

Історія часу:

абсолютність

VS

відносність



# Найдавніший годинник: Сонце, Земля, Місяць, зорі

**Арістотель:** деякі вчені неправильно сприймали обертання неба як сам час; насправді це обертання є засобом для вимірювання часу.



**Aristotle**  
384 BC – 322 BC

"Час не є рух, але й не існує без руху".

Тропічний рік = 365 дів 5 год. 48 хв. 45.19 с (між весняними рівноденнями)

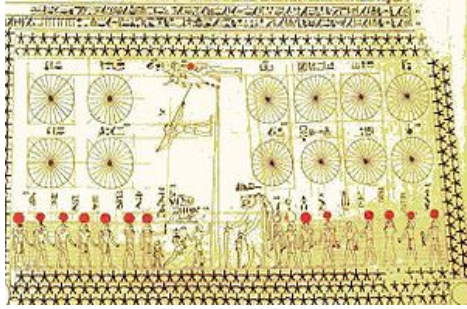
Сидеричний рік = 365 дів 6 год. 9 хв. 9.77 с (між зорями)

Синодичний місяць = 29 дів 12 год. 44 хв. 2.9 с (між фазами)

Сидеричний місяць = 27 дів 7 год. 43 хв. 11.5 с (між зорями)

Неспівмірність періодів →  
складність літочислення

# Лічба часу: календарі



египетський



китайський



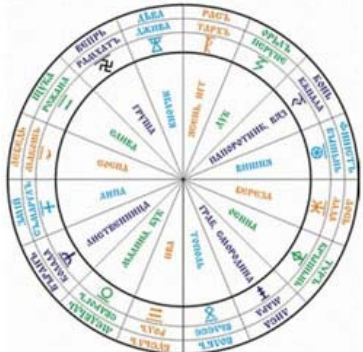
древньо-єврейський



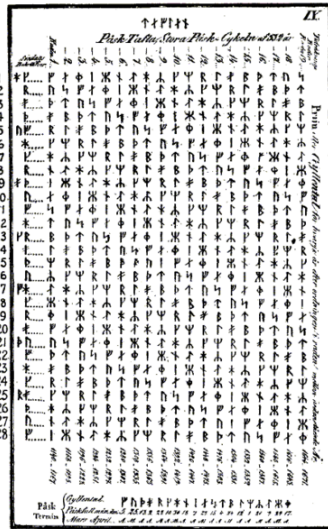
календар мая



індуський



древньо-слов'янський



юліанський



ґрегоріанський

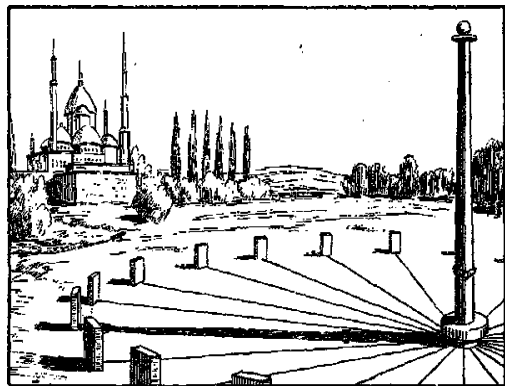


французький республіканський



старо-московський

# Вимірювання часу: годинники



сонячний



клепсидри



пісковий



свічковий



атомний стандарт часу



кварцевий

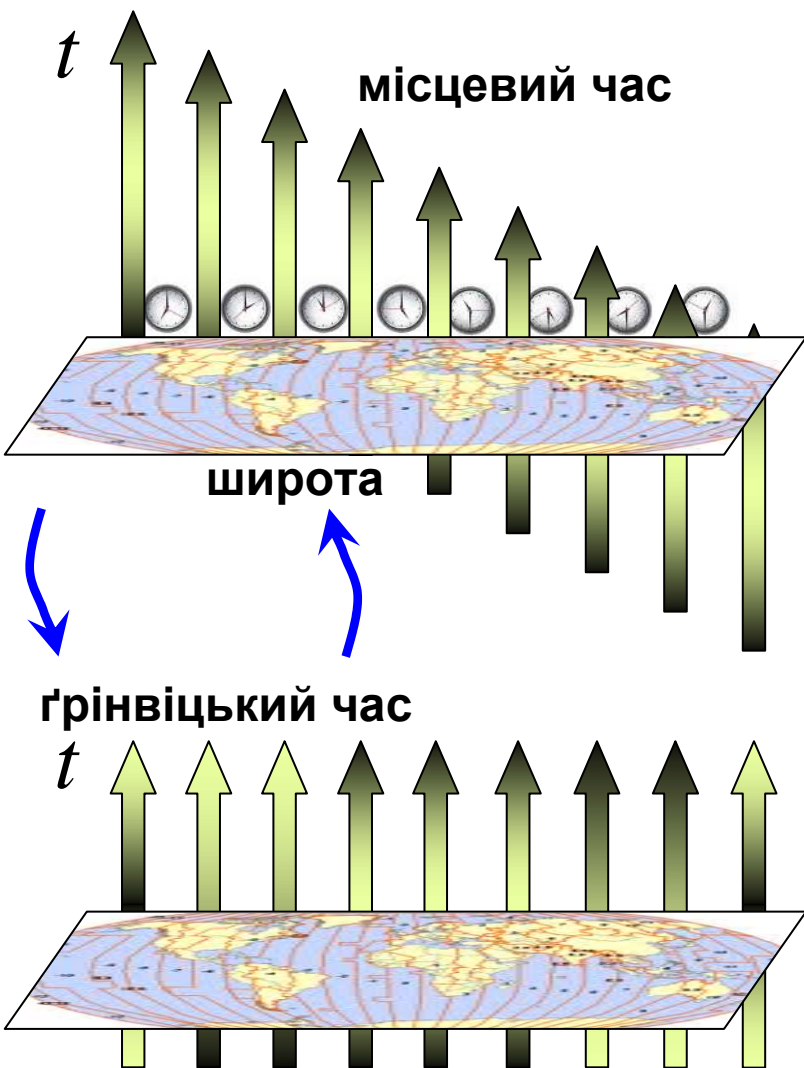


механічний



Федченка

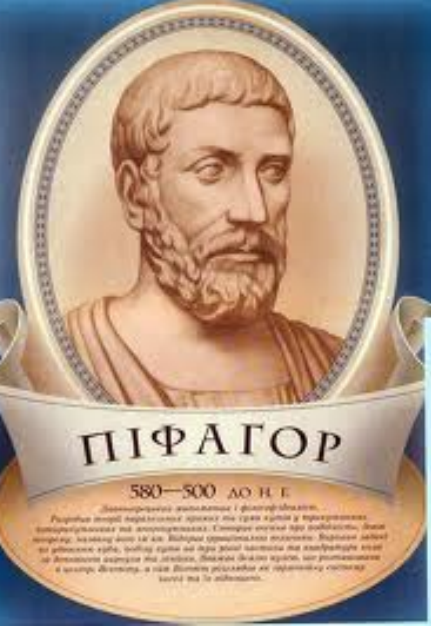
# Синхронізація годинників



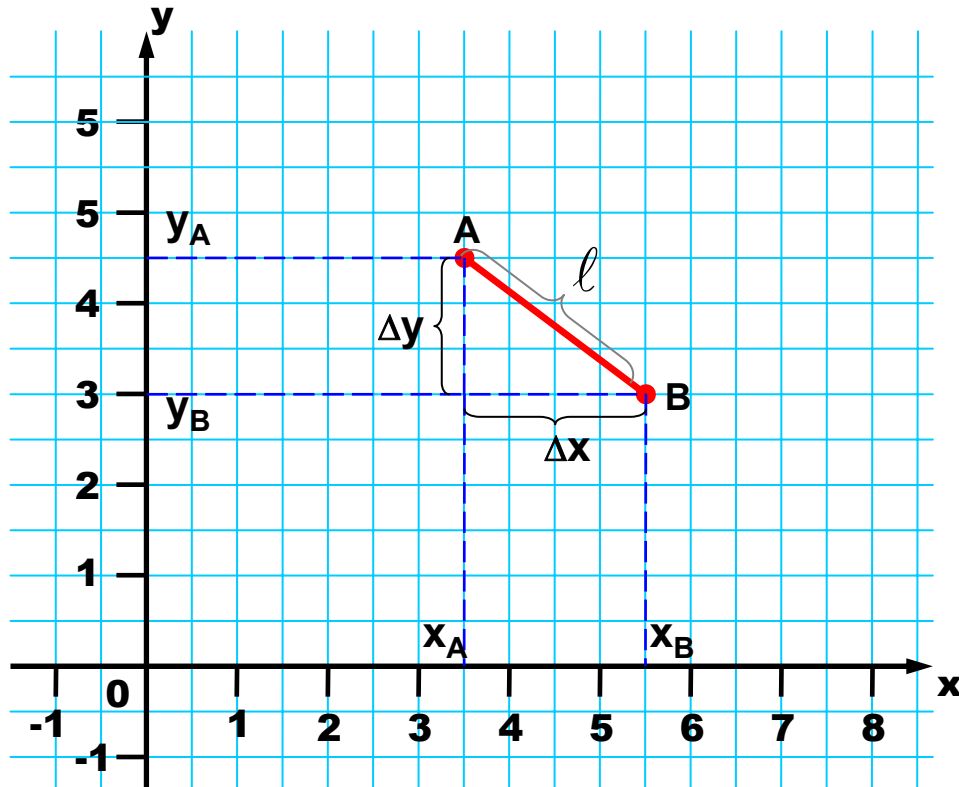
морський  
хронометр



**Global  
Positioning  
System**



# Евклідова геометрія

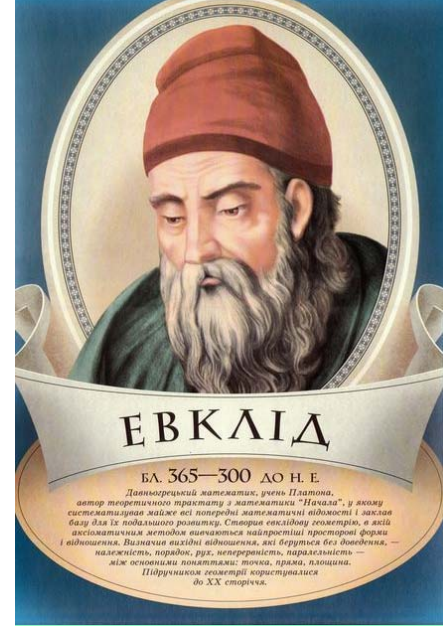


$$\Delta x = x_B - x_A$$

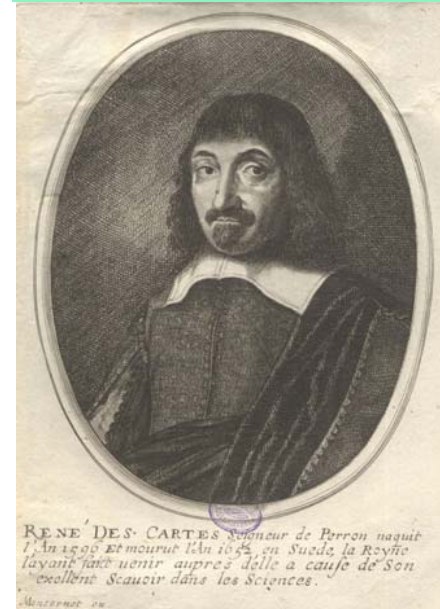
$$\Delta y = y_B - y_A$$

Теорема Піфаг<sup>о</sup>ра

$$l^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$$



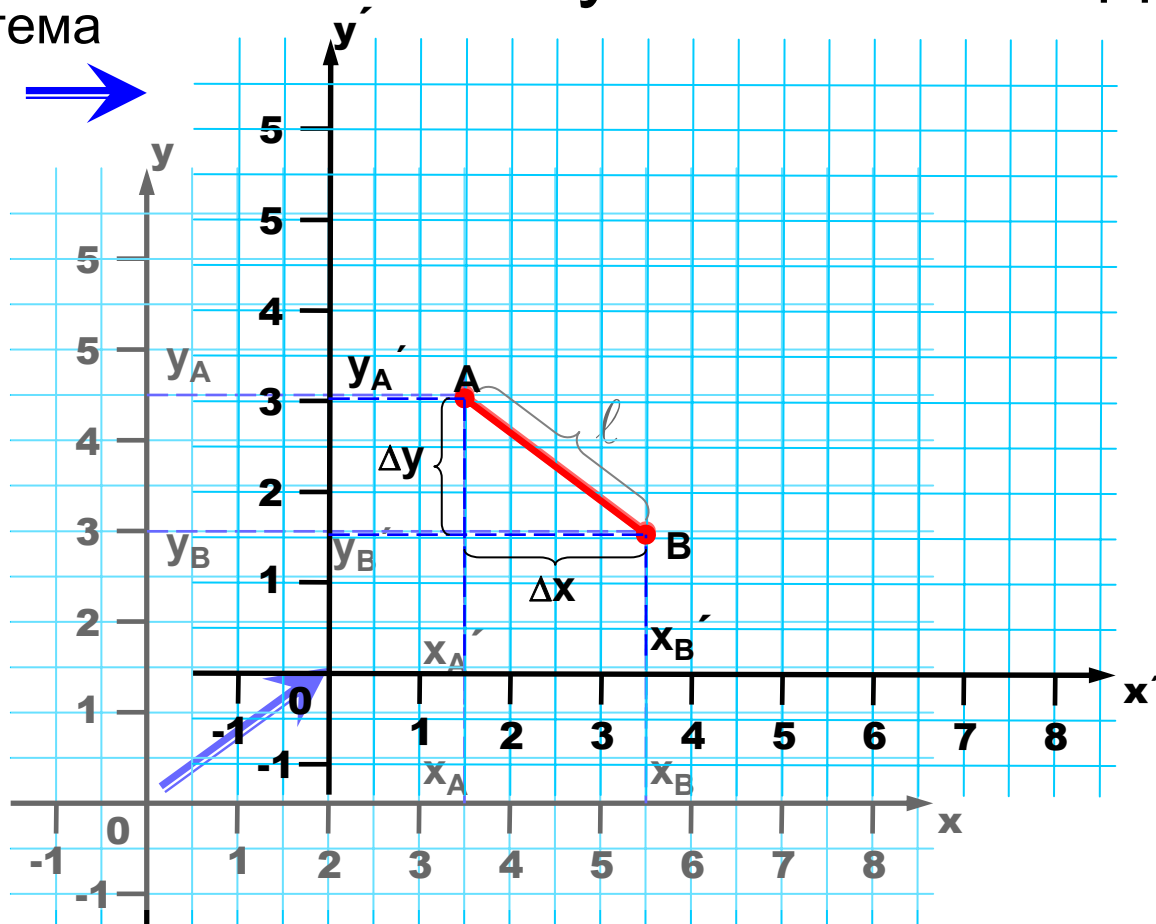
Рене Декарт  
1596 – 1650



# Зсув системи відліку

Нова система  
відліку  $O'$  →

Стара система  
відліку  $O$  →



Відносні  
відстані  
незмінні -  
інваріанти :

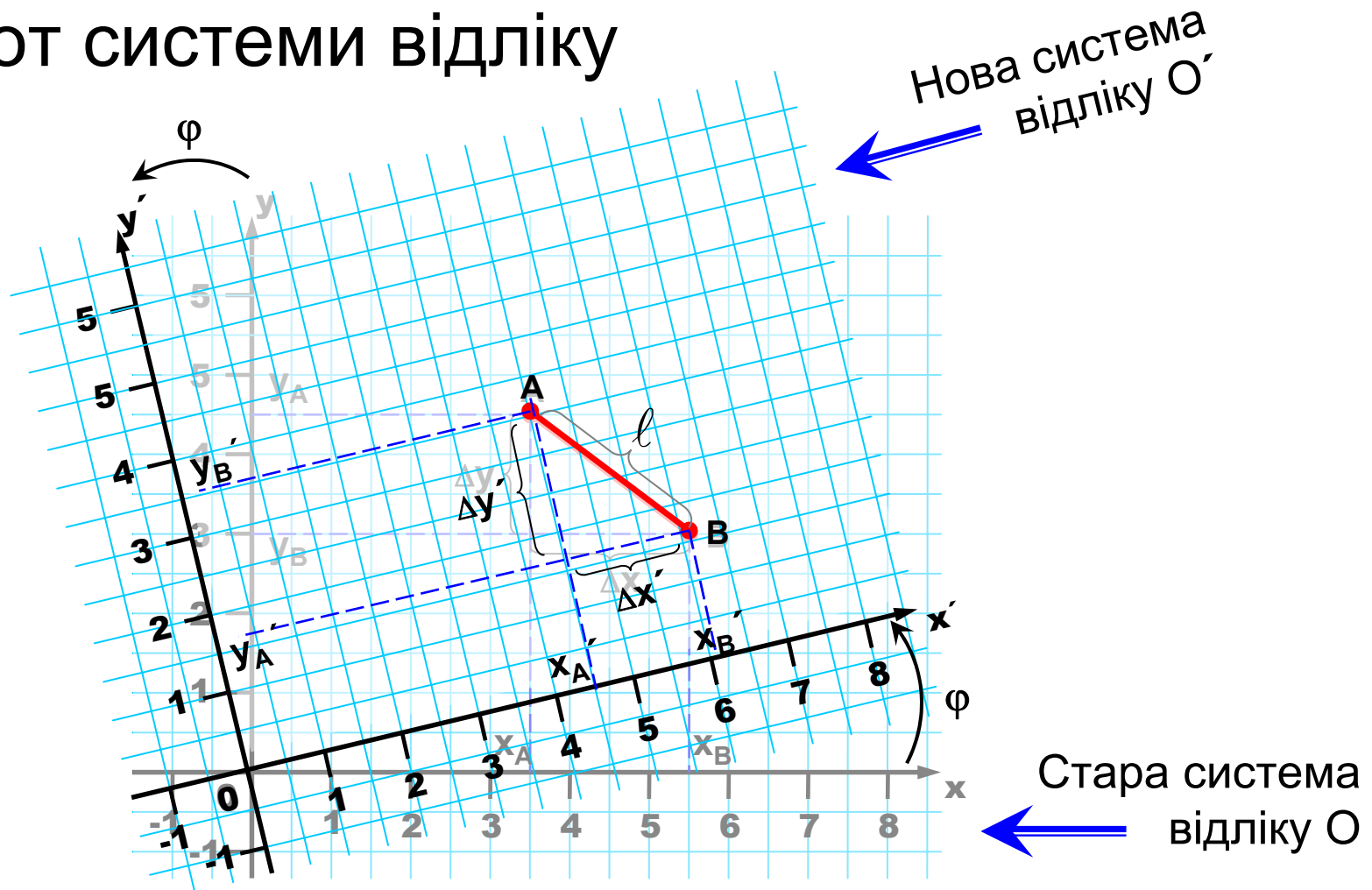
$$\Delta y' = y'_B - y'_A = \Delta y$$

$$\Delta x' = x'_B - x'_A = \Delta x$$

Довжина незмінна - інваріант :

$$\ell^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$$

# Поворот системи відліку



Довжина незмінна - інваріант :

$$l^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 = (\Delta x')^2 + (\Delta y')^2$$



# Відносність у механіці Галілея - Ньютона

1546-1642

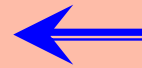
1643-1727



**Механіка: вчення про рух тіл  
~ простір / час**



**спостерігач з  
лінійками та  
годинником**



**система відліку**

**Принцип  
відносности Галілея:**

**тіло, полишене само на себе,  
рухається рівномірно-прямолінійно**

**Відносно чого ? ⇒ інерційні системи відліку**



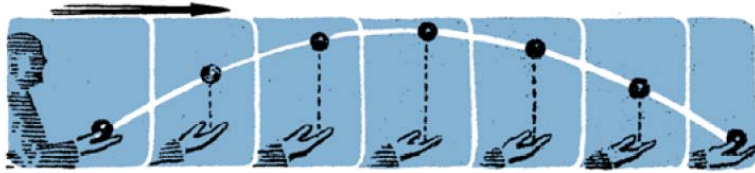
**Aristotle**

**384 BC – 322 BC**

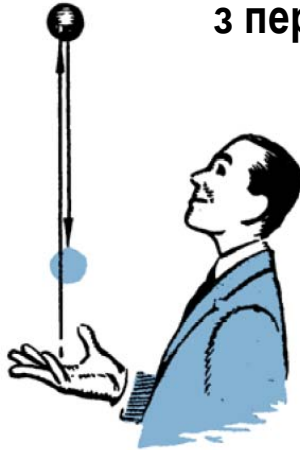
**Абсолютність часу  
та одночасности !**

**Абсолютність простору ?  
Ньютон помилявся !**

# Часопростір Галілея:



з перону

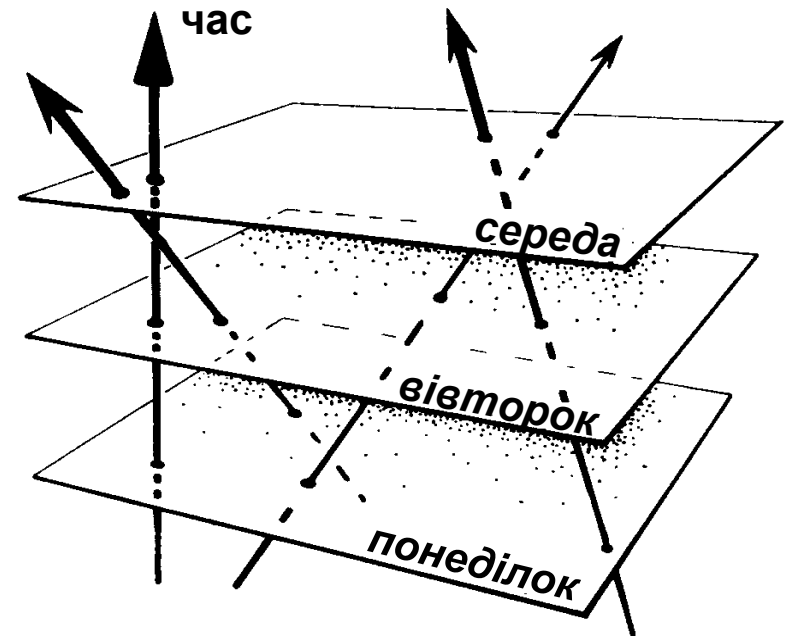


в купе

Куди повертається кулька з погляду  
2-х інерційних систем відліку:  
перона та поїзда ?

**Час – абсолютний,  
простір - відносний**

подібний до  
**новенької колоди карт**



Рівномірно-прямолінійний рух тіл  
зображається прямими лініями;  
кожна може слугувати як  
**вісь часу**



James Clerk Maxwell 1831-1879



Hendrik Lorentz 1853-1928

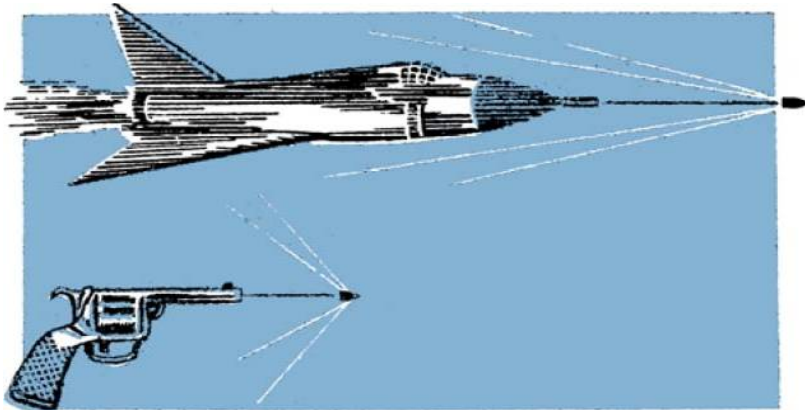
# Абсолютність швидкості світла у порожнечі (вакуумі):



Jules Henri Poincaré 1854-1912

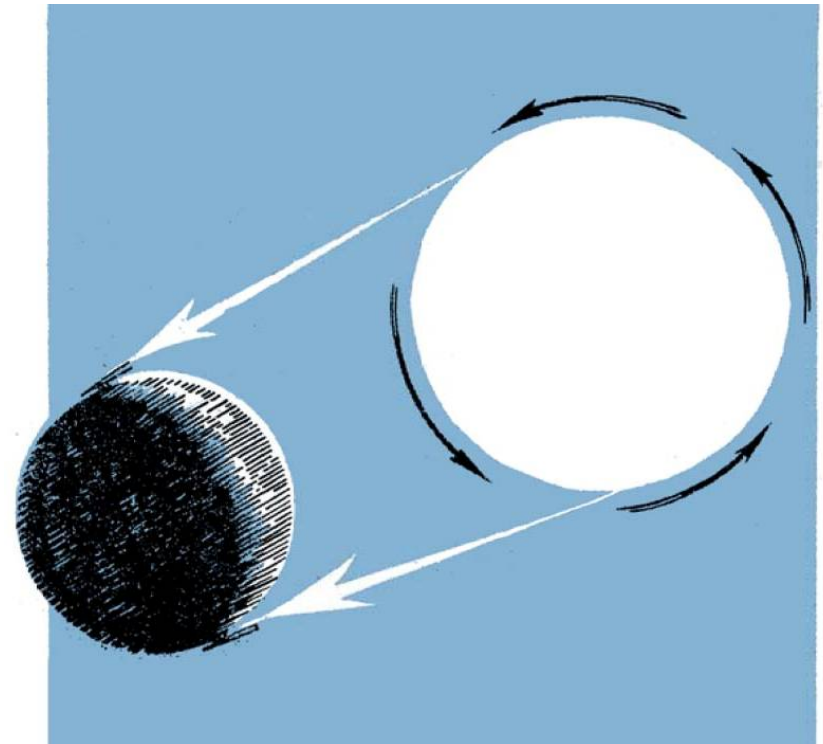


Willem de Sitter 1872-1934



Швидкість кулі з літака більша ніж з пістолета на землі

$c \approx 300000$  км/ГОД



Швидкість світла з обидвох сторін зорі, що обертається - однакова

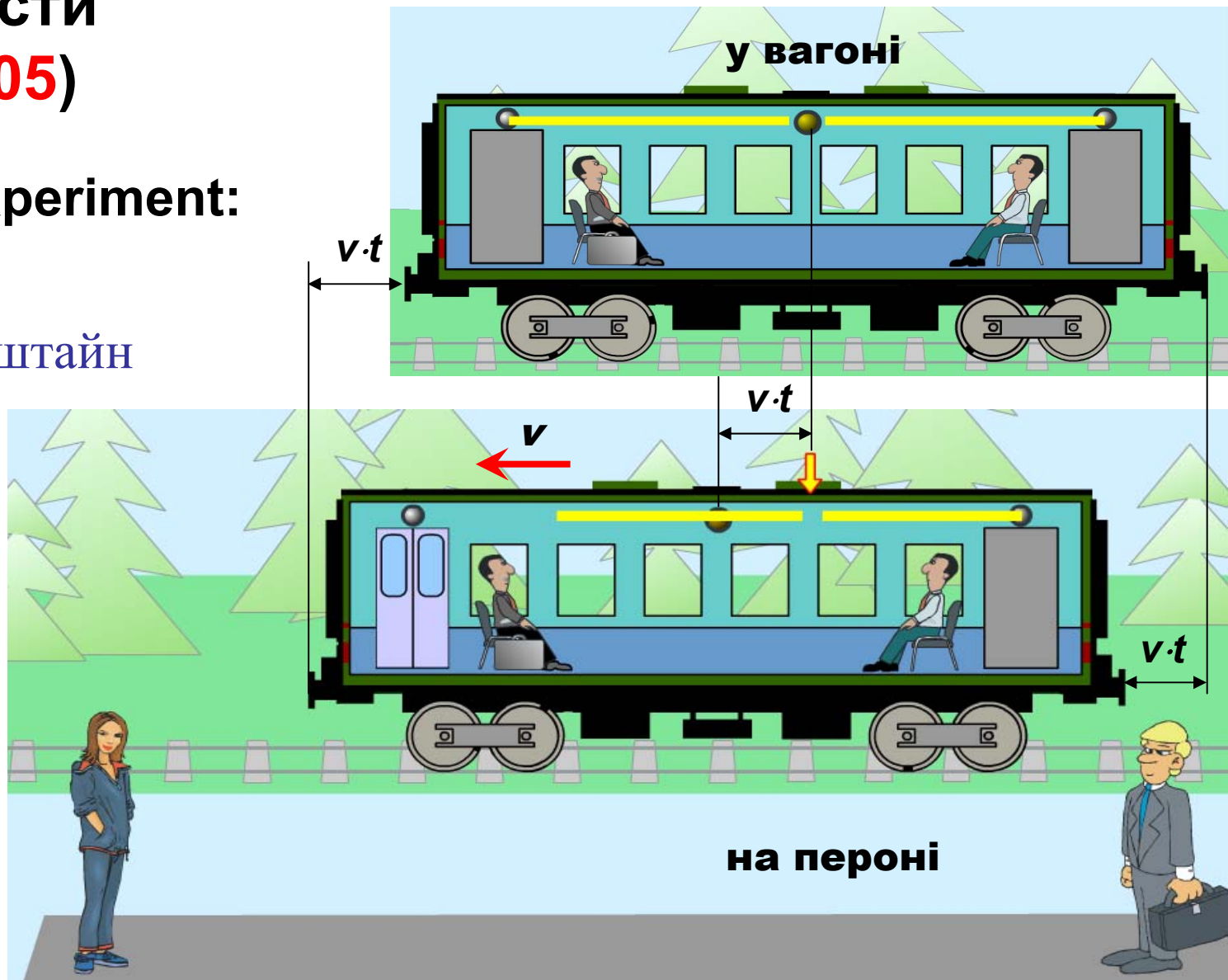
# Спеціальна теорія відносності (СТВ, 1905)

Gedankenexperiment:

Альберт Айнштайн  
(1879-1955)



Абсолютність швидкості світла  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  відносність часу і одночасності

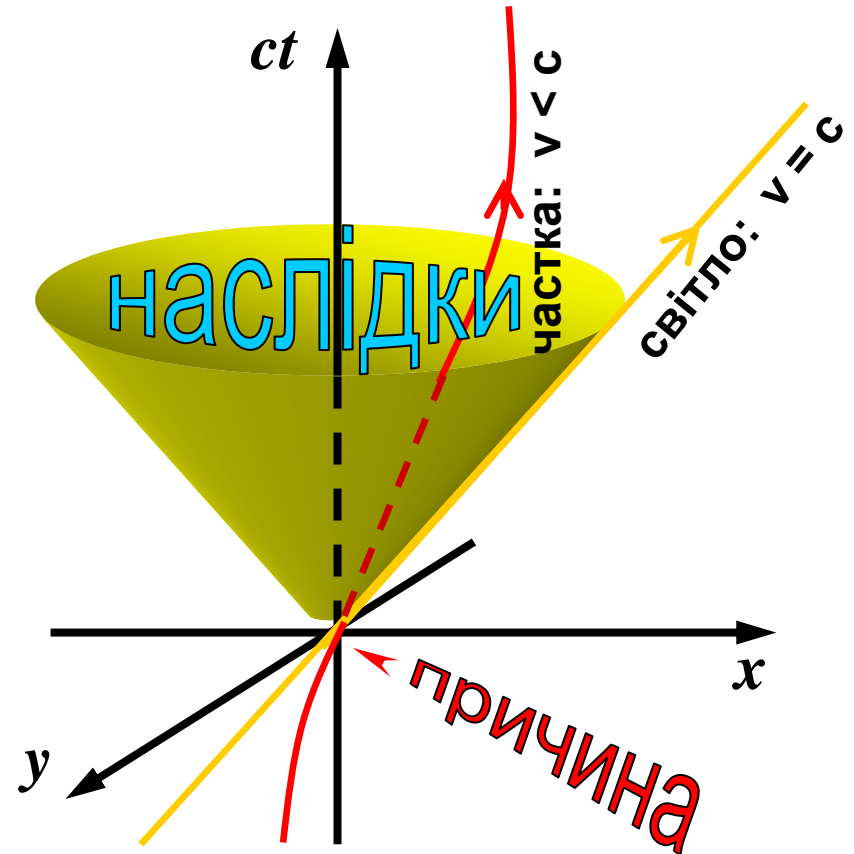
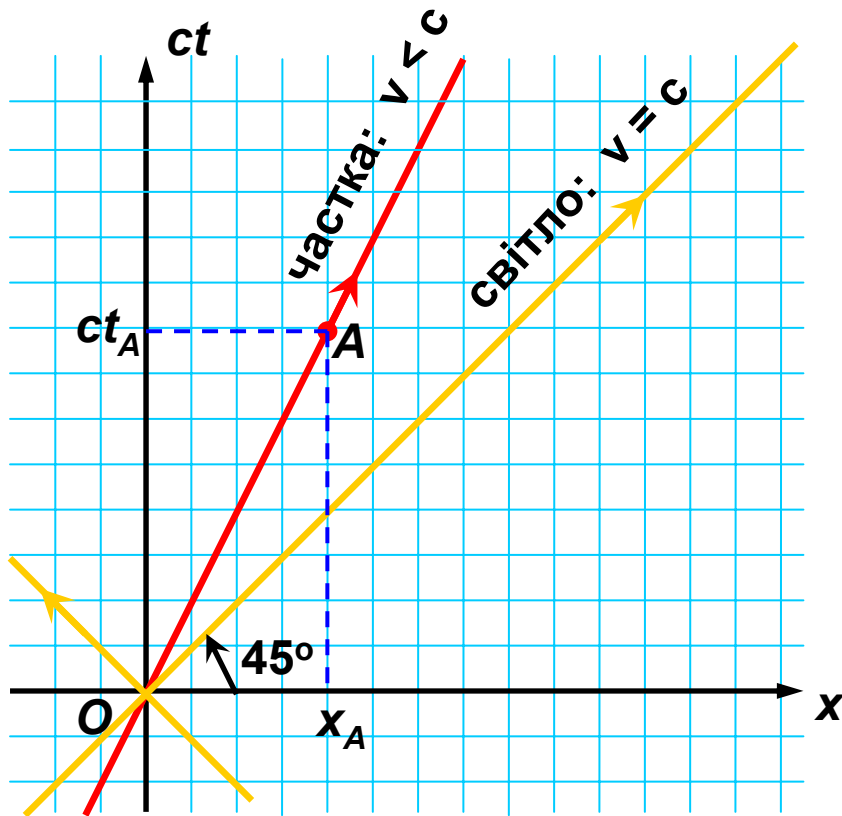


# 4-вимірний часопростір Мінковського (1907) псевдо-евклідовий



Власний час  $\tau$  :  
(замість довжини)  $(c\tau_A)^2 = (ct_A)^2 - x_A^2$

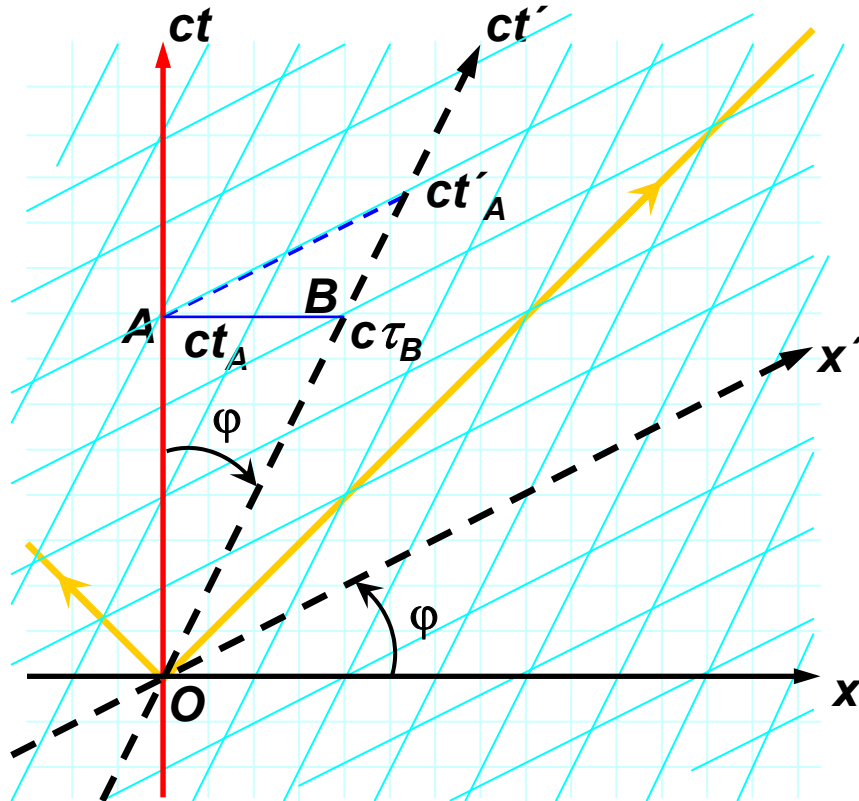
Світові лінії: часо-подібна світло-подібна



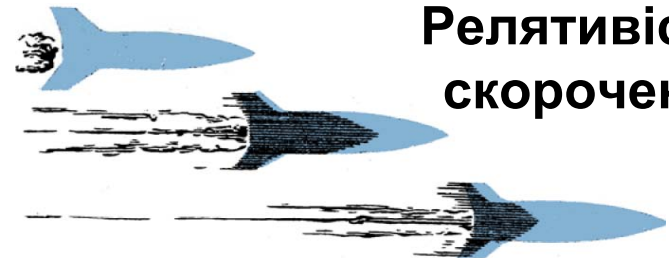
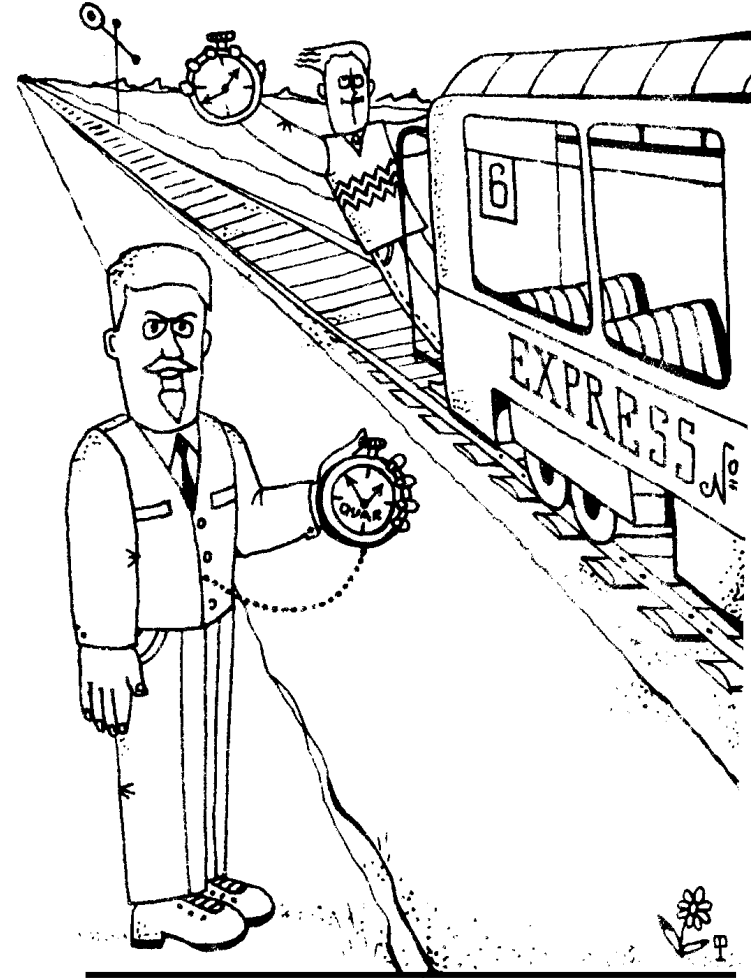
# Релятивіське сповільнення часу:

з нерухомої системи відліку  
рухомі процеси видаються  
повільнішими

$$\tau_B < \tau_A = t_A < t'_A$$

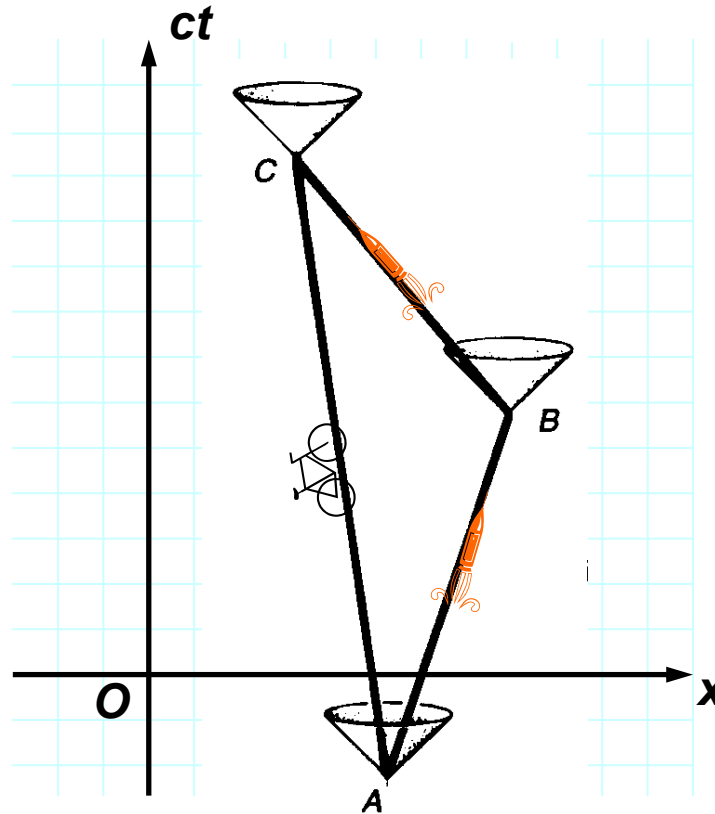
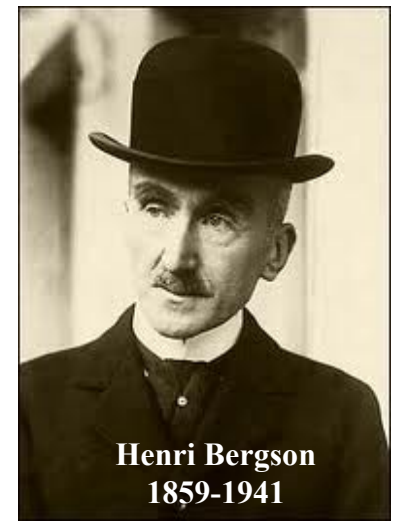


Перетворення Лоренца

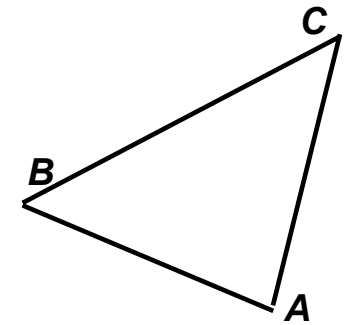


Релятивіське  
скорочення

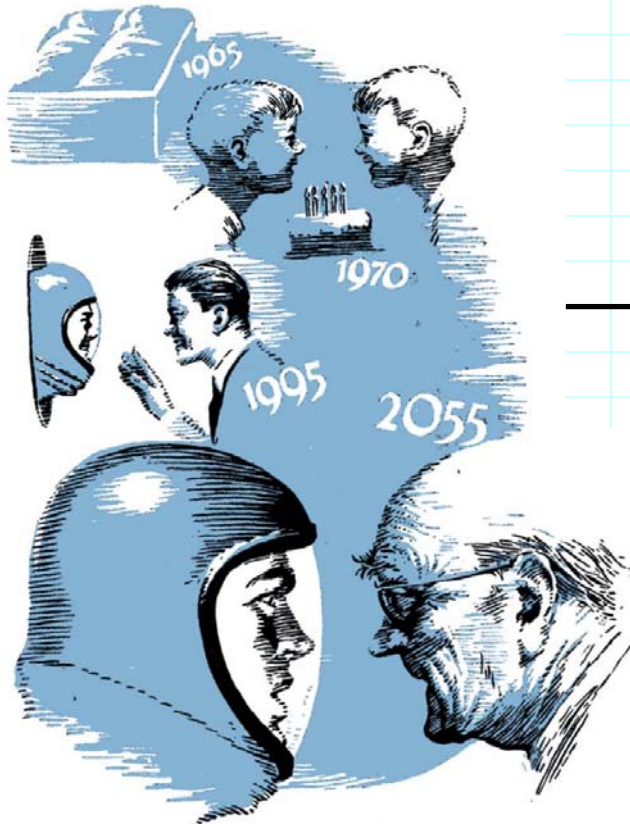
# Парадокс близнюків (1911)

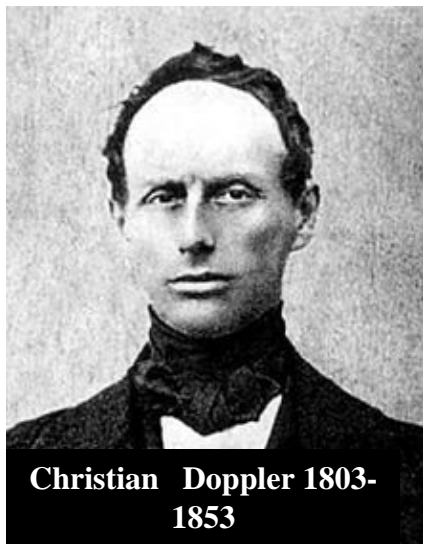


$AC > AB + BC$   
Нерівність  
трикутника у  
часопросторі

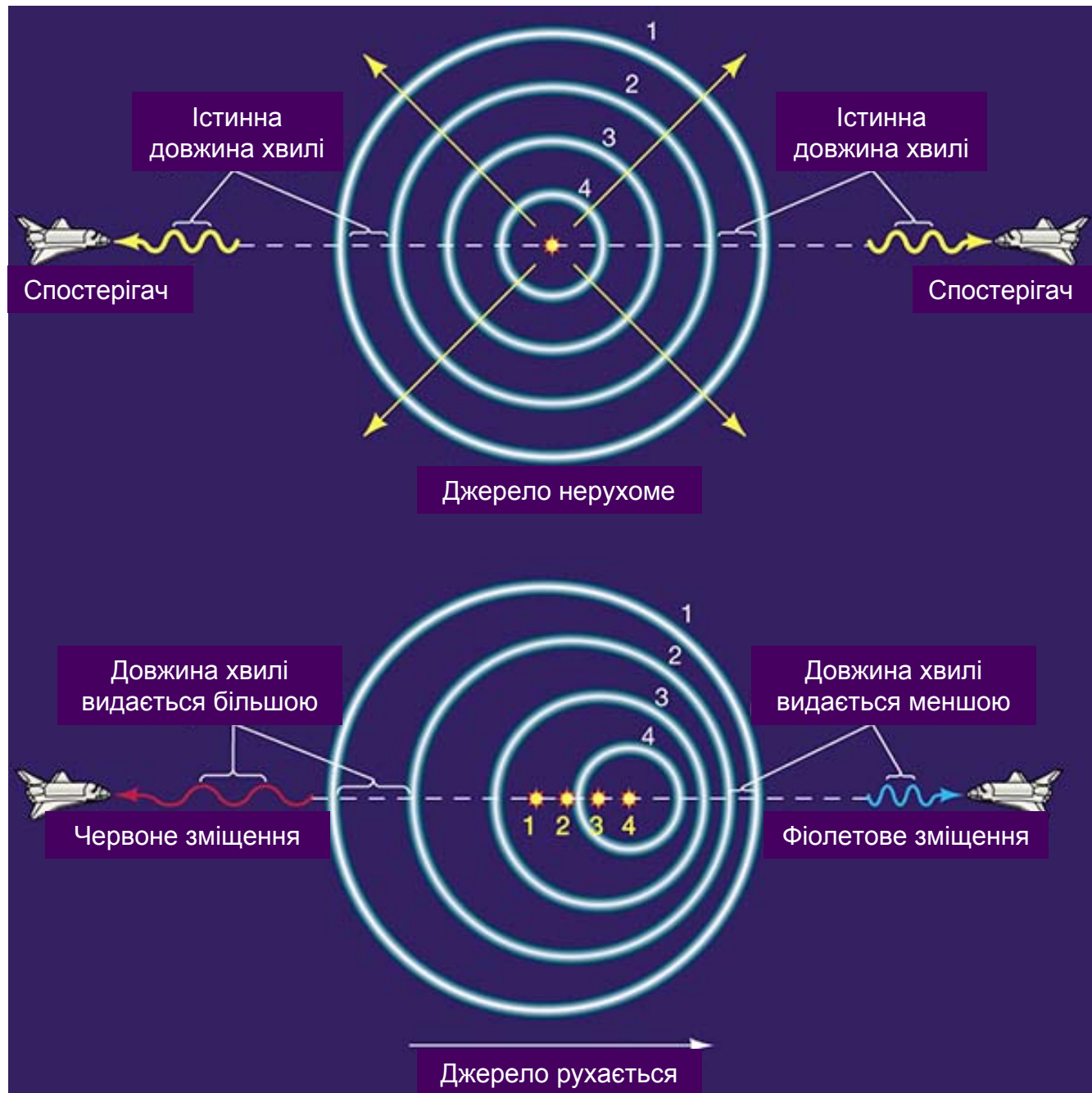


$AC < AB + BC$   
Нерівність  
трикутника в  
евклідовім  
просторі





# Ефект Доплера (1842, Прага)

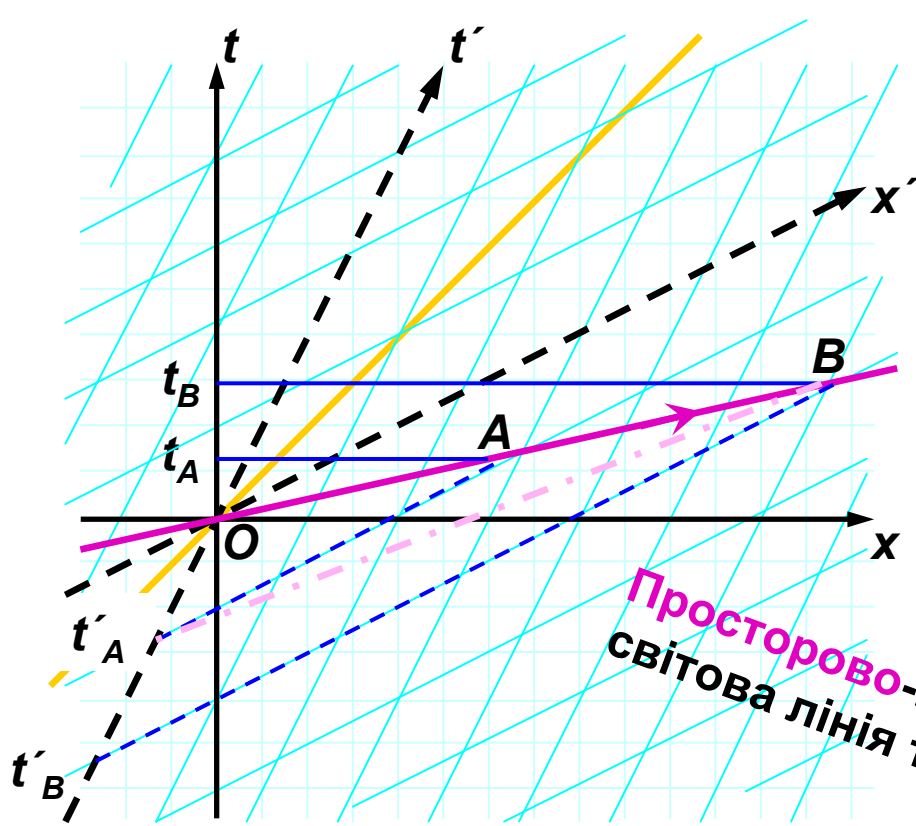
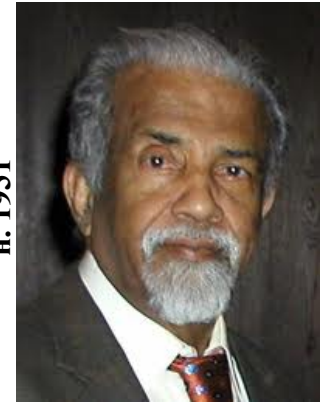


# Тахіони – гіпотетичні надсвітлові частки (1962)

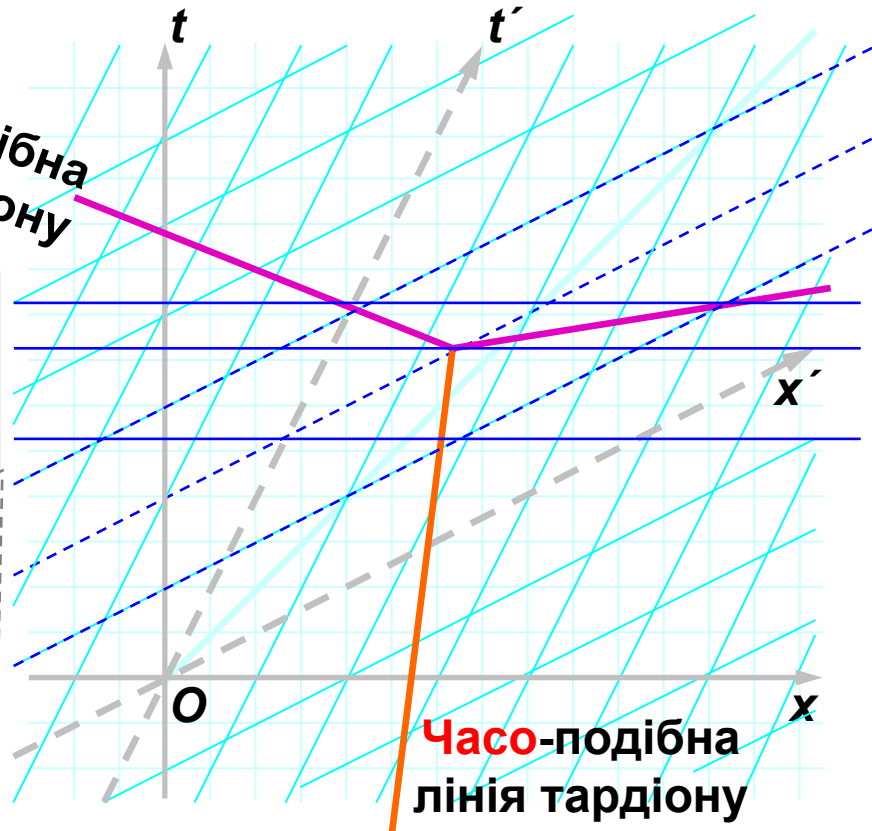
Олекса Біланюк  
1926-2009



George Sudarshan н.  
н. 1931



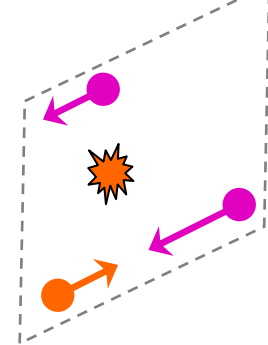
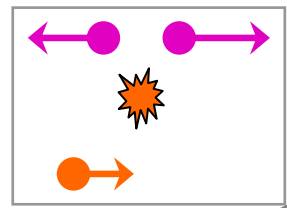
Просторово-подібна світова лінія тахіону



Часо-подібна лінія тардіону

Порушення причинності:  
подорож у минуле ?

Принцип реінтерпретації:  
в різних системах відліку – різна кількість часток

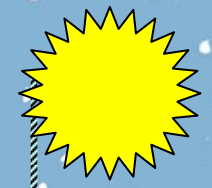


# Принцип еквівалентності Галілея-Айнштейна



Інерційні системи відліку

**Неінерційні системи відліку**



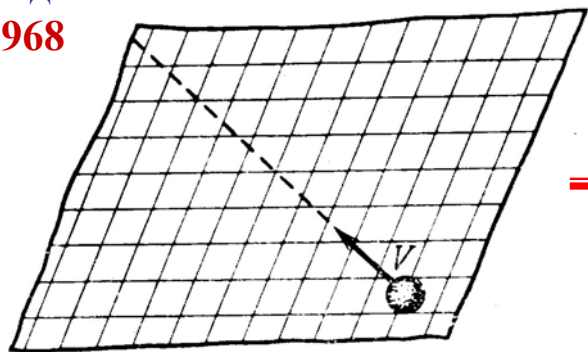
# Загальна теорія відносності (ЗТВ)

Альберт Айнштайн  
(1915)



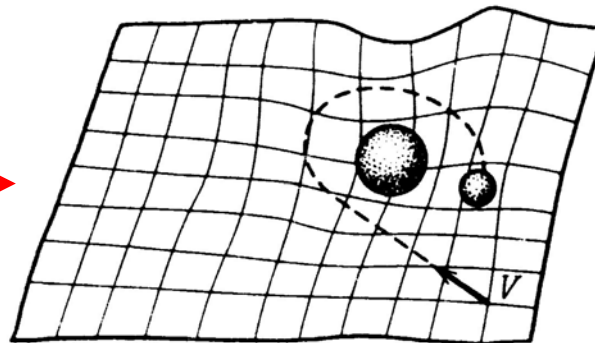
Леопольд  
Інфельд  
1898-1968

СТВ



Псевдо-Евклідов  
(плаский) простір

ЗТВ




Псевдо-Ріманів  
(викривлений) простір

Принцип еквівалентності:  
рух вздовж геодезичних  
(ліній найкоротшої відстані)

Рівняння гравітації:  
кривина  $\sim$  енергія  
(маса)

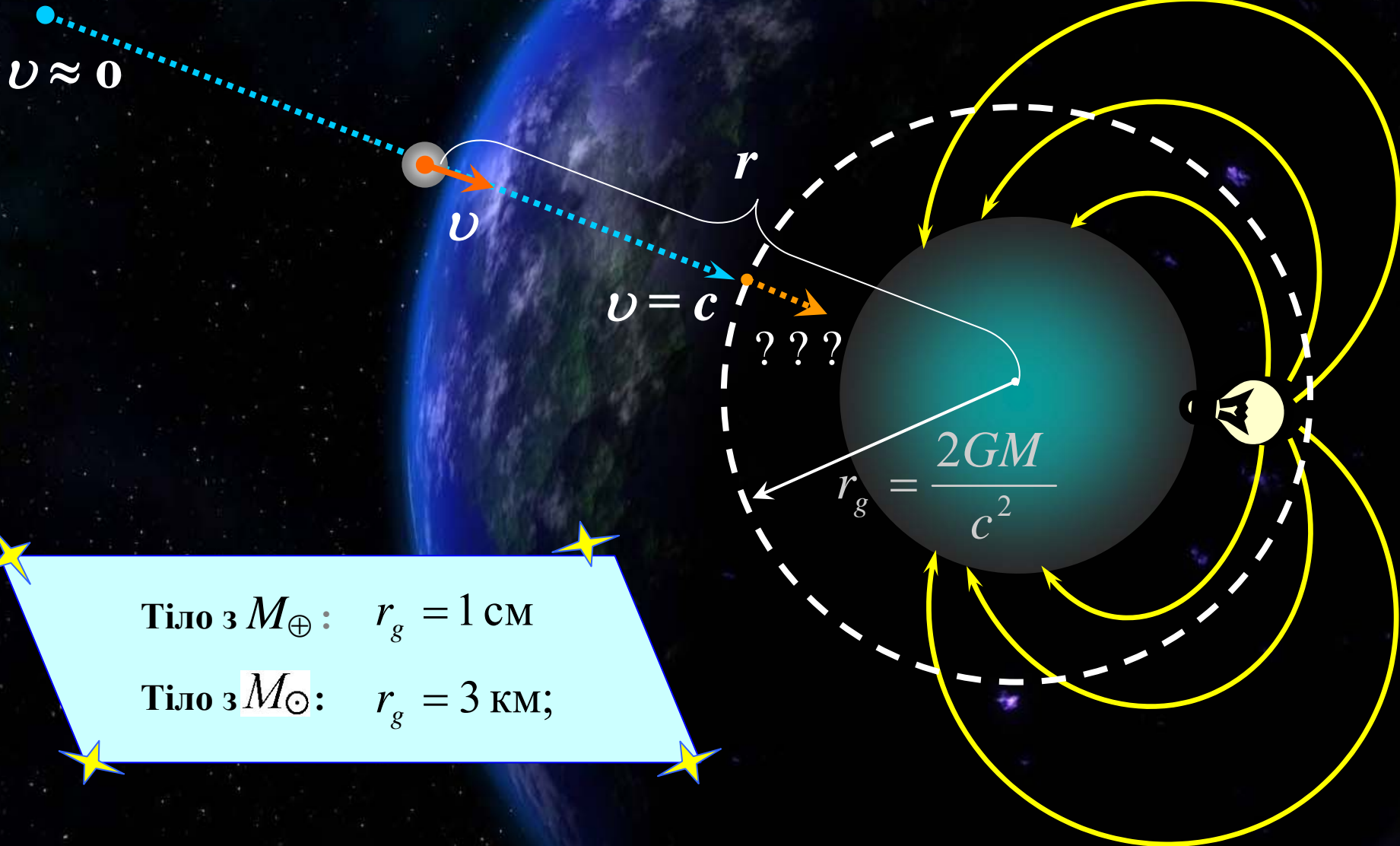




Гравітаційне  
червоне  
зміщення

Заповільнення часу  
в полі тяжіння

# Просте уявлення про чорні діри

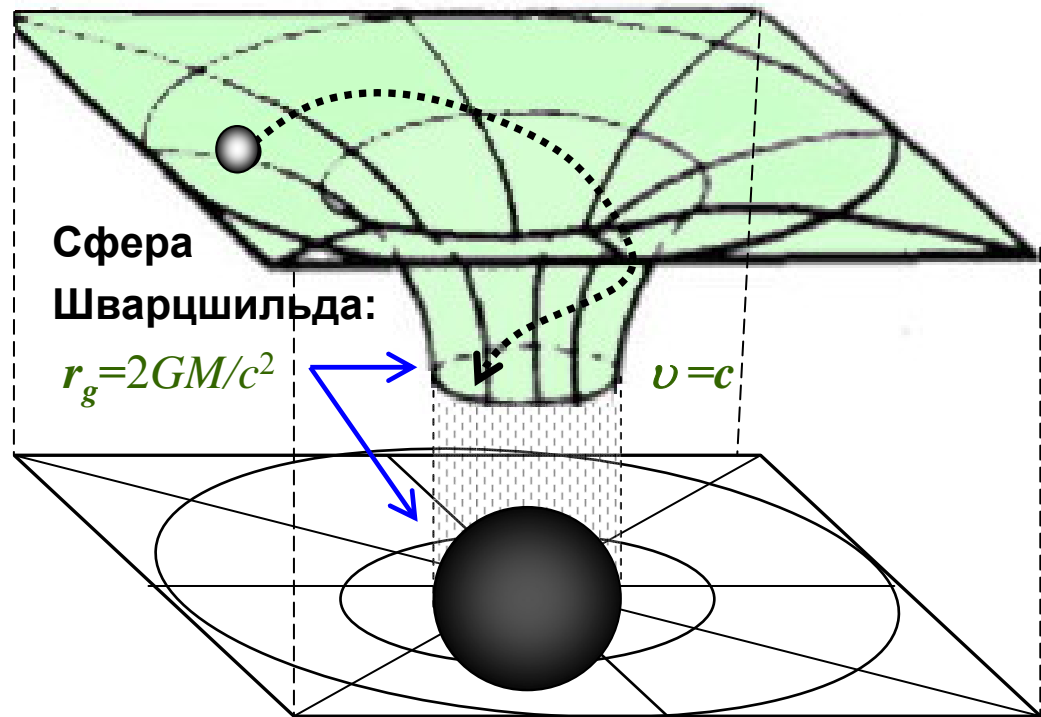


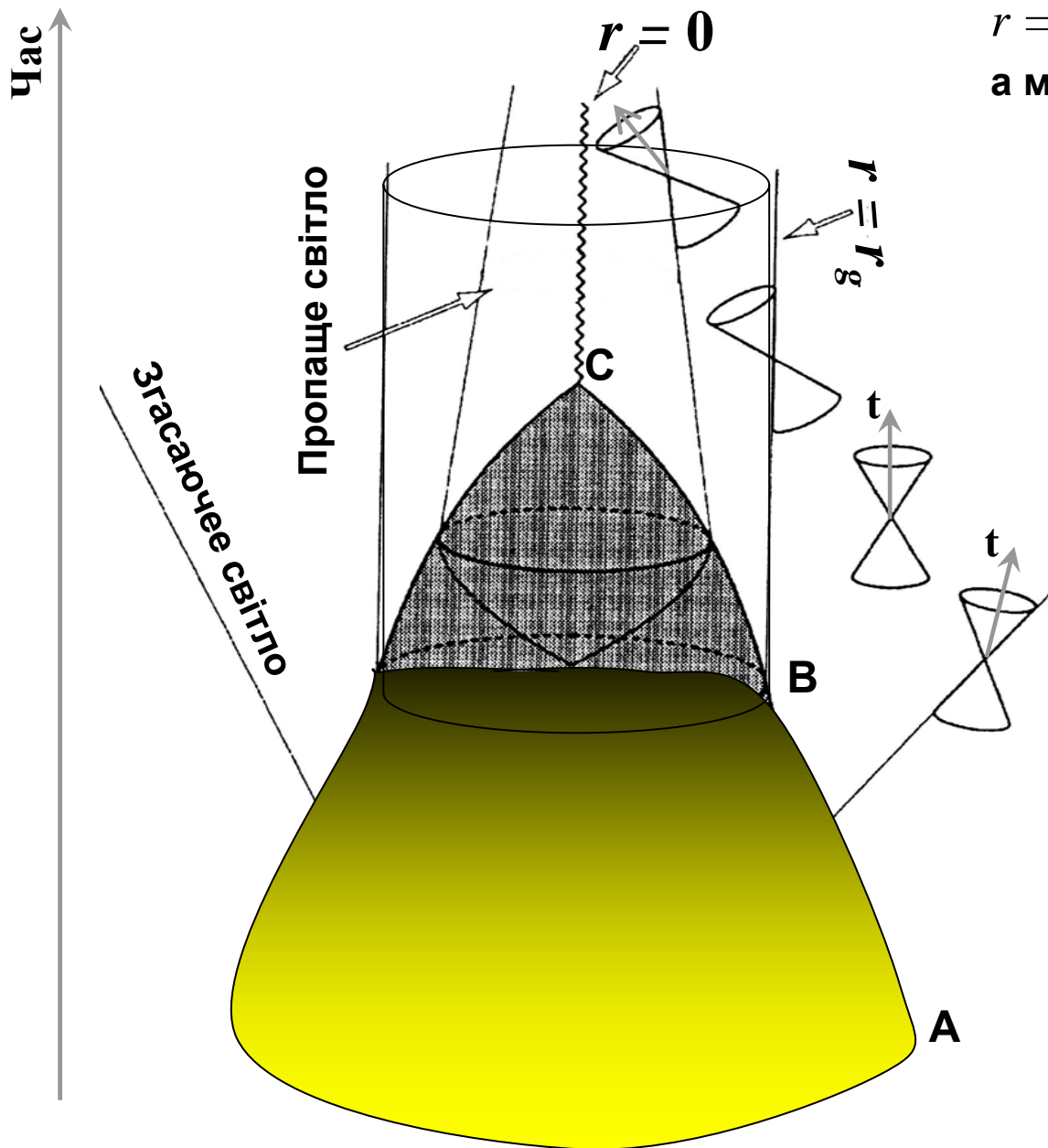
# Геометрія чорної діри в 3ТВ



Карл Шварцшильд  
1873-1916

## Геометрія Шварцшильда (1916)





$r = 0$  не точка у просторі,  
а момент часу (кінець світу) !

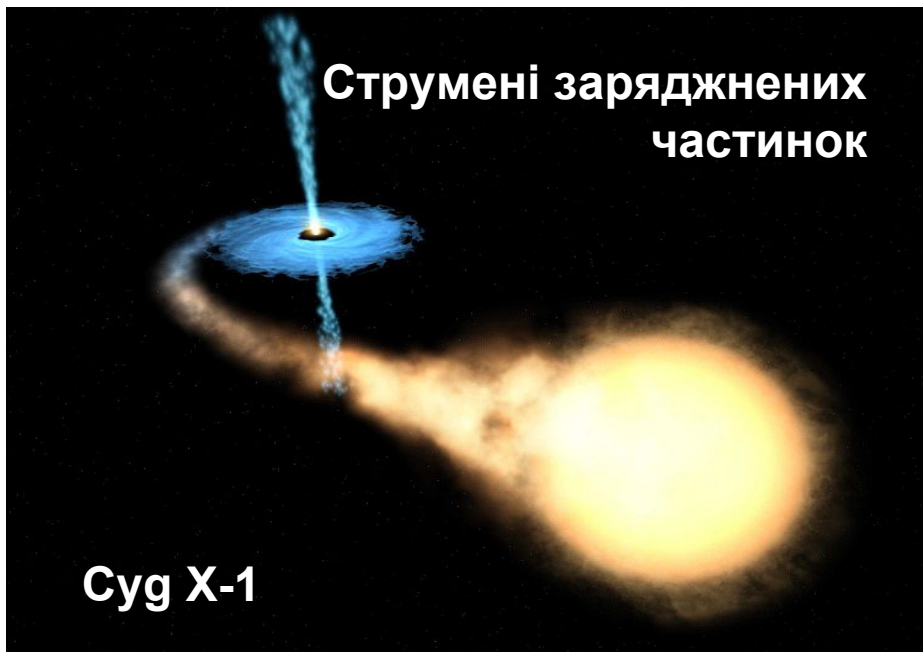
## Утворення чорної діри



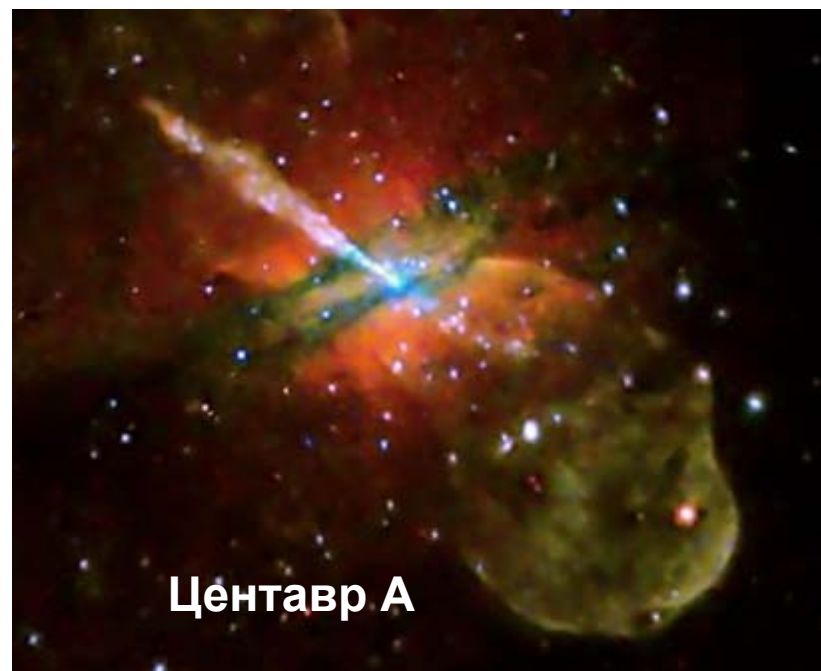
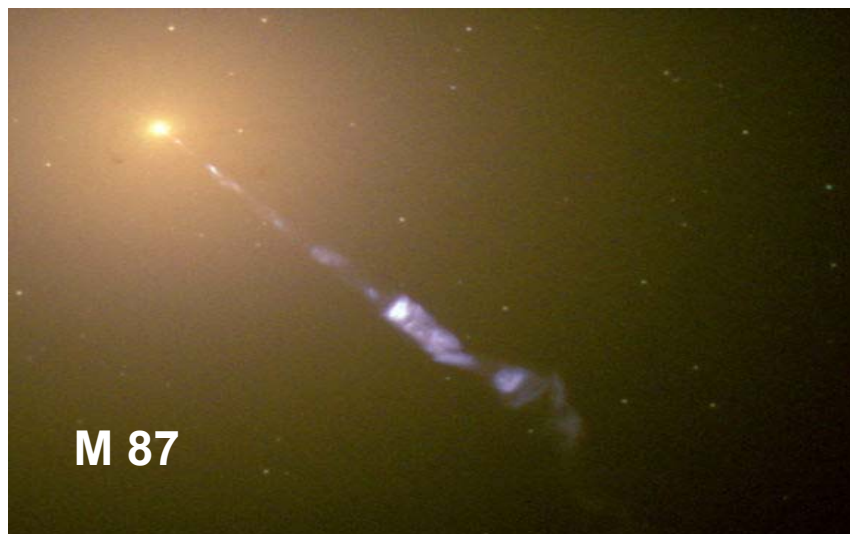
## Гравітаційний колапс зорі

- A** – початок колапсу,
- B** – досягнення  
гравітаційного радіусу,
- C** - сингулярність

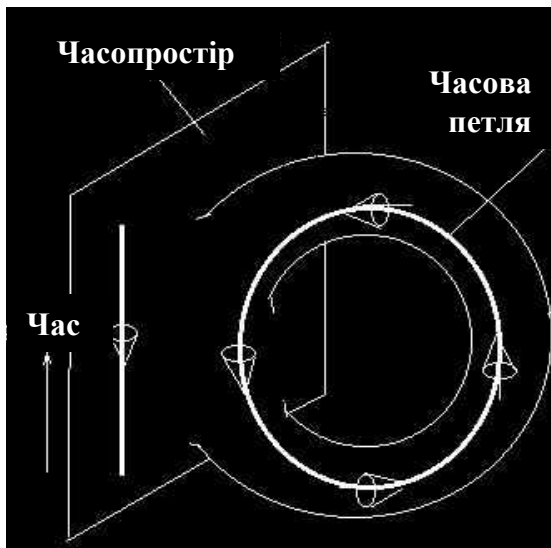
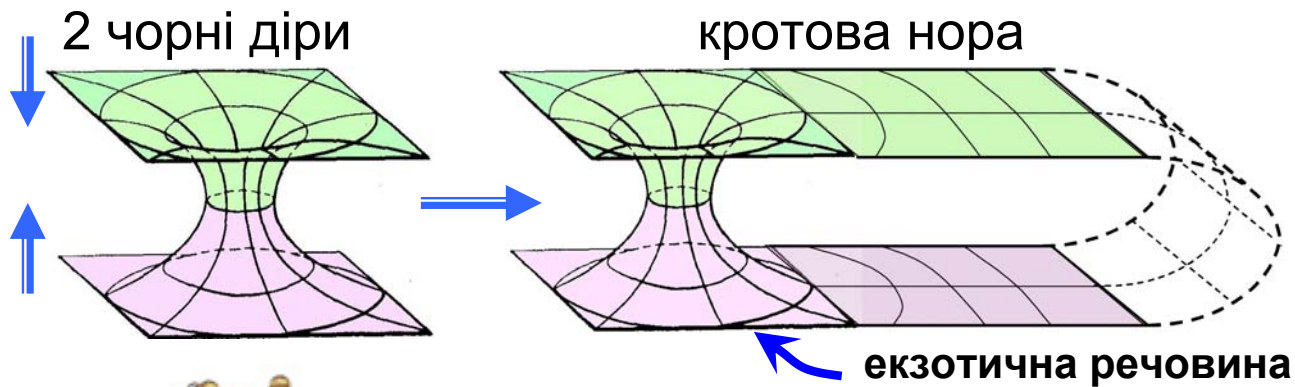
# Чорні діри у всесвіті: залишки наднових



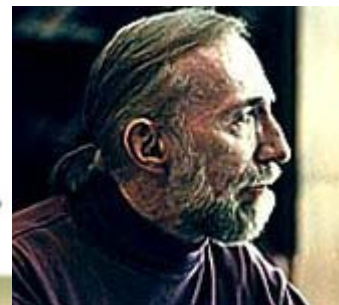
ЧД	М,	L, св. р.
Суг X-1	16	6000
Найближча		1600
Sgr A*	$3.7 \times 10^6$	24 тис.
М 87	$3 \times 10^9$	60 млн.
OJ 287	$18 \times 10^9$	$3.5 \times 10^9$



# Кротова нора: подорож назад у часі ?



Стивен Гокінг



Кіп Торн

## КОРОТКА КРОТОВА НОРА





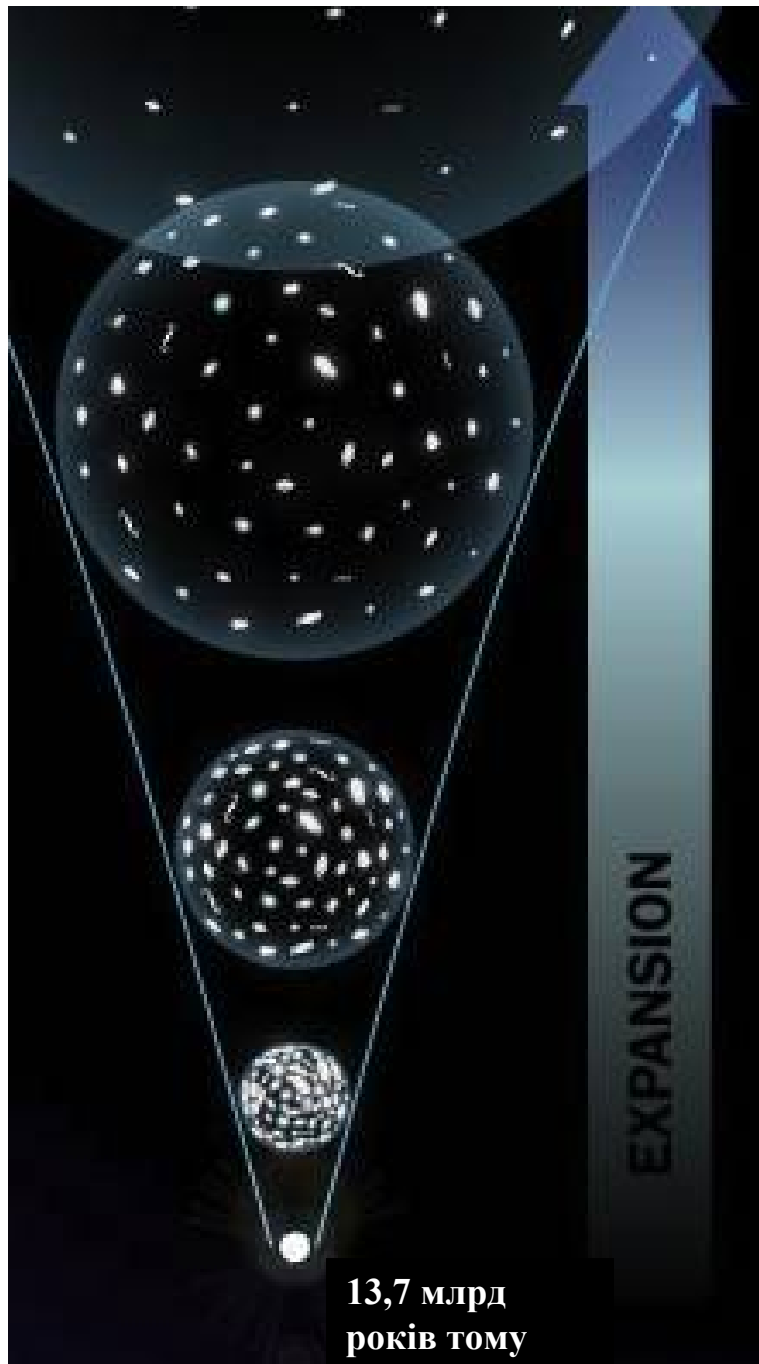
**Александр Фридман**  
1922



**Georges Lemaître**  
1927-1929



**Георгій Гамов**  
1946-1956



# Космологія

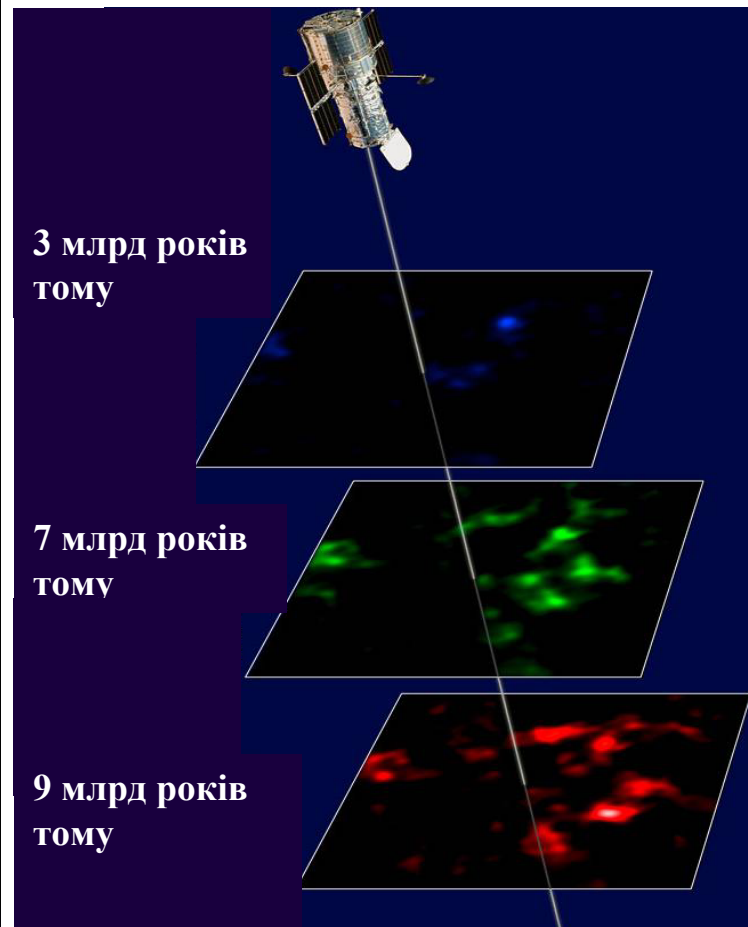
## в ЗТВ:

### абсолютний час

### Всесвіту



**Edwin Hubble 1929**



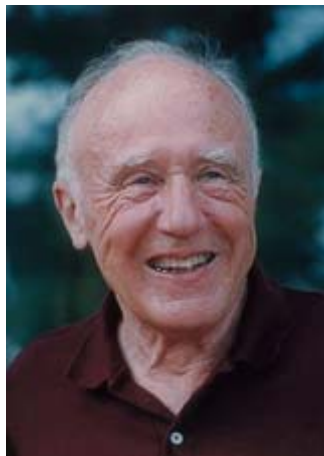
# Квантування часопростору

Планківські одиниці (1900):

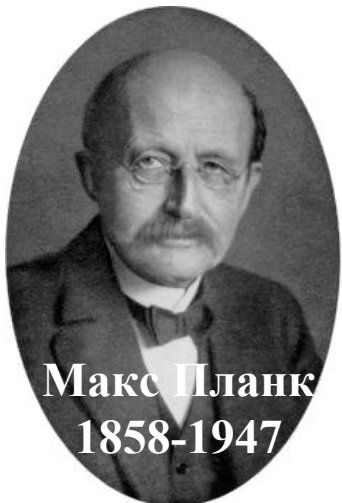
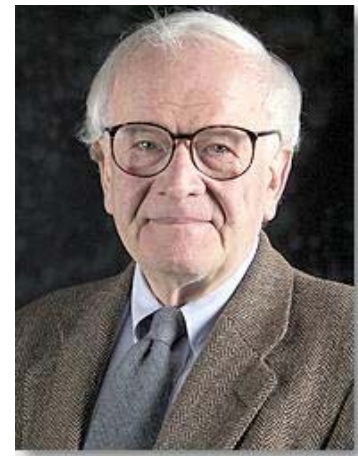
$$\ell_{Pl} = \sqrt{G \hbar / c^3} \approx 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}$$

$$t_{Pl} = \sqrt{G \hbar / c^5} \approx 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ сек}$$

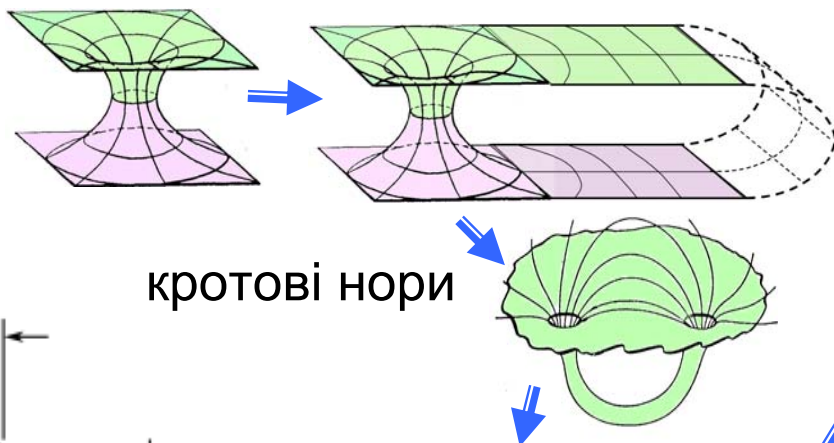
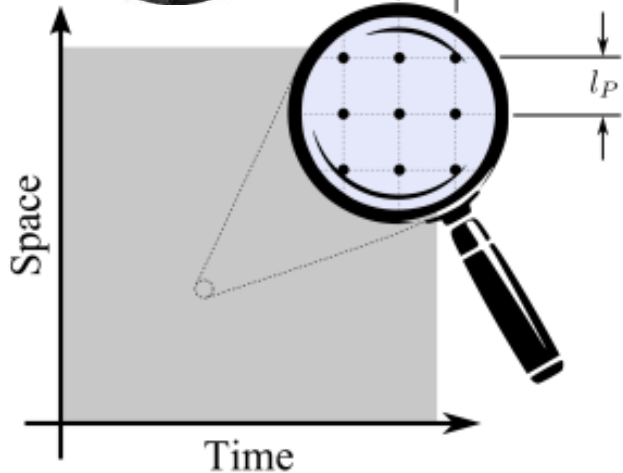
Джон Вілер 1914-2008



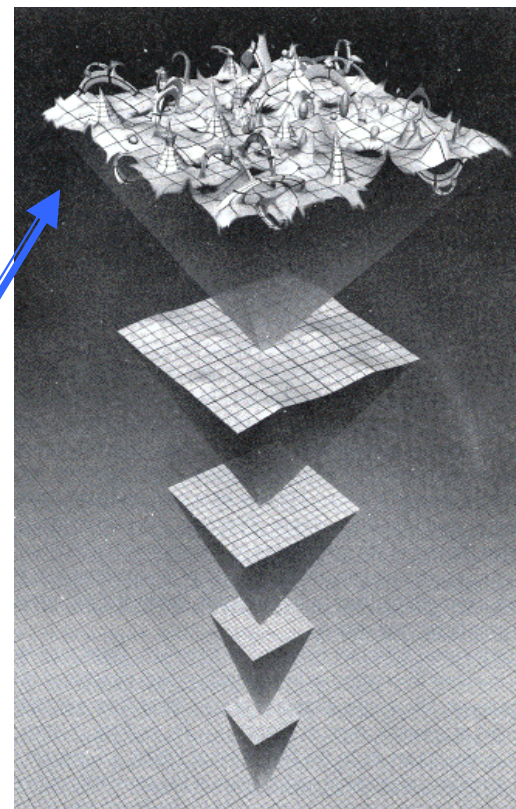
Роман Яцків 1939-...



Макс Планк  
1858-1947



Розміри клітинки:  $t_{Pl} \times \ell_{Pl}$



**Дякую**

**за**

**увагу**

