

Karol Życzkowski

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Kraków, 1 października 2024

Co to jest **fizyka**?

Kopnij piłkę



Co to jest **fizyka**?

Kopnij piłkę



**potoczy się,
a później się zatrzyma**

Co to jest **fizyka**?

Kopnij piłkę



**potoczy się,
a później się zatrzyma**

**Kup lody
i poczekaj chwilę**



Co to jest **fizyka**?

Kopnij piłkę



**potoczy się,
a później się zatrzyma**

**Kup lody
i poczekaj chwilę**



roztopią się...

Co to jest **fizyka**?

Kopnij piłkę



potoczy się,
a później się zatrzyma

1. **Dlaczego tak się stanie?**
2. **Ilościowa analiza zjawisk:**

Kup lody i poczekaj chwilę



roztopią się...

- Jak daleko piłka polecą ?
- Jak szybko lody się roztopią?

Co to jest **fizyka**?

**Podnieś kostkę
i upuść ją**



Co to jest **fizyka**?

**Podnieś kostkę
i upuść ją**



Kostka spadnie

1. Dlaczego spadnie? Ziemia ją przyciąga!

Co to jest **fizyka**?

**Podnieś kostkę
i upuść ją**



Kostka spadnie

- 1. Dlaczego spadnie? Ziemia ją przyciąga!**
- 2. Ilościowa analiza zjawisk: Jak szybko spadnie?**

Co to jest **fizyka**?

Podnieś kostkę
i upuść ją



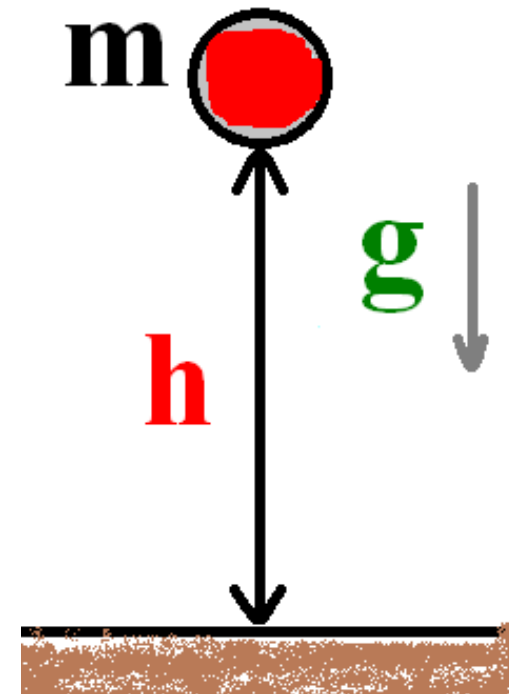
Kostka spadnie !

1. **Dlaczego spadnie?** Ziemia ją przyciąga!
2. **Ilościowa analiza zjawisk: Jak szybko spadnie?**

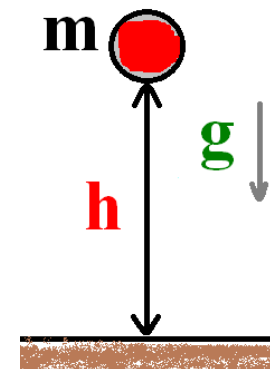
Czas t spadania z wysokości h : $t = \sqrt{2h/g}$

fizyka Newtona:

$$F=mg$$



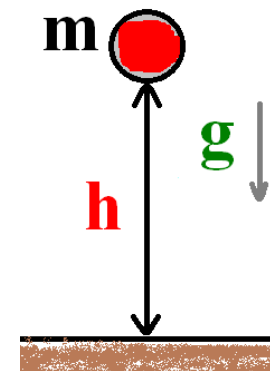
Co to jest **fizyka**?



1. **Czy mała kostka spadnie tak samo?**
2. **A bardzo mała?**



Co to jest **fizyka**?



1. **Czy mała kostka spadnie tak samo?**
2. **A bardzo mała?**

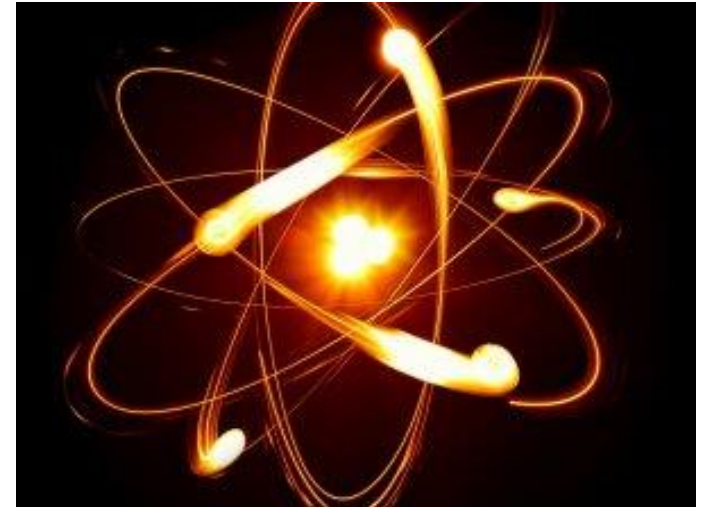


Ziemia przyciąga ją tak samo, lecz pomijany opór powietrza zaczyna grać większą rolę

fizyka to sztuka dokonywania stosownych **przybliżeń**

Co to jest **fizyka kwantowa**?

To fizyka dostosowana
do opisu **małych** obiektów
w skali atomu...



Jaka to skala?

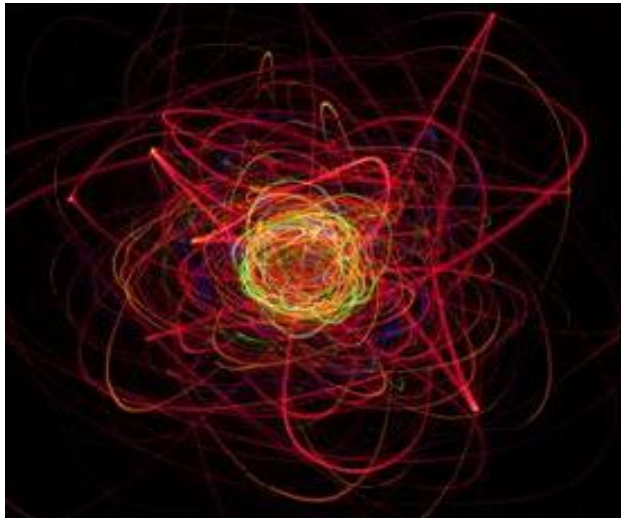
średnica atomu wodoru $\approx 1.0 \cdot 10^{-10}$ m

Porównanie:

wiek wszechświata to około 14 mld lat = $1,4 \cdot 10^{10}$

1 atom ma się do **1 metra** (prawie) **tak**,
jak **1 rok** do wieku **wszechświata**!

w skali mikro nie można dokładnie określić
położenia i pędu cząstki



Mechanika kwantowa
jest nauką
probabilistyczną :

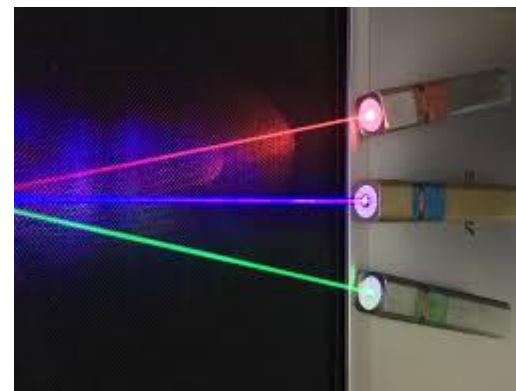
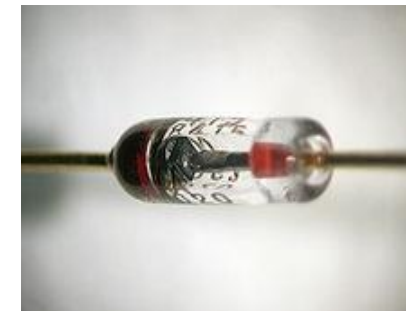
Odpowiada na pytanie:

Z jakim prawdopodobieństwem
cząstkę można zarejestrować

Probabilistyczna teoria kwantowa:

- a) poprawnie opisuje **wszystkie** zjawiska i doświadczenia mikroświata,
- b) jest *piękna* i spójna matematycznie
- c) jest matką **wynalazków XX wieku**:
 - diody, tranzystora, układów scalonych
 - elektroniki, komputerów,
 - świateł LED (*light-emmitting diode*)
 - kryształów ciekłych, lasera
 - nośników danych,
 - telefonów komórkowych

**itd.,
itp...**



Stan kwantowy $|\psi\rangle$:

obiekt **matematyczny** pozwalający wyliczyć **prawdopodobieństwo** uzyskanych wyników pomiarów

Cząstka: funkcja falowa $|\psi(x)\rangle$

bit (*binary unit*) = $\{0,1\}$

Qubit : (**q**uantum **b**it) =

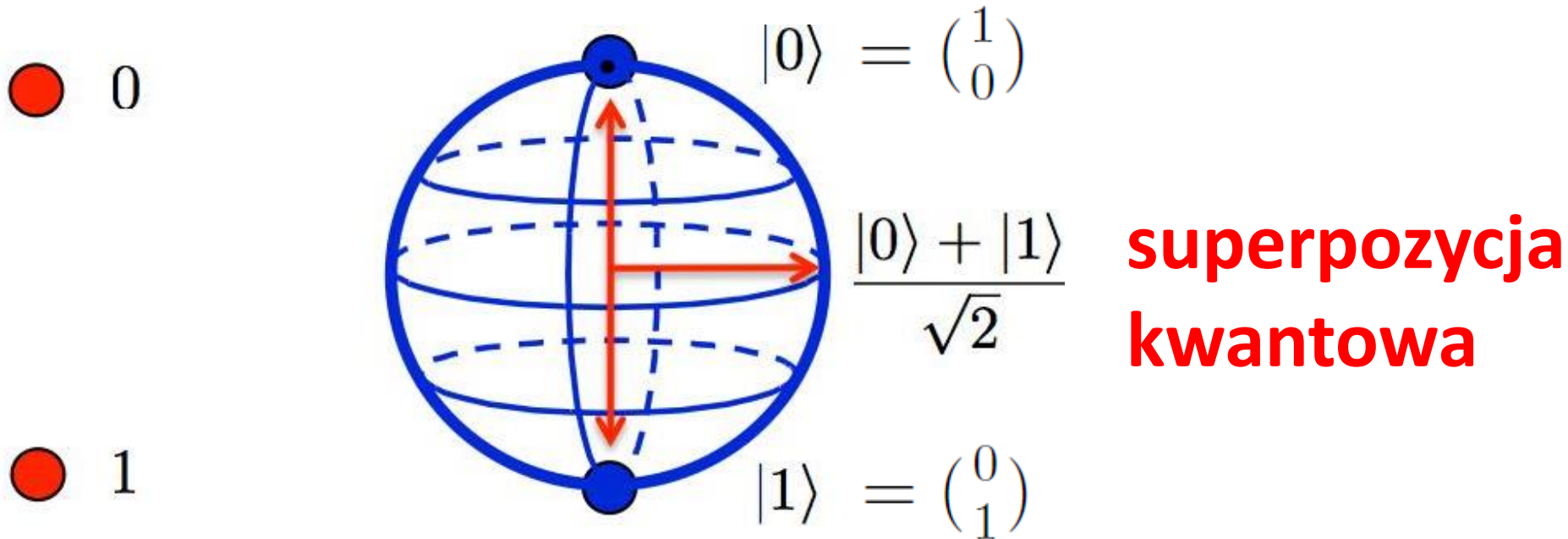
(kwantowy układ o 2 rozróżnialnych stanach)

wektor $|\psi\rangle = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix} = c_0|0\rangle + c_1|1\rangle$

Składowe wektora
określają
prawdopodobieństwo
uzyskania danego
wyniku pomiaru

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix}$$

$$p_0 = |c_0|^2, p_1 = |c_1|^2$$



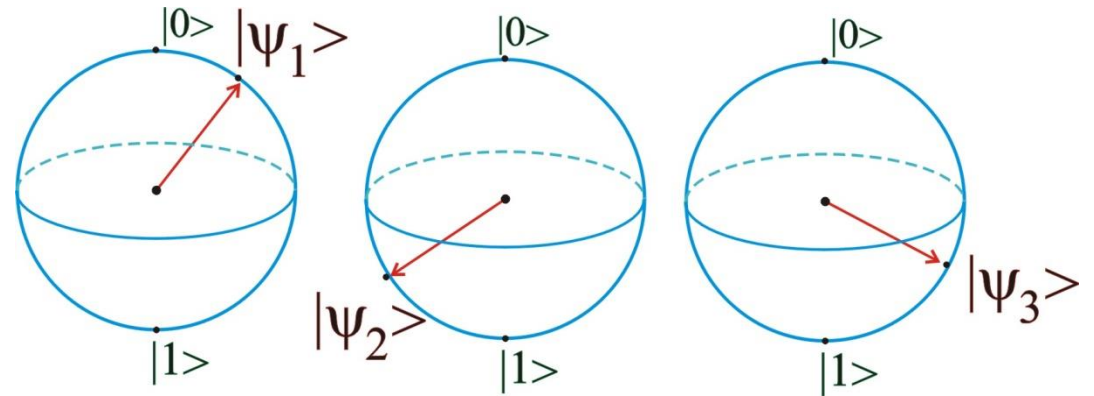
stan **kubitu** = punkt na **sferze Blocha**

Algorytmy i obliczenia **klasyczne**:

operacje na bitach: $\{0,1\}$ $b_1, b_2, b_3 \dots$

Algorytmy i obliczenia **kwantowe**:

operacje na **kubitach**: $|\psi_1\rangle, |\psi_2\rangle, |\psi_3\rangle \dots$



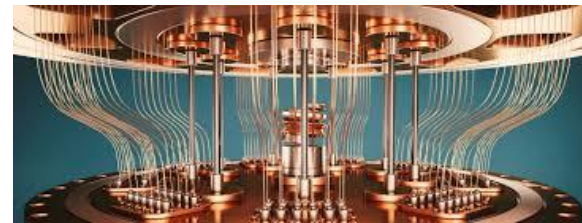
Zalety:

- a) większa **przestrzeń** stanów
- b) większy zbiór **dostępnych operacji**

Wady: **dekoherencja** = zanik informacji
w wyniku oddziaływania z otoczeniem



Komputer klasyczny:
działa !

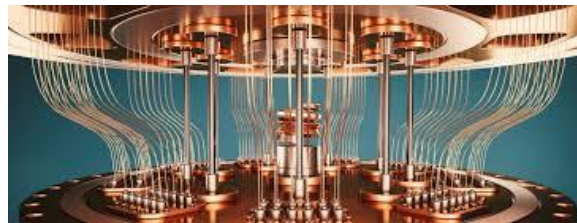


(prototyp)

Komputer kwantowy
jeszcze nie działa !)



**Komputer klasyczny:
działa !**



(prototyp)

**Komputer kwantowy
jeszcze nie działa !)**



Teatr Lalek Bajka, Przysietnica



Teatr im. Juliusza Słowackiego, Kraków

porównanie:

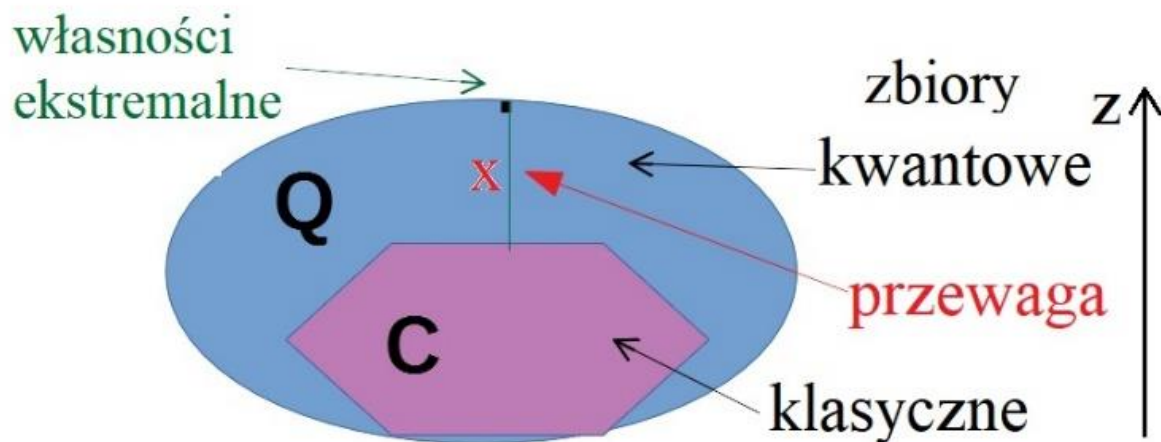
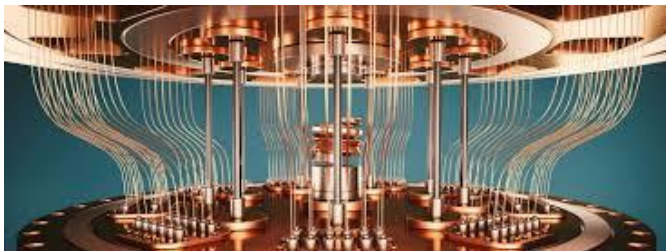
teatr lalek

i

teatr aktorów

obecnie działają jedynie **prototypy** komputera kwantowego wykorzystujące kilkanaście kubitów.

Przy liczbie operacji rzędu 10 na wyjściu otrzymujemy wyłącznie szum...



C - zbiór klasycznych stanów (operacji, algorytmów i technologii) jest zawarty w **zbiorze Q** obiektów kwantowych.

oś z wyznacza wybraną funkcję celu, a odległość x ilustruje **przewagę kwantową**

Kiedy się doczekamy **obliczeniowej przewagi kwantowej**?
To się dopiero okaże...

Układy dwucząstkowe: {A,B}

a) Stan **separowalny** (produktowy)

$$|\psi_{\text{sep}}\rangle = |\psi_A, \psi_B\rangle = |\psi_A\rangle \otimes |\psi_B\rangle$$

b) Stan **splątany** (nieproduktowy)

$$|\psi_{\text{ent}}\rangle \neq |\psi_A, \psi_B\rangle = |\psi_A\rangle \otimes |\psi_B\rangle$$

Superpozycja 2 stanów dwucząstkowych - stan **Bella**

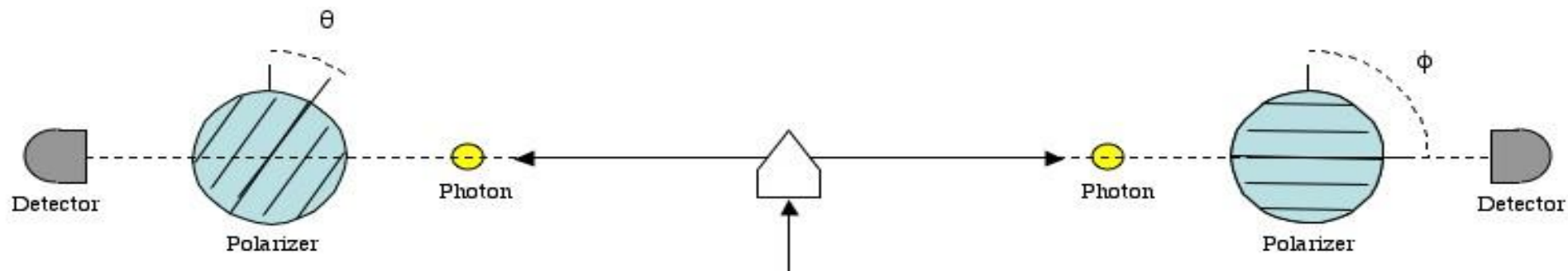


$$|\psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$



splątany stan **Bella** wykazuje
maksymalne kwantowe korelacje pomiędzy **podukładami**

Splątanie kwantowe: korelacje pomiędzy wynikami 2 detektorów



$$|\psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

Analogia do kota Schrödingera

$$|\uparrow\rangle |\text{cat sitting}\rangle + |\downarrow\rangle |\text{cat dead}\rangle$$

Diagram illustrating the analogy to Schrödinger's Cat. The equation shows the superposition of two states: $|\uparrow\rangle$ (up arrow) and $|\downarrow\rangle$ (down arrow). The corresponding cat states are shown as silhouettes: a sitting cat for $|\uparrow\rangle$ and a dead cat for $|\downarrow\rangle$.



Nie istnieje taki stan
splątany 4 monet (4 kubitów),
że wybierając dowolne dwie monety
uzyskamy pełne korelacje wyników
z parą pozostałych monet,
(Higuchi, Sudbery 2001),



Fot. Paulina Rajchel-Mieldzić

lecz istnieje analogiczny
stan **splątany 4 kości**
(układów o 6 poziomach)
Rather, Burchardt, Bruzda,
Rajchel-Mieldzić,
Lakshminarayan, K.Ż. (2022)

Zadanie kombinatoryczne

*masz 16 kart: **4 asy, 4 króle, 4 damy i 4 walety***
ułóż je w kwadrat tak, aby w każdym wierszu
i w każdej kolumnie wszystkie kolory i figury były **różne**

Zadanie kombinatoryczne

masz 16 kart: 4 asy, 4 króle, 4 damy i 4 walety
ułóż je w kwadrat tak, aby w każdym wierszu
i w każdej kolumnie wszystkie kolory i figury były **różne**

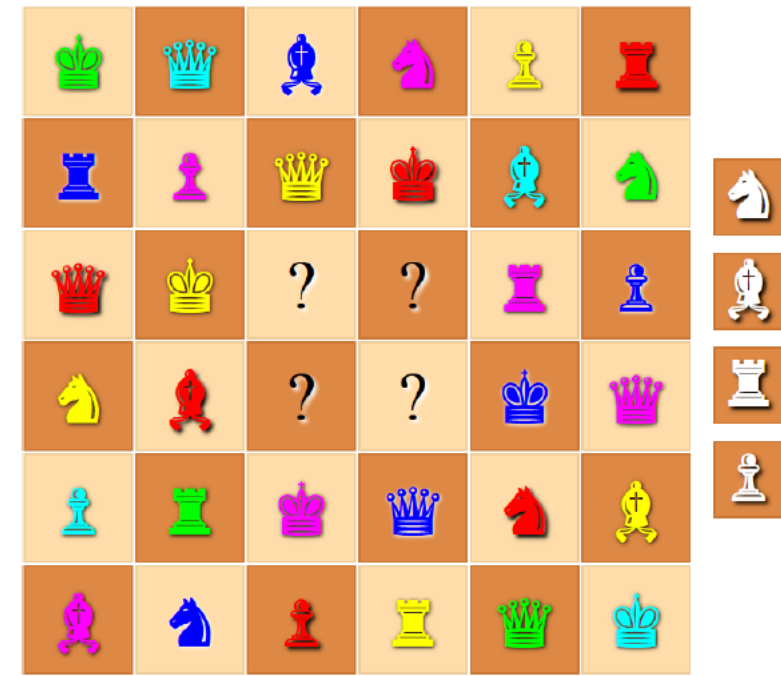
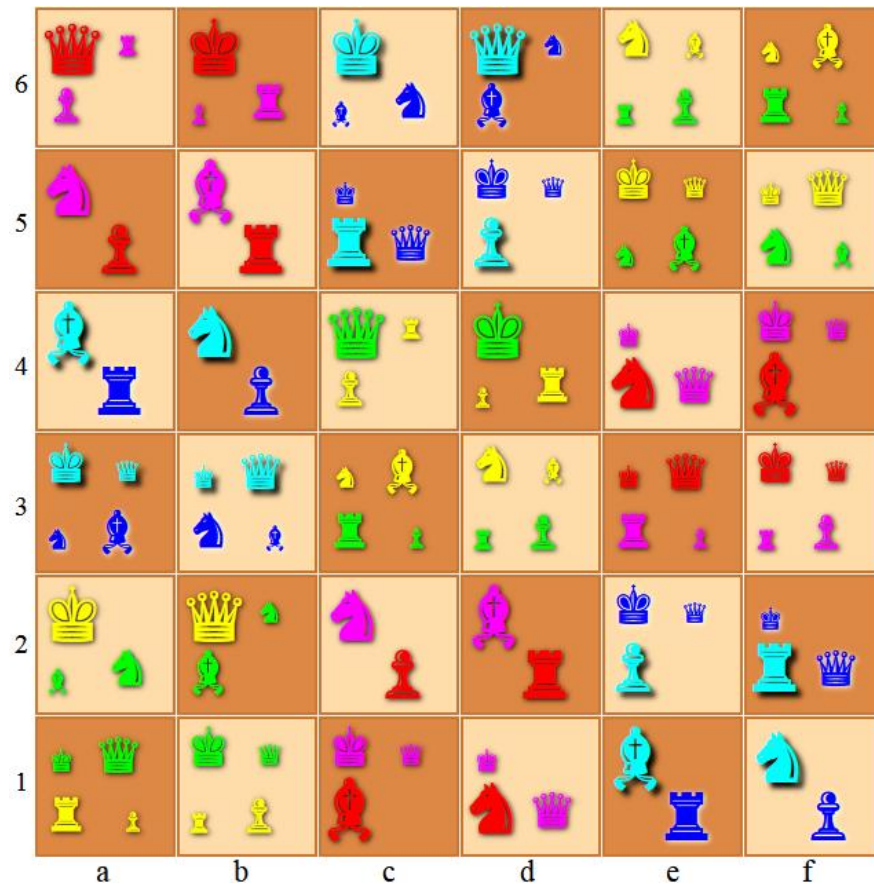
rozwiązanie
nietrudno
znaleźć:

A♠	K♥	Q♦	J♣
Q♣	J♦	A♥	K♠
J♥	Q♠	K♣	A♦
K♦	A♣	J♠	Q♥

kwadrat greko-łaciński o boku 4

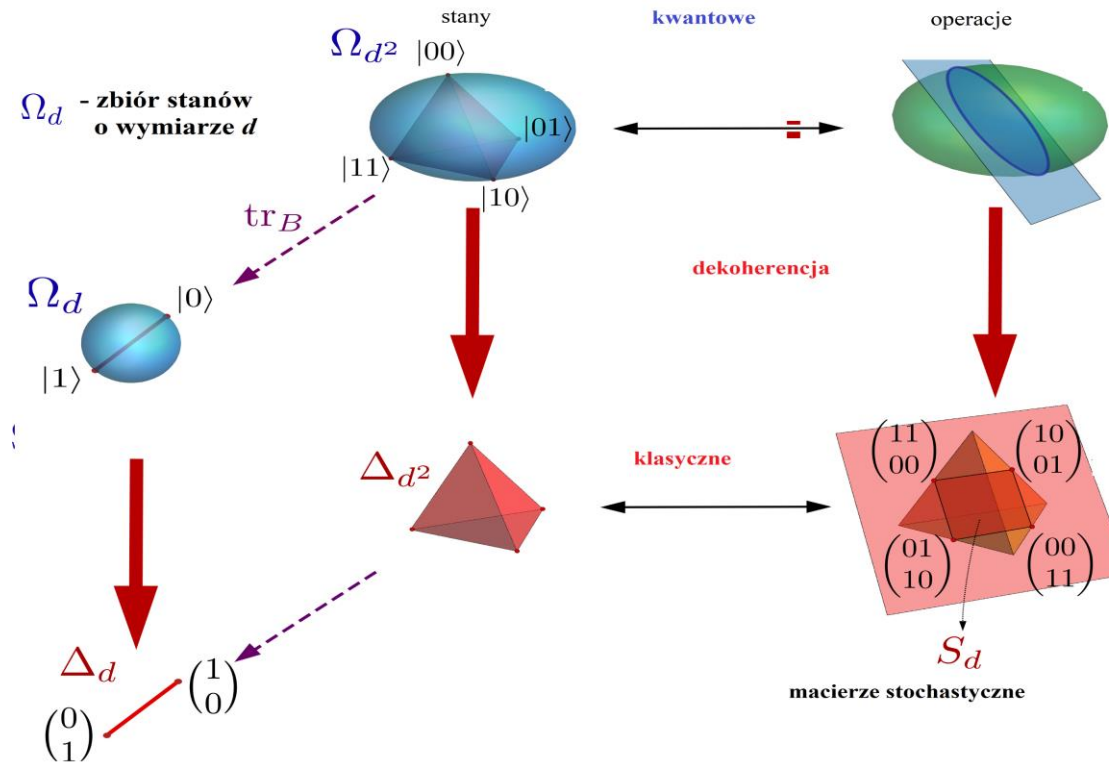
takie kwadraty istnieją także o boku **3,5, 7,8,9,10...**

problem 36 oficerów Eulera:
różne figury i kolory w każdym
wierszu i kolumnie
nie ma rozwiązania! (1791)
bo $6 = 2 \times 3$



(2022) rozwiązanie
kwantowej wersji problemu Eulera:
kilka figur na każdym polu
szachownicy wyznacza stan
splątany 4 kości oraz schemat
kwantowej korekcji błędów

analizowane struktury: stany kwantowe i ich transformacje



oraz ich
odpowiedniki
klasyczne

element **typowy**: wylosowany z całego zbioru według miary jednostajnej

element **atypowy**: o własnościach ekstremalnych,
np. stan **maksymalnie splątany** użyteczny w przetwarzaniu informacji kwantowej



Advanced
Grant



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

ERC Advanced Grant 2024

Typical and Atypical structures in quantum theory

ma na celu zbadanie własności typowych stanów
i operacji kwantowych oraz identyfikację struktur

o **ekstremalnych własnościach**

przydatnych w przetwarzaniu informacji kwantowej

jak uzyskać grant ERC ?



jak uzyskać grant ERC ?

... trzeba wystartować w konkursie
(i przygotować dobry wniosek :)



jak uzyskać grant ERC ?



... trzeba wystartować w konkursie
(i przygotować dobry wniosek :)



*Reguła bumerangu:
obiekt powraca,
jeśli jest poprawnie rzucony*

Kto powinien startować w konkursie o granty ERC?

każdy pracownik UJ, jeśli jego wkład w daną dziedzinę wiedzy
jest konkurencyjny w skali Europy na poziomie danego konkursu

przygotowując wniosek ERC kandydat podaje

- a) *Scientific CV* na 2 strony
- b) Najważniejsze osiągnięcia
(lista 5-10 publikacji) na 2 strony



każdy pracownik UJ może co 2 lata przeprowadzać

Test ERC

- * *Przygotuj opis swego dorobku na 4 str. wg wskazówek ERC,*
- ** *Znajdź w internecie listę laureatów konkursów ERC
ostatnich 3 lat w Twej dziedzinie w danej kategorii,*
- *** *Porównaj swój dorobek z osiągnięciami laureatów!*

**Jeśli test wypadł korzystnie,
pomyśl o ciekawym projekcie badawczym!**

przygotowując wniosek ERC

Think big! Don't be shy!



*pracując w Krakowie
nie możemy mieć żadnych
kompleksów !*



**Mikołaj
Kopernik**



skroplenie
tlenu

Olszewski i Wróblewski

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & g_{21} & g_{31} \\ 0 & 1 & g_{32} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_{11} & h_{21} & h_{31} \\ 0 & h_{22} & h_{32} \\ 0 & 0 & h_{33} \end{pmatrix}$$

krakowiany **Banachiewicz**



**S. Banach
i O. Nikodym**

późne średniowiecze:

wpływ **Krakowa** na modę europejską (i dostatek w Szwajcarii :)



moda męska w Europie w połowie XIV wieku:

buty zwane *crackowes* (od miasta Krakowa)

lub *poulaines* (moda polska)



Bitwa pod Sempach (Szwajcaria), 9 lipca 1386, *obraz z roku 1513*



Powiększenie lewego górnego rogu obrazu.

Co na nim można zobaczyć ?

Może **Arnolda Winkelrieda** ?

*Sie bunden uff ir helme, und tatends fürher tragen.
von schuhen huwents dschnäbel, man hätt gefüllt ein wagen*

Zapięli hełmy i ruszyli naprzód.
Odciepli czubki butów, tyle ile by
wypełniło wóz

Älteres Sempacherlied, druk Aegidius Tschudi 1530



*Sie bunden uff ir helme, und tatends fürher tragen.
von schuhen huwents dschnäbel, man hätt gefüllt ein wagen*

Zapięli hełmy i ruszyli naprzód.
Odcięli czubki butów, tyle ile by
wypełniło wóz

Älteres Sempacherlied, druk Aegidius Tschudi 1530



kawaleria austriacka księcia **Leopolda III**
używała zbroi z butami
w modnym stylu **crackowes** !

Po zejściu z konia kawalerzyści nie
mogli sprawnie chodzić i zaczęli sami
obcinać czubki swych butów...

dostatnią przyszłość **Szwajcarii**
zapewnił **Arnold von Winkelried** oraz ...
buty habsburskich rycerzy rodem z **Krakowa**



na zakończenie...

- 1) **Fizyka** jest ciekawa i fascynująca. Potrafimy nadal zadawać ważne pytania i szukać na nie odpowiedzi ...
- 2) **Teoria informacji kwantowej** jest szybko rozwijającą się dziedziną na pograniczu fizyki, informatyki i matematyki. Ma przyszłość bez względu na to, kiedy **komputer kwantowy** policzy coś, czego nie umiemy dziś policzyć.
- 3) Warto zastanowić się nad swoim wkładem do rozwoju nauki i przeprowadzić **test ERC**: porównać osiągnięcia własne oraz laureatów ostatnich konkursów w danej dziedzinie. W przypadku pozytywnego wyniku testu dobrze pomyśleć o ciekawym **projekcie badawczym**...
- 4) Przygotowując **wniosek ERC** trzeba zrobić to dobrze, z dużym rozmachem i bez żadnych kompleksów: mamy sporo dobrych przykładów polskiego wkładu do nauki światowej !
- 5) Bezrefleksyjne naśladowanie panującej **mody** może być **niebezpieczne**
(nie tylko podczas bitwy ...)



na zakończenie...

- 1) **Fizyka** jest ciekawa i fascynująca. Potrafimy nadal zadawać ważne pytania i szukać na nie odpowiedzi ...
- 2) **Teoria informacji kwantowej** jest szybko rozwijającą się dziedziną na pograniczu fizyki, informatyki i matematyki. Ma przyszłość bez względu na to, kiedy **komputer kwantowy** policzy coś, czego nie umiemy dziś policzyć.
- 3) Warto zastanowić się nad swoim wkładem do rozwoju nauki i przeprowadzić **test ERC**: porównać osiągnięcia własne oraz laureatów ostatnich konkursów w danej dziedzinie. W przypadku pozytywnego wyniku testu dobrze pomyśleć o ciekawym **projekcie badawczym**...
- 4) Przygotowując **wniosek ERC** trzeba zrobić to dobrze, z dużym rozmachem i bez żadnych kompleksów: mamy sporo dobrych przykładów polskiego wkładu do nauki światowej !
- 5) Bezrefleksyjne naśladowanie panującej **mody** może być **niebezpieczne**
(nie tylko podczas bitwy ...)
- 6) Pracownik UJ może zdobyć **grant ERC** w każdym konkursie!

To jest możliwe !