

# KURT GÖDEL - RELATIVITA, VESMÍR, ČAS



# Fyzika 20.století

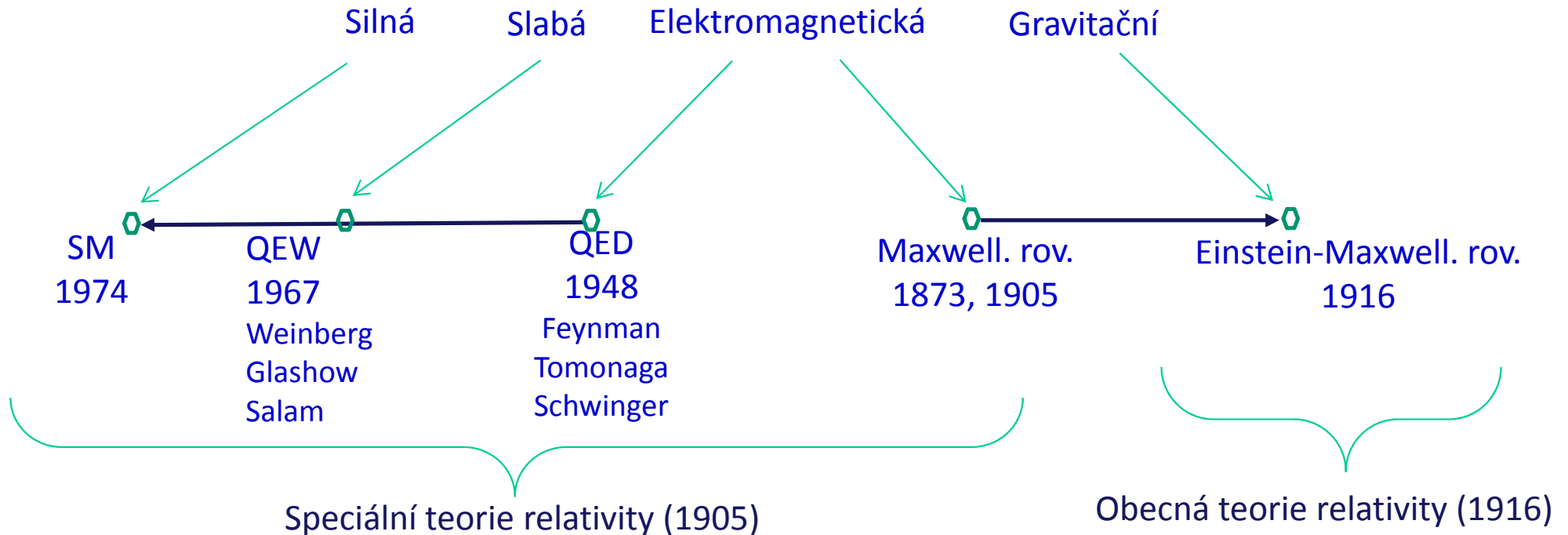
Mikrosvět

Kvantová teorie – hmota  
Planck, Schrödinger,  
Heisenberg, Bohr, Dirac  
(1900-1930)

Makrosvět a vesmír

Teorie relativity – prostor a čas  
STR (1905) → OTR (1915)

Interakce



Higgsův boson  
Předpověď 1964  
Objev 2012  
Nobel.cena 2013

Gravitační vlny  
Předpověď 1916  
Objev 2015  
Nobel. cena 2017

# ČAS – NEJDÉMONIČTĚJŠÍ FILOSOFICKÁ KATEGORIE

Co je vlastně čas? Kdo to může snadno a lehce vysvětlit? Kdo jej může pochopit svými myšlenkami, aby to pak vyjádřil slovy? ...

Co je tedy čas? Vím to, když se mě naň nikdo neptá, mám-li to však někomu vysvětlit, nenajdu slova ...

Jak jsou ony dva časy, minulý a budoucí, když minulý už není a budoucí ještě není?

# FILOSOFICKÉ KOŘENY

Co je to vlastně čas? Tato otázka z Augustinových Vyznání se stala po dobu šesti let ústřední otázkou pro Kurta Gödela.

Gödel po nějaký čas zamýšlel studovat teoretickou fyziku. Od začátku pobytu ve Vídni jej však uchvátila matematika, a to zejména její filosofické problémy spojené s logikou.

1929-1947 soustavná práce v matematické logice

1946-1949 plné soustředění na filosofii času:  
5 rukopisů a výsledná publikace

1949-1952 konkrétní, vysoce „technické“ výsledky v relativistické kosmologii:  
veřejná přednáška, 2 publikace

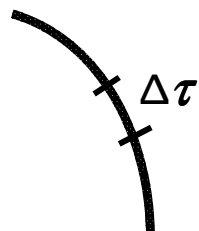
Gödelovo fyzikální dílo je vzácným příkladem, kdy počáteční čistě filosofický zájem vyústil do zásadních výsledků v rámci exaktní vědy.



# ČAS (a PROSTOROČAS) v OBECNÉ TEORII RELATIVITY

$$c^2 d\tau^2 = g_{ik} dx^i dx^k$$

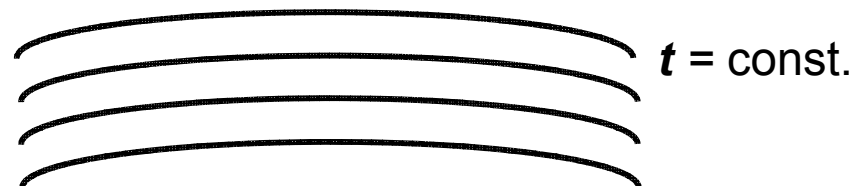
vlastní čas



Délka světočáry  
(absolutní)

$$x^i = (ct, x^\alpha)$$

souřadnicový čas



vrstvy současnosti  
(relativní)

$$R_{ik} - \frac{1}{2}R g_{ik} - \lambda g_{ik} = \kappa T_{ik}$$

geometrie      temná energie?      hmota

Co zde chybí ve srovnání s našim vnímáním času?

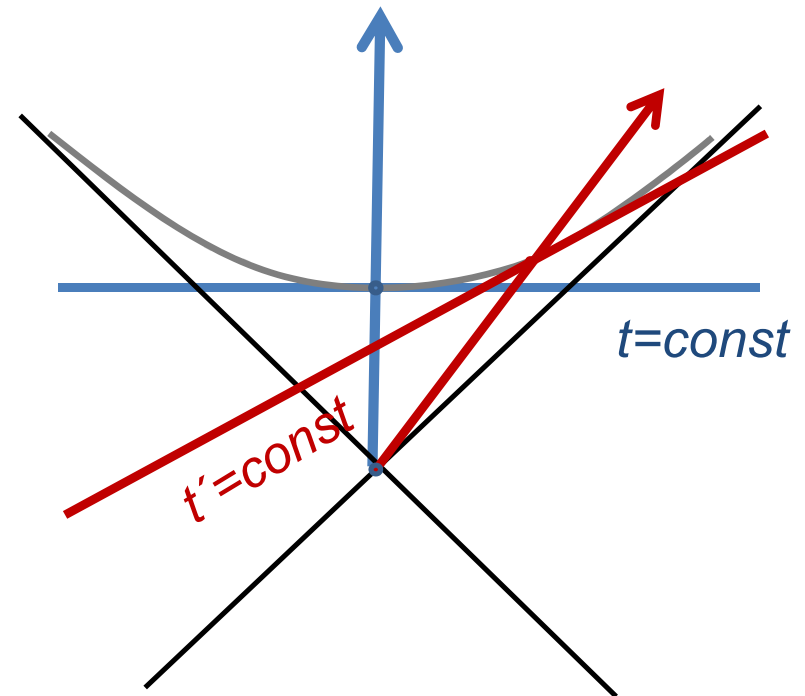
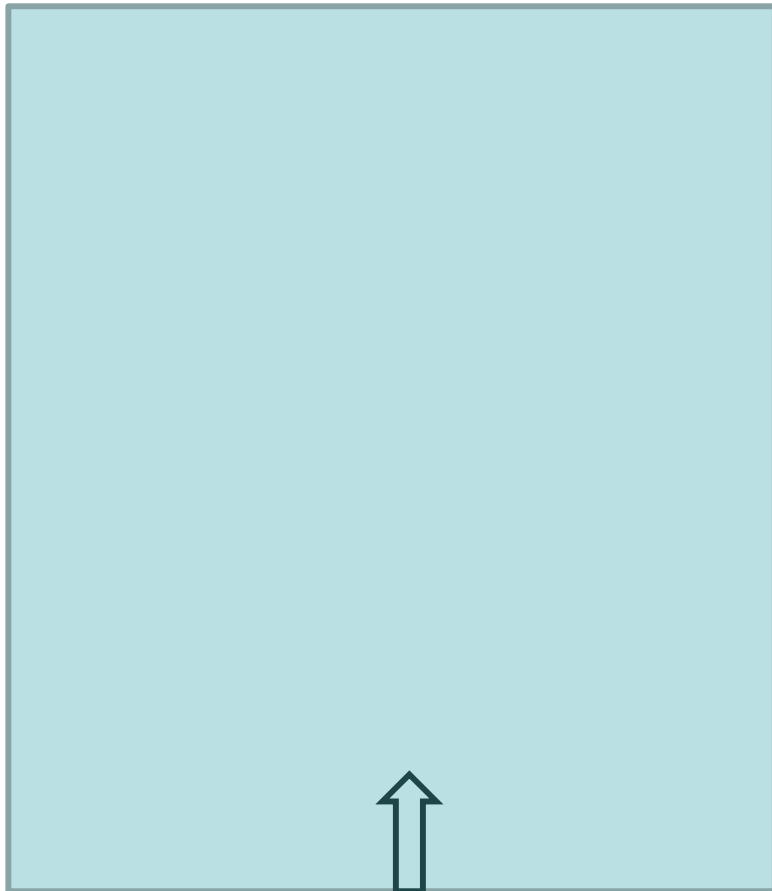
- I. Šipka (směr minulost - budoucnost)
- II. Opona (plynutí času)

# ŠIPKA ČASU a OPONA ČASU

Newtonovská fyzika – opona je zvedána šipkou

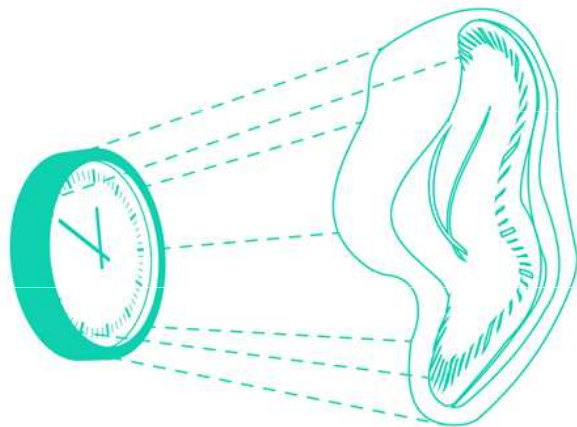
Statistická fyzika – fyzikální motivace pro šipku (entropie), je fyzikální šipka všudypřítomná (tepelná smrt)?

Speciální relativita – pochybnosti o objektivní existenci opony (každá vztažná soustava má svou oponu, která je tedy „ta pravá“?)



# JAK SE ČAS MĚŘÍ

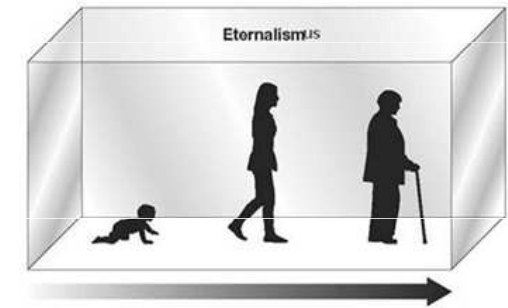
- Společná míra (vlastního) času
- Solidární hodiny
- Kalibrace
- Synchronizace
- Biologický čas
- Kvantum času



# ZÁKLADNÍ FILOSOFICKÉ DILEMA

- **Eternalismus:**

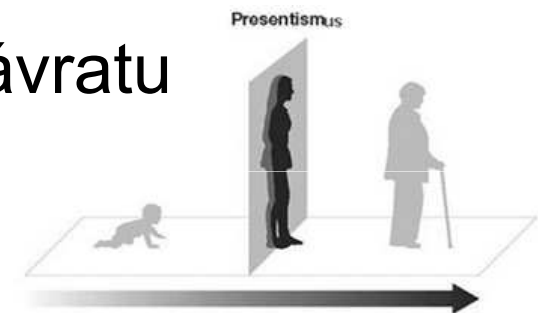
Prostoročas existuje jako pevně daný celek. O minulosti, přítomnosti či budoucnosti lze mluvit jen z hlediska vědomého prožitku.



- **Presentismus:**

Existuje pouze přítomnost, která se neustále rodí a okamžitě zaniká. Minulost již není, budoucnost ještě není. Prostoročas je v nejlepším případě pomocná konstrukce.

Souvislosti: determinismus, idea věčného návratu



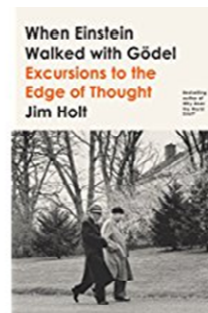
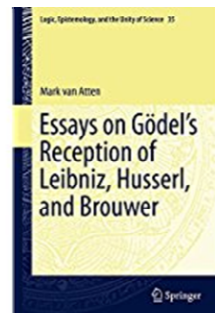
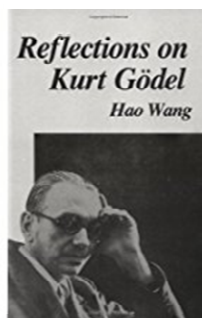
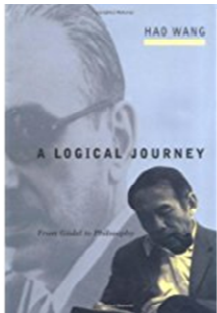


# Gödelovy filosofické práce o čase

- Some observations about the relationship between theory of relativity and Kantian Philosophy (1946-49)
- 5 rukopisů – 2 in Gödel's Collected Works III

## Výsledná práce:

- A remark on the relationship between relativity theory and idealistic philosophy, Albert Einstein: Philosopher-Scientist (Library of Living Philosophers), P. Schilpp (ed.), La Salle, IL: Open Court, 1949, pp. 555–562. Reprinted in Gödel 1990, pp. 202–207



# Gödelovy citáty

- Na začátek bych rád přímo řekl, že nejsem naprostým přívržencem Kantovy filosofie. Pouze bych rád ukázal, že mezi teorií relativity a Kantovou naukou o čase a prostoru existuje v jistém smyslu překvapivá podobnost a že rozpor mezi nimi není zdaleka tak zásadní, jak se často domníváme.

(Kurt Gödel: Collected Works: Volume III: Unpublished Essays and Lectures)

- Zkrátka to vypadá tak, že lze podat přesvědčivý argument pro názor těch filosofů, kteří jako Parmenides, Kant, a moderní idealisté popírali objektivnost změny a pokládali změnu buď za iluzi nebo za zdání působené naším zvláštním způsobem vnímání.

(Kurt Gödel: Collected Works: Volume II: Publications 1938-1974)



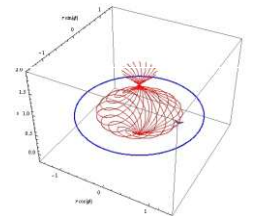
# Rotace v kosmologii

Speciální teorie relativity podporuje eternalismus (množství opon nahrává názoru, že plynutí času není objektivní. Obecná teorie relativity jde na první pohled v tomto směru ještě dál (opony nemusí být ortogonální ke světočarám, nýbrž mohou být zcela libovolné).

Kupodivu však standardní kosmologie (homogenní a isotropní) nám nabízí návrat k newtonovskému hledisku.

*Jeans (Man and the Universe, Lecture 1935):*

...nemáme důvod opustit intuitivní ideu objektivně plynoucího absolutního času.



*Na druhé straně Gamow (Rotating Universe?, Nature 1946):*

Jeden z mysteriozních výsledků astronomických studií vesmíru spočívá v tom, že planety, hvězdy a galaxie se nacházejí ve stavu více či méně rychlé rotace...

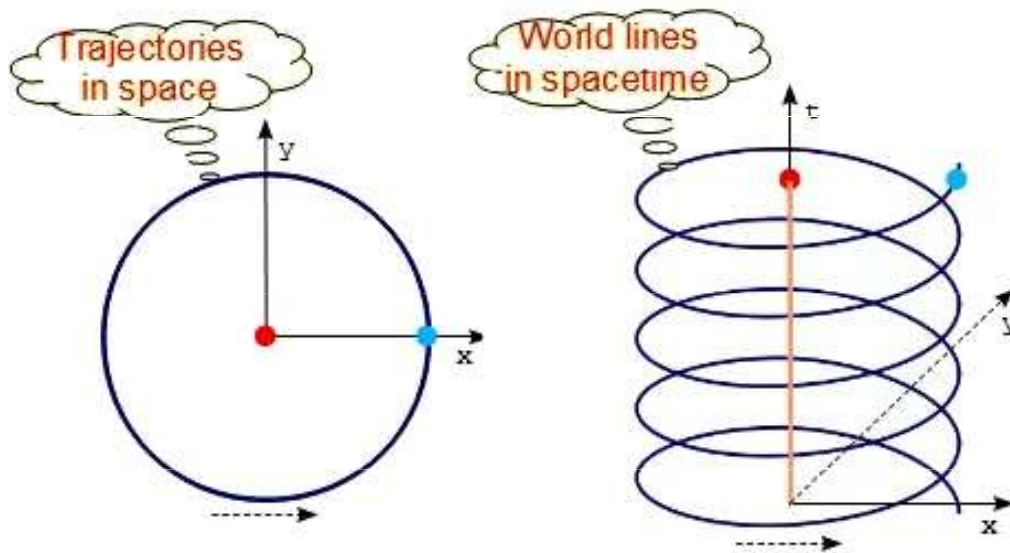
Můžeme si položit otázku, zda bychom nemohli předpokládat, že veškerá hmota ve viditelném vesmíru obecně vzato rotuje.

Takový rotující vesmír by pravděpodobně mohl být anisotropním řešením základních rovnic kosmologie.

# Rotující vztažné soustavy

Není možné prořezat prostoročas plochami současnosti ortogonálními ke světočarám privilegovaných pozorovatelů rotující soustavy.

Nemáme tedy geometrickou oporu pro objektivní plynutí času



**Gödelovy hlavní výsledky** ... dokázal více, než zamýšlel:  
našel vesmír, který nelze vykládat jako sled současností

$$ds^2 = g^{ik} dx^i dx^k$$

$$ds^2 = a^2 \left[ \left( dT + e^X dY \right)^2 - dX^2 - \frac{e^{2X}}{2} dY^2 - dZ^2 \right]$$

$$\frac{1}{a^2} = 8\pi G\rho \qquad \lambda = -4\pi G\rho$$

souřadnice  $T, X, Y, Z$

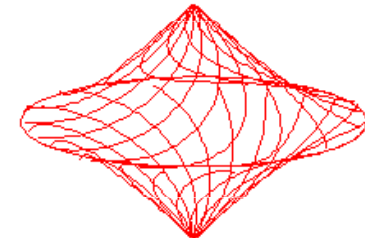
kosmologická konstanta  $\lambda$

hustota hmoty  $\rho$

$$ds^2 = 4a \left[ dt^2 - dr^2 - dy^2 + (sh^4 r - sh^2 r) d\varphi^2 - sh^2 r d\varphi dt \right]$$

souřadnice  $t, r, y, \varphi$

$\varphi$  je časupodobné pro:  $sh^4 r > sh^2 r$



# ČASOVÁ SMYČKA

Pozor na rozdíl mezi cyklickým časem (věčný návrat) a světem bez času!

Rindler: ... Ačkoliv to může být problém pro filosofy, pro fyziky tu žádný fyzikální ani logický problém není. Už dávno se naučili žít a pracovat za takového stavu věcí.

Gödel, Einstein, Mach, Gamow, and Lanczos: Gödel's remarkable excursion into cosmology, American Journal of Physics 77, 498 (2009)

Kdo přišel první s časovou smyčkou?

Rindler: ... Gödelův vesmír je jejím nejskvělejším příkladem, je určitě první, který vzbudil široký zájem, a možná první, kde byla časová smyčka explicitně rozpoznána.

Patrně první příklad časové smyčky ve vědecké publikaci ukázal Lanczos: (patrně se domníval, že jde pouze o cykličnost).

Lanczos. C., Über eine stationäre kosmologie im sinne der einsteinschen gravitationstheorie (In German). Z.Phys. 21 (1924)

# Gödel a Mach

Gödel: .. O tomto světě lze říci, že rotuje jako celek (jako tuhé těleso)...

Je ovšem také možné a dokonce názornější si jej myslet jako tuhé těleso v klidu, přičemž setrvačnickové kompasy vzhledem k tomuto tělesu rotují.

Tento stav věcí evidentně ukazuje, že setrvačné síly jsou do značné míry nezávislé na pohybovém stavu hmoty. To odporuje Machovu principu, ale nikoliv obecné teorii relativity.

## **Hawking:**

Jinými slovy, podle Machova principu je setrvačnost tělesa pouze relativní vzhledem k jiným hmotám ve vesmíru. Obecně se to bere tak, že podle tohoto principu lokální inerciální soustava definovaná setrvačnickými nemůže rotovat vzhledem k soustavě určené vzdálenými galaxiemi.

... Většina dnešních fyziků však nemá sklon přijímat Machův princip, protože jim připadá, že si to vyžaduje dělat neobhájitelný rozdíl mezi geometrií prostoročasu, která představuje gravitační a setrvačné pole, a jinými formami hmoty.



# Principální důsledky Gödelovy práce

Inspiration pro filosofii času - Barbour, Penrose, Smolin ...

Nové myšlenky o kauzalitě - Carter, Geroch, Hawking, Ellis, Penrose ...

Nové kosmologické modely - mixmaster, rotující newtonovské modely...

Role symetrie v obecné relativitě - Bianchiho prostoročasy...

Hlubší rozbor vztažných soustav a kongruencí (souborů) světočar



Figure 1



Figure 2



Einstein o Gödelovi

Rozlišení „dříve-později“ není v Gödelově vesmíru možné pro události, které jsou dostatečně vzdáleny v kosmologickém smyslu. Tak vznikají různé paradoxy ohledně kauzálních souvislostí. Bylo by zajímavé zkoumat, zda prostoročasy daného typu nelze vyloučit na základě fyzikálních argumentů



# Kurt Gödel 1906 - 1978

- 1949 An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation, *Rev. Mod. Phys.* 21
- Homogenní (ale neizotropní) stacionární rotující vesmír se zápornou kosmologickou konstantou
- Byl si vědom existence časových smyček ve svém řešení



Oslava 70tin Alberta Einsteina v Institutu pro pokročilá studia.

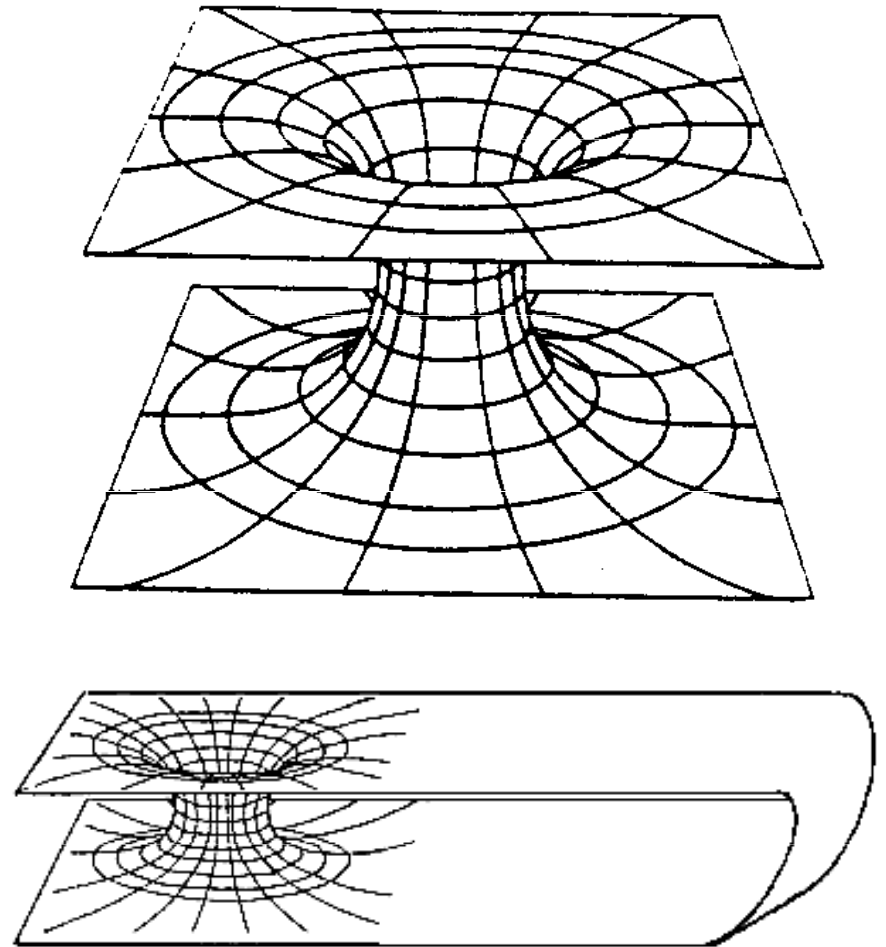
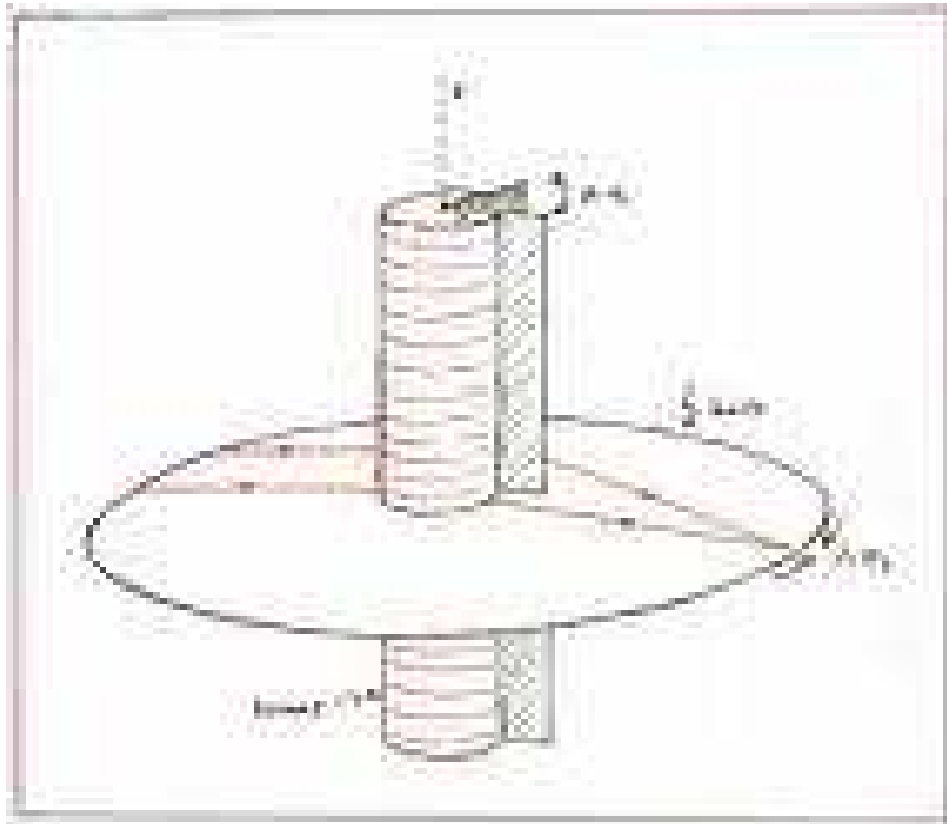


Zleva: H. P. Robertson, E. Wigner, H. Weyl, K. Goedel, I. I. Rabi, A. Einstein,  
R. Ladenburg, J. R. Oppenheimer, and G. M. Clemence.

# Co je stroj času?

- (Kocik) Oblast prostoročasu, která připouští uzavřené časupodobné křivky (nechronologická oblast). Někdy též prostoročas, který takové křivky připouští.
- (Encyklopedie) Technické zařízení (eventuálně fiktivní či hypotetické), které umožňuje cestu v čase tam a zpět (je ovladatelné).
- Vytvoření stroje času v druhém smyslu má eventuálně dvě etapy: vytvoření příslušného prostoročasu + vytvoření vlastního stroje. Geometrický útvar v prostoročase však může být i integrální součástí stroje.

# Kosmická struna, červí díry



# Paradoxnost návratu v čase

- Kauzální paradox. Něco z ničeho. Hmota, informace
- Dědečkův paradox
- Hawkingova hypotéza zachování chronologie: prostoročasy s uzavřenými časupodobnými křivkami jsou fyzikálně nesmyslné
- Novikovova hypotéza o konzistentnosti:
- Historii nelze změnit. Časupodobné uzavřené křivky existují, ale fyzikální zákony paradoxům nějak zabrání



# A CO Z TOHO VYPLÝVÁ?

- Gödel ukázal, že existence vesmíru s časovými smyčkami neodporuje obecné teorii relativity. Je to určitý podpůrný argument pro eternalismus.
- Základní otázka reality či ilusornosti plynutí času se tím neřeší. Je vůbec možné ji řešit v rámci „naturalistické“ přírodovědy?
- „Subjektivní“ aspekty otázky – co bychom považovali za žádoucí?
- Einstein, Eddington, Popper ...

# Stroj času v beletrii

Svatopluk Čech: Nový epochální výlet pana  
Broučka, tentokrát do XV. Století

H. G. Wells: Stroj času.

Marc Twain: Yankee z Connecticutu na dvoře  
krále Artuše



# A co básníci?

Všechno, co jest, čas hltavý stravuje, všechno tu sápe,  
všechno tu odklízuje – trvati nesmí tu nic.

Umdlévá vodní proud, břeh vysouší moře, jež prchá,  
výšiny ssedají stále, klesají hřebeny hor.

*Jestliže je čas toliko jiný rozměr, pak vše, co umírá,  
zůstává na živu, není vyhlazeno, ale jen posunuto  
z našeho obzoru. Una dosud žije!*



# A CO BÁSNÍCI?

Vzpomínám: Opa ... břehem topoly  
do mostu siných spěl polí pruh ...  
tam šel před lety děd můj po poli  
a rukou těžkou obracel pluh.

Smím věřit lidem učeným oněm,  
co praví: žití vrací se v kruh –  
půjdu též jednou za hnědým koněm,  
nad čelem slunce, pod rukou pluh?

*Vždyť život je jen vzlyk, a jiný život není  
a pod tím rozstříleným praporem je krásy dost.*

# Literatura

- K. S. Thorne: Černé díry a zborcený čas
- J. Al-Khalili: Černé díry, červí díry a stroje času
- J. R. Gott III: Cestování časem v Einsteinově vesmíru
- Červí díry, kosmické struny, paralelní vesmíry...