyka liczb naturalnych wchodzi w ich skład lub zawierają one skończoną liczbę aksjomatów i umożliwiaja przeprowadzenie tzw. arytmetyzacji twierdzeń.

Maszyna Turinga (KAŻDY KOMPUTER) jest właśnie takim systemem formalnym.

## Czy maszyna może myśleć tak jak człowiek?

Wydaje się, że umysł ludzki nie działa według algorytmu matematycznego, w każdym razie nie algorytmu opartego jedynie na liczbach naturalnych (lub wymiernych, przeliczalnych, rekurencyjnych etc.).

O ile istnieją algorytmy dowodzenia (algebry, teorie, geometrie), o tyle nie istnieje algorytm znajdowania dowodów (inaczej by można było zbudować uniwersalną maszynę $H(n,m)$).



# No i co z tego?

•Teorie fizyczne (mech. klasyczna, mech. kwantowa) są *deterministyczne*, ale nie oznacza to wcale, że zawsze są *obliczalne* (np. zagadnienie 3ch ciał lub rzeczywiste komputery!).

•Warunki początkowe fizycznego (realnego) układu ciał nie da się określić jedynie przez liczby wymierne (niewymierne algebraiczne, rekurencyjne itp. - przeliczalne)

•Pomiar w mechanice kwantowej NIE JEST deterministyczny (redukcja paczki falowej!)

=> Na maszynie Turinga nie da się zasymulować rzeczywistości fizycznej z dowolną dokładnością.

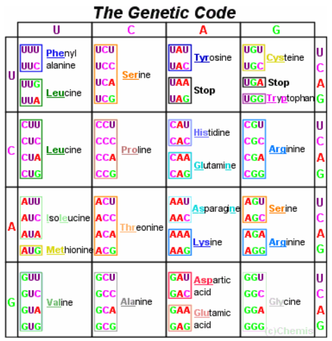
(chociaż nie pokazaliśmy, że ludzkie MYŚLENIE faktycznie wymaga któregoś z powyższych warunków)



# Moim zdaniem

Obecne maszyny Turinga (a więc DOWOLNE komputery) mają zatem dwa problemy jeśli „chciałyby" myśleć po ludzku

1.Hardware'owy – z fizyką
2.Software'owy – z tw. Gödla



# Moim zdaniem

Obecne maszyny Turinga (a więc DOWOLNE komputery) mają zatem dwa problemy jeśli „chciałyby" myśleć po ludzku

1.Hardware'owy – z fizyką
2.Software'owy – z tw. Gödla

<u>**Science-fiction**</u> (?)

Komputery oparte na algebrze nie poradzą sobie z ograniczeniami teoretycznymi (Turing, Gödel), zawsze będą mogły wykonywać tylko operacje obliczalne.

Potrzebne byłyby zupełnie nowe architektury oparte na **NIEOBLICZALNYCH** zasadach (algorytmy uczące się <u>w interakcji z otoczeniem</u>? komputery kwantowe?)



# Dziękuję Państwu za uwagę!


Rys. źródło: Internet