

Kwantowa teoria względności

Pętlowa grawitacja kwantowa

Andrzej Okołów

Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego

Festiwal Nauki, 16 września 2006

Plan wykładu

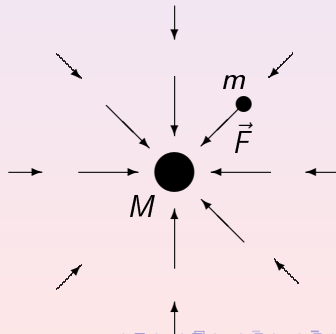
- 1 Grawitacja i geometria
- 2 Klasyczny *versus* Kwantowy
- 3 Pętlowa grawitacja kwantowa

Grawitacja

według Newtona:

Grawitacja jest to **pole sił** generowane przez materię i wpływające na jej ruch.

Prawo powszechnego
ciążenia

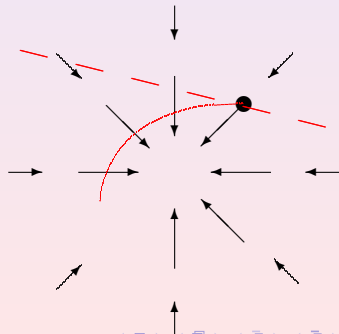


Grawitacja

według Newtona:

Grawitacja jest to **pole sił** generowane przez materię i wpływające na jej ruch.

II zasada dynamiki Newtona



Grawitacja

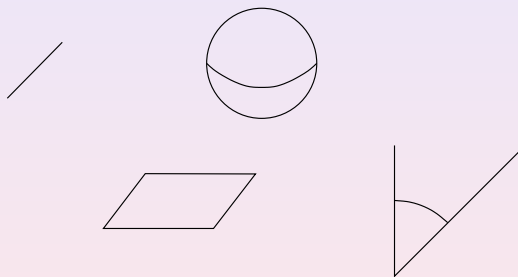
według Newtona:

Grawitacja jest to **pole sił** generowane przez materię i wpływające na jej ruch.

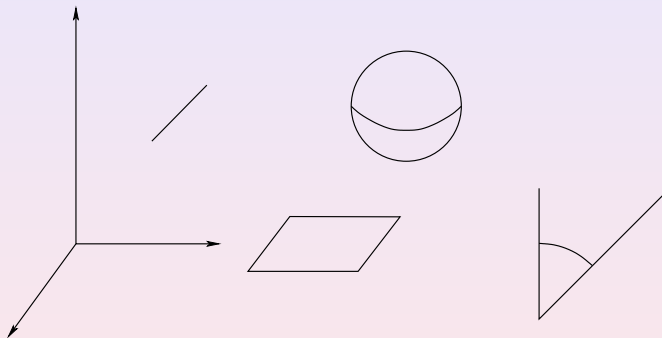
według Einsteina:

Grawitacja jest tożsama z **geometrią** (czaso)przestrzeni generowaną przez materię i wpływającą na jej ruch.

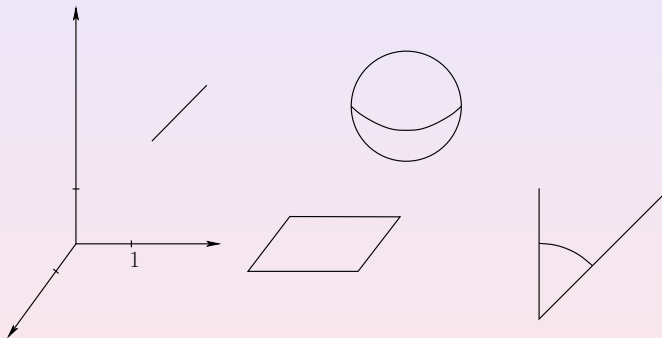
Geometria: właściwości metryczne figur



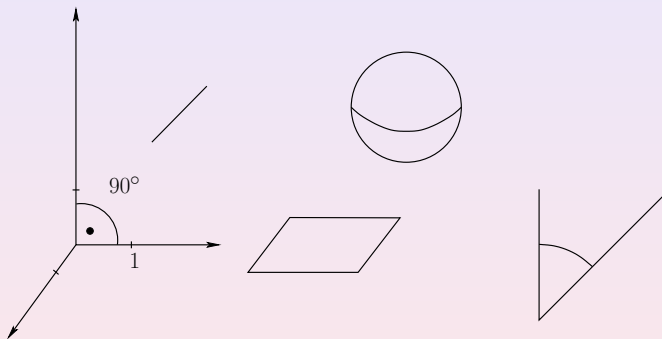
Geometria: właściwości metryczne figur



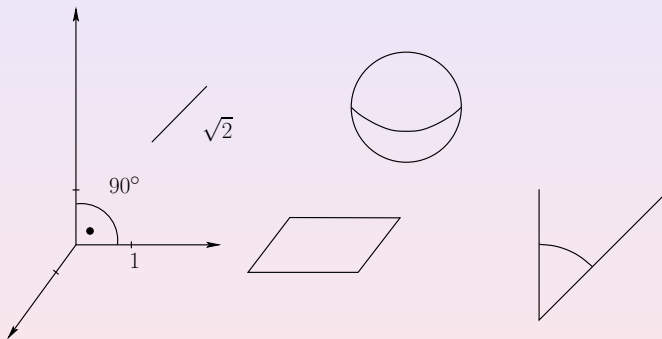
Geometria: właściwości metryczne figur



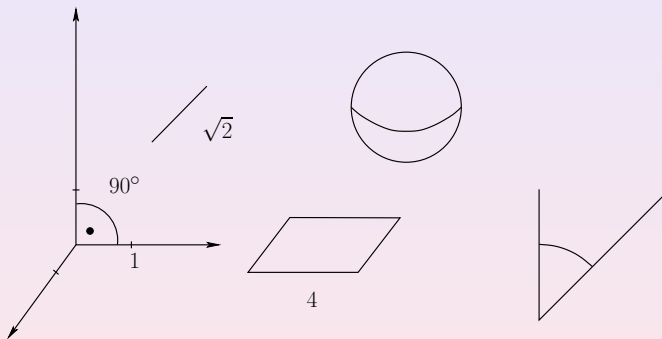
Geometria: właściwości metryczne figur



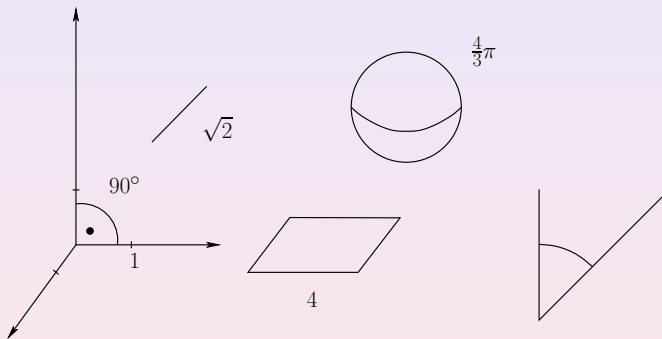
Geometria: właściwości metryczne figur



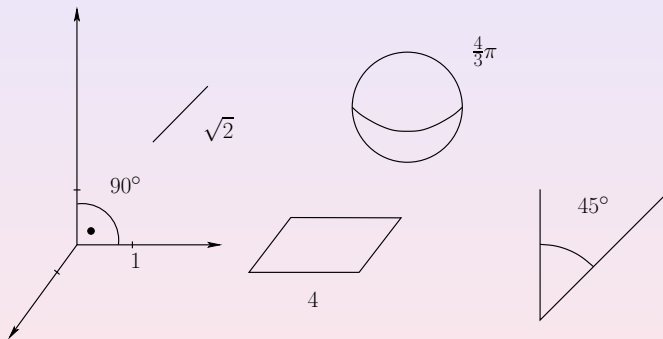
Geometria: właściwości metryczne figur



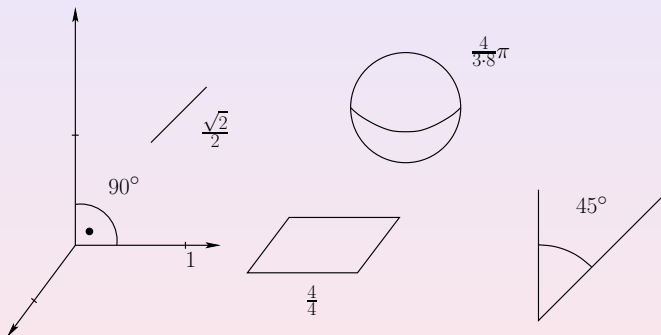
Geometria: właściwości metryczne figur



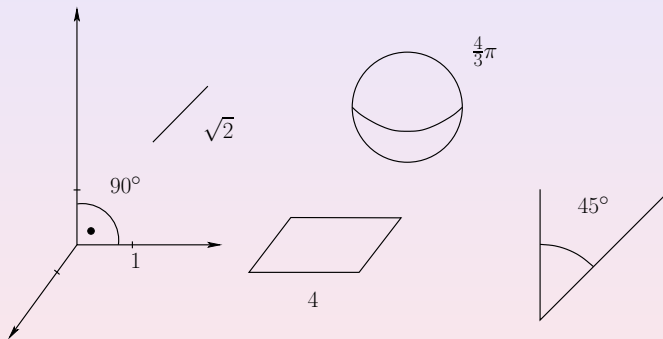
Geometria: właściwości metryczne figur



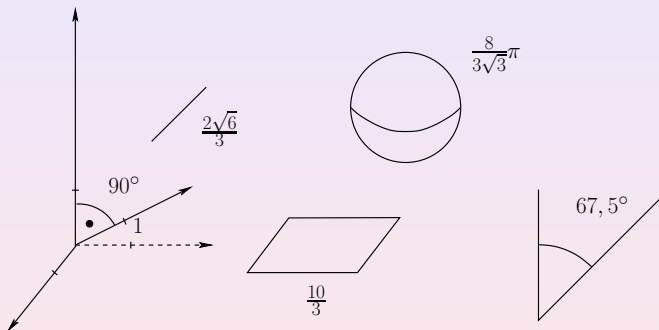
Geometria: właściwości metryczne figur



Geometria: właściwości metryczne figur



Geometria: właściwości metryczne figur



Metryka

Definicja

Metryka jest to przepis, według którego określamy właściwości metryczne figur geometrycznych czyli:

- długość krzywych,
- pole powierzchni figur dwuwymiarowych,
- objętość brył;
- kąt między odcinkami.

W danej przestrzeni można zdefiniować **wiele różnych** metryk!

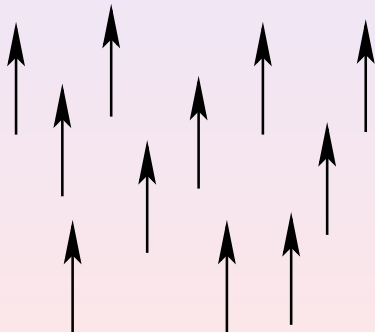
Geometria: równoległość



Geometria: równoległość



Geometria: równoległość



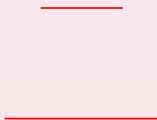
Geometria: równoległość



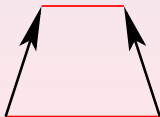
Geometria: równoległość



Geometria: równoległość



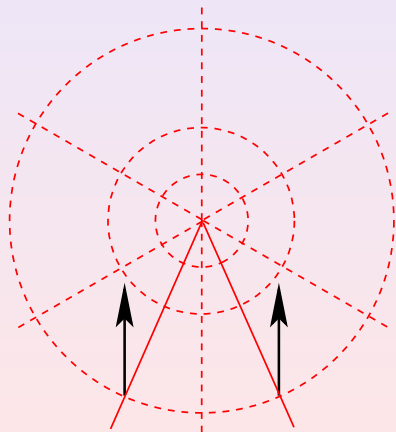
Geometria: równoległość



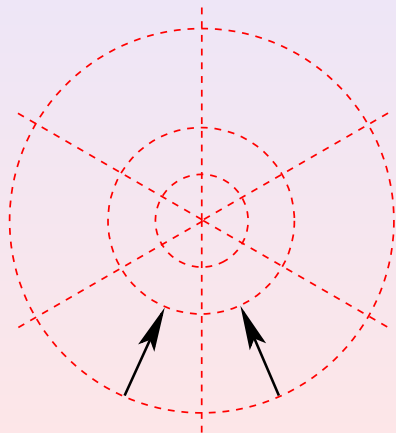
Geometria: równoległość



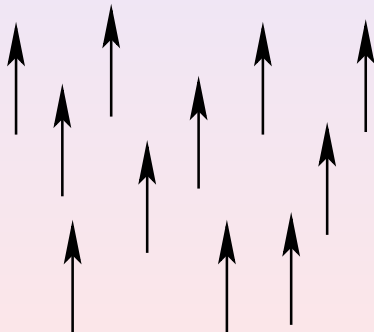
Geometria: równoległość



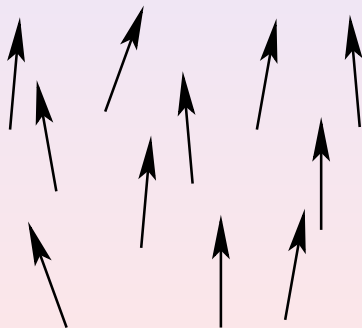
Geometria: równoległość



Geometria: równoległość



Geometria: równoległość



Koneksja

Definicja

Koneksja jest to przepis określający równoległość wektorów.

W danej przestrzeni można zdefiniować **wiele różnych** koneksji!

Metryka

Przypomnienie

Metryka jest to przepis, według którego określamy właściwości metryczne figur geometrycznych.

W danej przestrzeni można zdefiniować **wiele różnych** metryk!

Geometria

Definicja

Geometria określona jest poprzez wybór **metryki** i **koneksji**.

W danej przestrzeni można zdefiniować **wiele różnych** geometrii!

Grawitacja według Einsteina

Einstein:

Grawitacja jest tożsama z **geometrią** (czaso)przestrzeni generowaną przez materię i wpływającą na jej ruch.

Grawitacja według Einsteina

Einstein:

Grawitacja jest tożsama z **geometrią** (czaso)przestrzeni generowaną przez materię i wpływającą na jej ruch.

innymi słowy

Pole grawitacyjne jest opisane za pomocą **metryki** i **koneksji**.

Mechanika klasyczna i kwantowa — porównanie

Mechanika klasyczna

opisuje świat makroskopowy:
od planet do drobin pyłu;

pęd i położenie punktu
materialnego można wyznaczyć
z dowolną dokładnością:

$$\Delta x \rightarrow 0, \quad \Delta p \rightarrow 0;$$

Mechanika kwantowa

opisuje świat mikroskopowy:
atomy, cząsteczki etc.

nie można wyznaczyć z
dowolną dokładnością pędu i
położenia cząstki:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}.$$

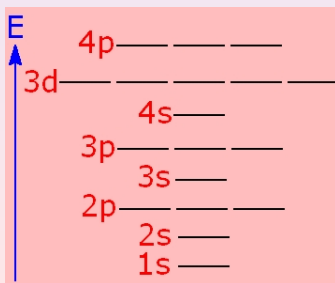
Mechanika klasyczna i kwantowa — porównanie

Mechanika klasyczna

wielkości fizyczne mogą zmieniać się w sposób **ciągły**.

Mechanika kwantowa

pewne wielkości mogą zmieniać się tylko w sposób **nieciągły**.



Dlaczego kwantujemy teorię względności?

Ogólna teoria względności opisuje oddziaływanie grawitacyjne w sposób **klasyczny** tzn.:

- wszystkie wielkości geometryczne są mierzalne z dowolną dokładnością;
- wielkości te mogą zmieniać się w sposób ciągły.

Równania Einsteina

$$G_{\alpha\beta} = 8\pi T_{\alpha\beta},$$

geometria ← materia

obiekt klasyczny = obiekt klasyczny.

Dlaczego kwantujemy teorię względności?

Ogólna teoria względności opisuje oddziaływanie grawitacyjne w sposób **klasyczny** tzn.:

- wszystkie wielkości geometryczne są mierzalne z dowolną dokładnością;
- wielkości te mogą zmieniać się w sposób ciągły.

Tak naprawdę to...

$$G_{\alpha\beta} = 8\pi T_{\alpha\beta},$$

geometria \longleftarrow materia

obiekt klasyczny $\stackrel{???}{=}$ obiekt kwantowy.

Modele kwantowej grawitacji

- teoria strun
- pętlowa grawitacja kwantowa
- i kilka innych...

Modele kwantowej grawitacji

- teoria strun
- pętlowa grawitacja kwantowa
- i kilka innych...

Zasada nieoznaczoności w grawitacji kwantowej

Nie można wyznaczyć metryki E i koneksji A z dowolną dokładnością:

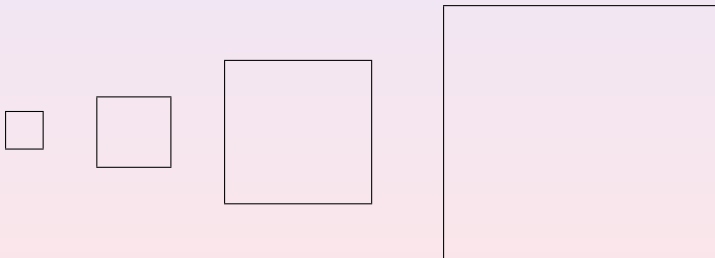
$$\Delta E \Delta A \geq \frac{\hbar}{2},$$

podobnie jak w mechanice kwantowej **nie można** z dowolną dokładnością wyznaczyć pędu i położenia cząstki:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}.$$

Nieciągłość wielkości geometrycznych

Wielkości geometryczne np. **pole powierzchni** mogą zmieniać się tylko w sposób **nieciągły**.



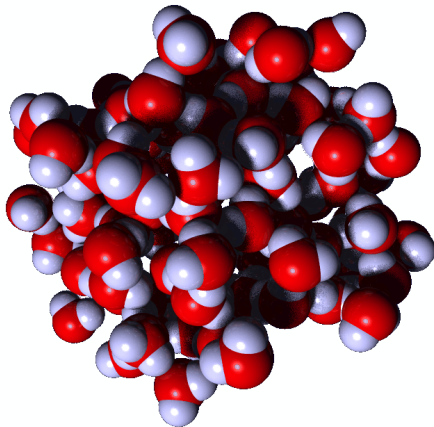
Najmniejsza powierzchnia $\approx 2.5 \cdot 10^{-70} m^2$.

Polimerowa struktura przestrzeni

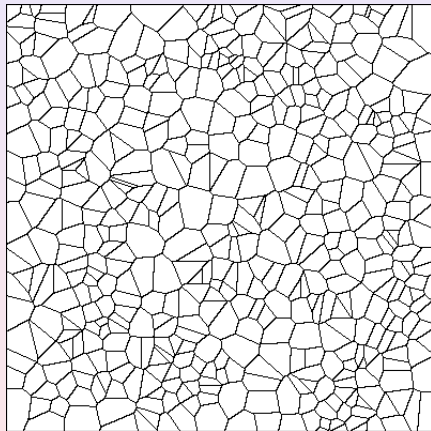


© 2005 Dmytry Lavrov. Created using MojoWorld by Pandromeda Inc. and Volumetric renderer by Dmytry Lavrov.

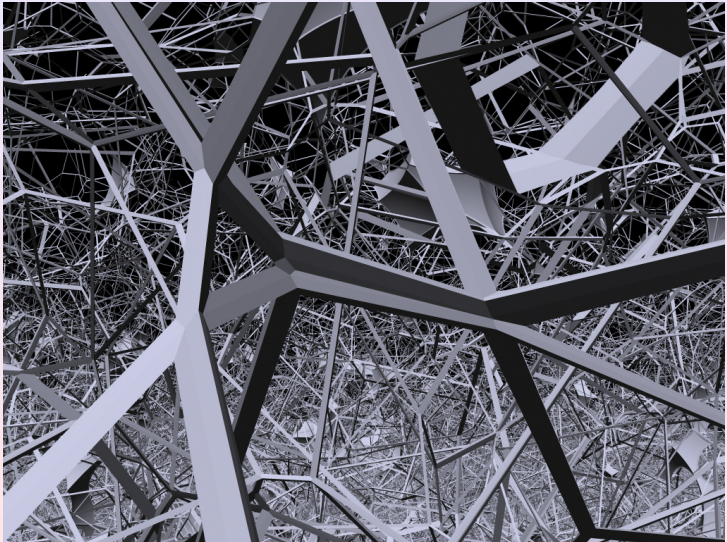
Polimerowa struktura przestrzeni



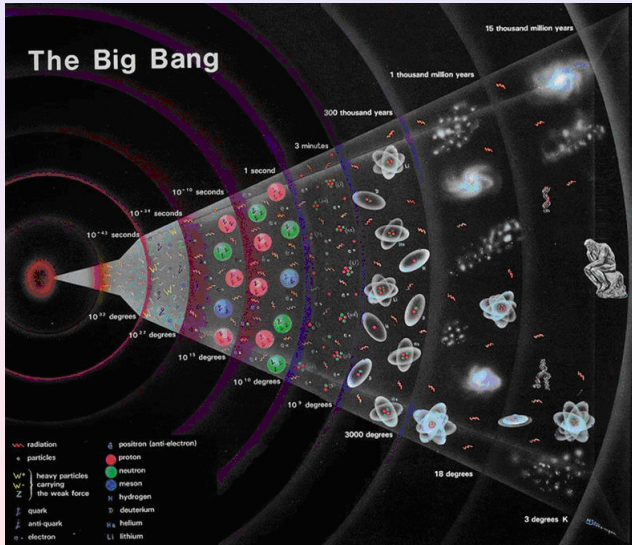
Polimerowa struktura przestrzeni



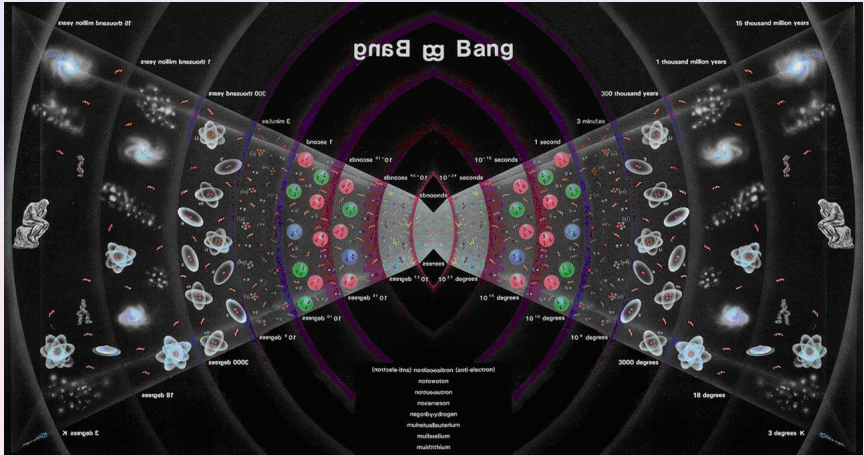
Polimerowa struktura przestrzeni



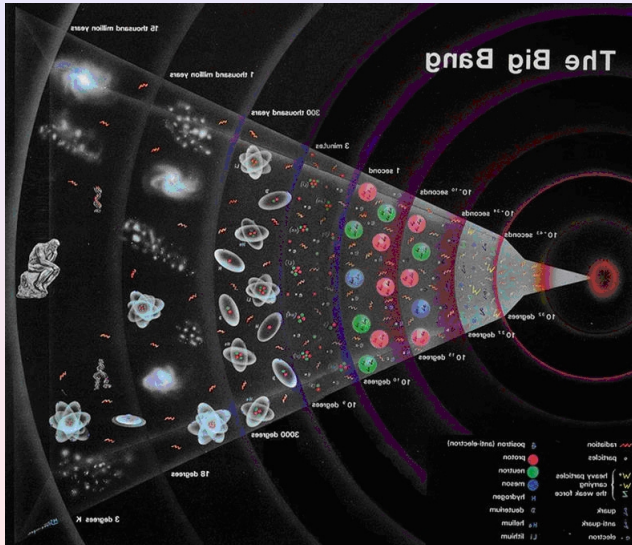
Wielkie Odbicie zamiast Wielkiego Wybuchu



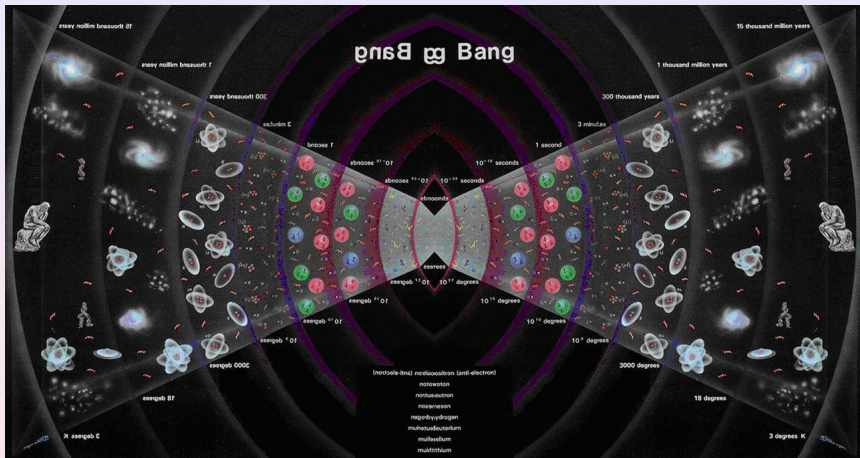
Wielkie Odbicie zamiast Wielkiego Wybuchu



Wielkie Odbicie zamiast Wielkiego Wybuchu



Wielkie Odbicie zamiast Wielkiego Wybuchu



Na zakończenie

Tak naprawdę

to nikt **nie wie**, jak należy sformułować kwantową teorię grawitacji...

W związku z tym

to, co zostało opowiedziane na tym wykładzie, należy traktować wyłącznie jako pewną **hipotezę**, o prawdziwości której jak na razie niewiele można powiedzieć.

Rysunki/zdjęcia użyte w niniejszej prezentacji pochodzą z następujących źródeł:

- http://www.rjclarkson.demon.co.uk/found/orbital_energy_levels.gif
- http://dmytry.pandromeda.com/mojoworld/view_img.php?name=fishes.jpg
- http://www.sve.man.ac.uk/mvc/Research/Previous/MAVIS/Pictures/water_cluster.png
- <http://www.246.dk/Pvoro-1.png>
- http://dmytry.pandromeda.com/mojoworld/isosurface_voronoi123_perftest_jq95.jpg
- http://astrocultura.uai.it/tesi/stella2004/Chiara_Donadio/data/img/bigbang.jpg