

The background features a dark blue gradient with a subtle starry pattern. On the left side, there are several overlapping circular elements: a large scale with numerical markings from 140 to 260, and several smaller circles with dashed lines and arrows, suggesting a technical or scientific theme.

KRATKA POVEST STIVENA HOKINGA (1942-2018)

MILAN M. ĆIRKOVIĆ

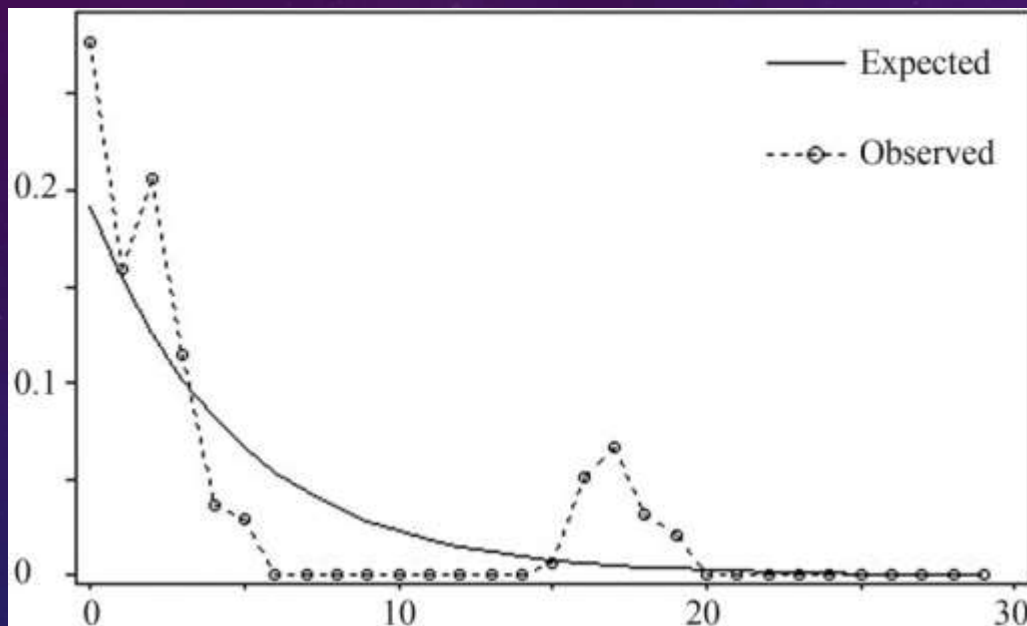
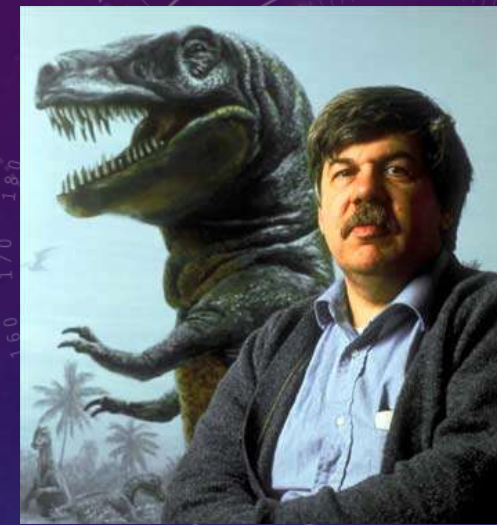
MCIRKOVIC@AOB.RS

03. 04. 2018.

SUVIŠE SMO BLIZU...



THE MEAN IS NOT THE MESSAGE (S. DŽ. GULD)



- Simpsonovci...
- 1963: „Imate još 2 godine...“
- Šta znači bimodalna raspodela?

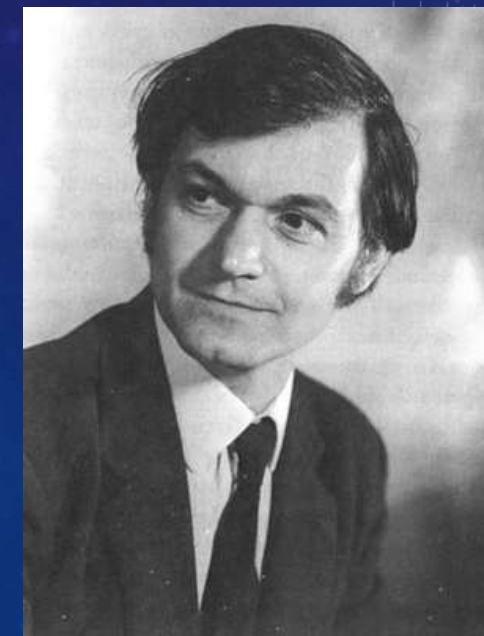
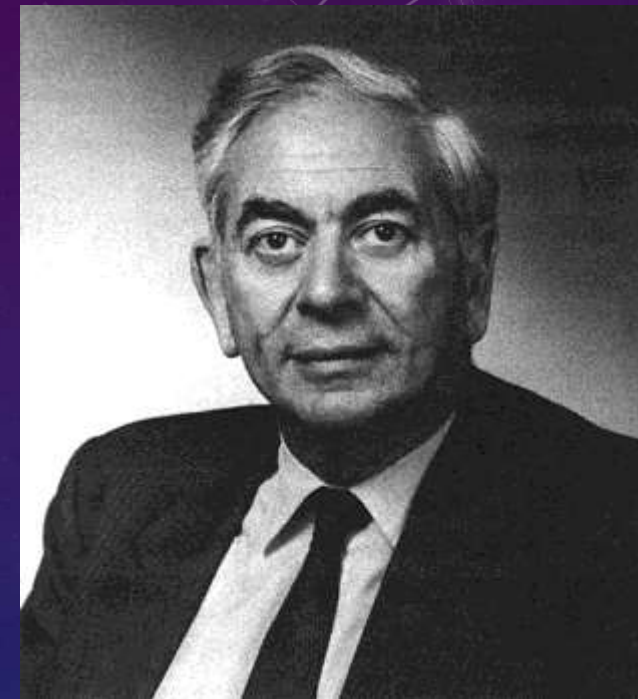


„AKO MI NE DATE NAJVIŠU OCENU, OSTAĆU OVDE...” (1962)



UTICAJ MENTORA

- Dvojica ljudi koji su najviše uticali na Hokinga:
- **Denis Šama**: jedan od najvećih pedagoga u istoriji astronomskih nauka.
 - „Mnoštvo“ kosmoloških modela – začetak Hokingove kasnije radne filozofije.
- **Ser Rodžer Penrouz**: matematičar, fizičar, filozof, polihistor...
 - Razvoj matematičkih (pre svega topoloških i drugih **globalnih**) metoda.



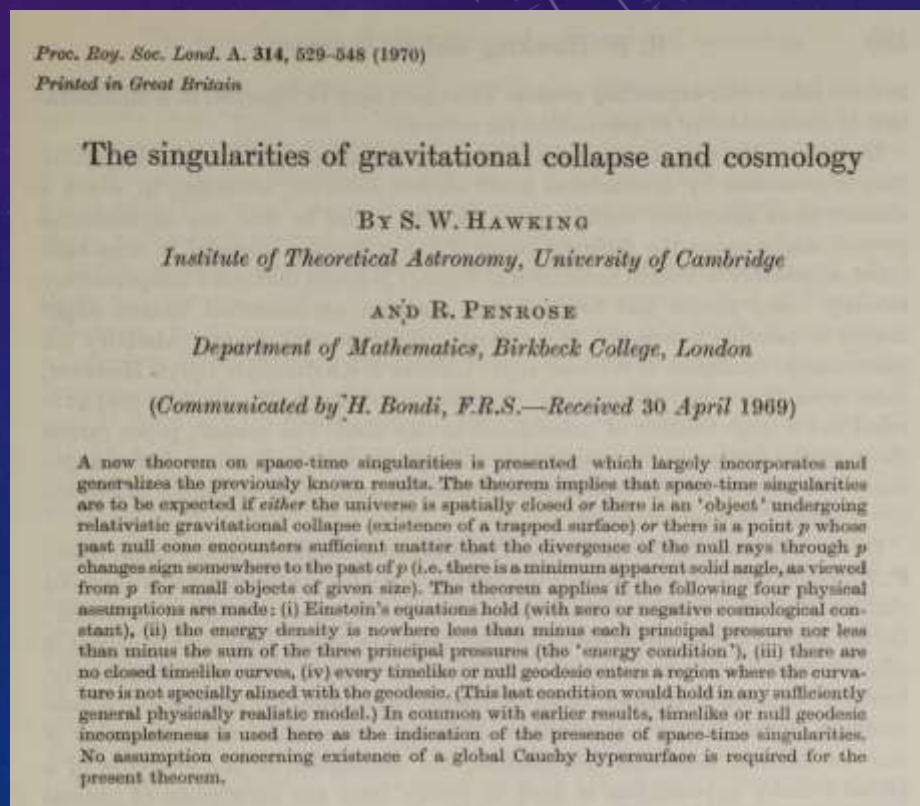
HOKING I KLASIČNA GRAVITACIJA/KOSMOLOGIJA

- „Velika kontroverza“ u kosmologiji (1948-1965).
- 1963: otkriće kvazara
- 1965: CMB
- Hoking – poslednja generacija kosmologa pod velikim uticajem Večnog stanja
- 1965: Hokingova disertacija *Properties of expanding universes*
- Sadrži interesantne naznake kasnijih interesovanja...



TEOREME O SINGULARNOSTIMA

- „Spoj nespojivog“: apstraktnog topološkog formalizma i fizičke mašte/intuicije.
- Najvažniji rezultat u klasičnoj gravitaciji od Ajnštajna do danas.
- Epistemološka konfuzija oko toga šta je „teorema“.
- Za razliku od Penrouza, Hoking nikad nije insistirao na deduktivnom pristupu...



MISTERIJA 1916-1967: ŠTA KLASIČNO ŠVARCŠILDOVO REŠENJE ZNAČI?



- Skoro pola veka nakon Švarcšilda – beskonačne debate...
- Metrika

$$ds^2 = -c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} + r^2 (d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2)$$

- nije matematički dobro definisana za:

$r = 0$ odnosno

$$r = r_g \equiv \frac{2GM}{c^2}$$

singularnost

horizont
događaja



ŠTA SE DEŠAVA UKOLIKO SISTEM FERMIONA NIJE U STANJU DA SE STABILIZUJE PRITISKOM?

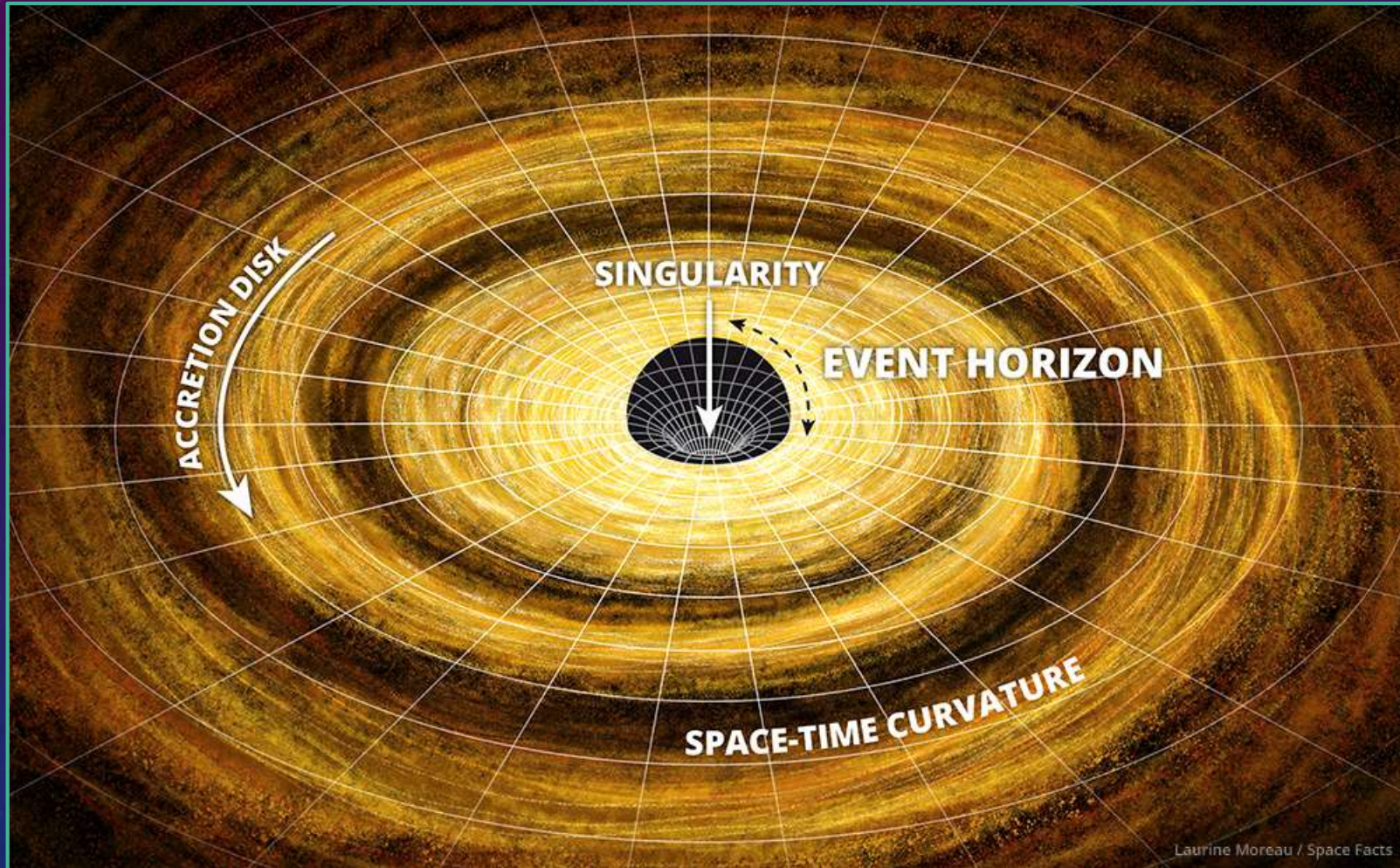
- Čandrašekar, Openhajmer i ostali...



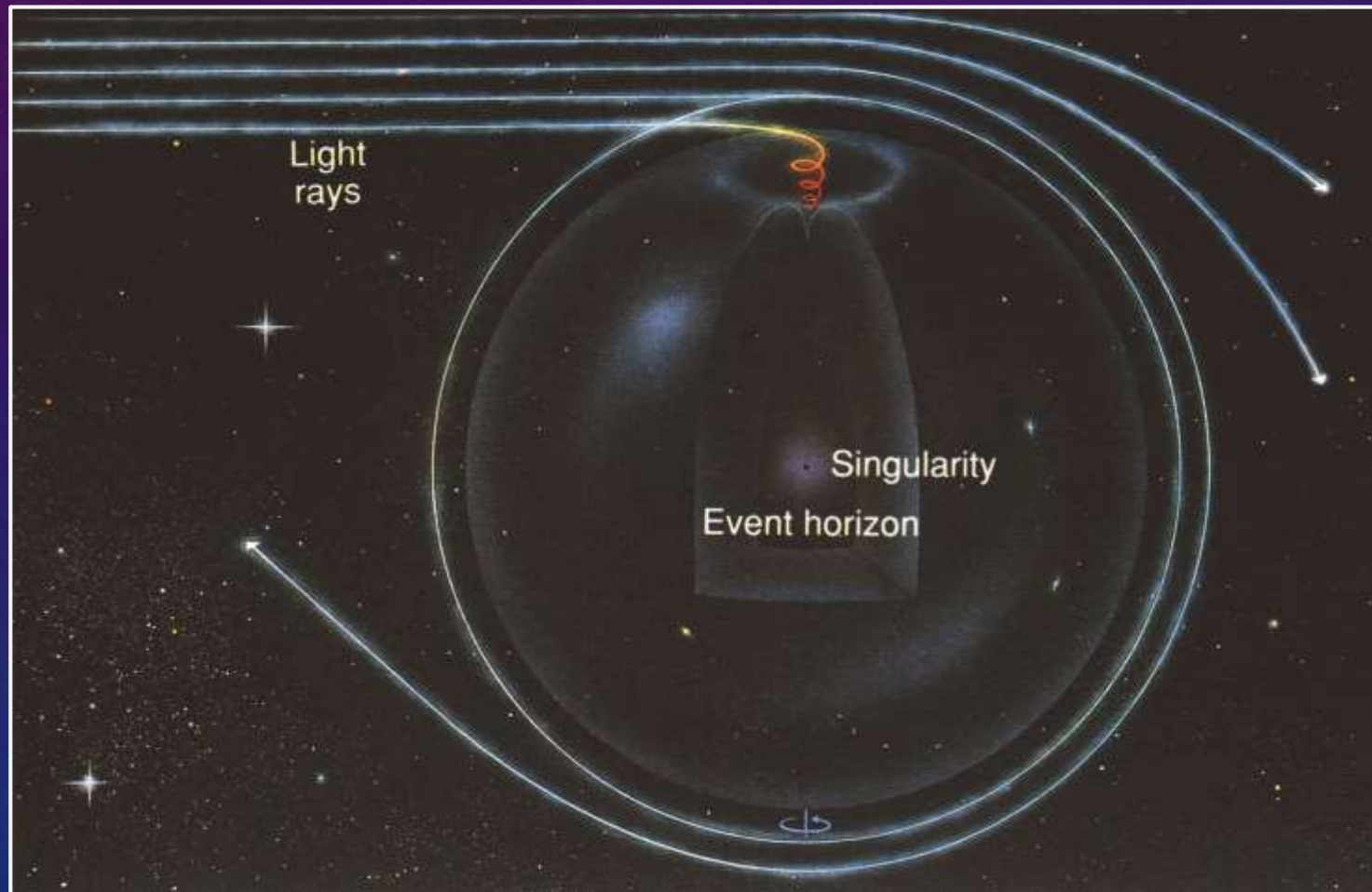
→ $M_{\text{TOV}} \approx 2.01 \pm 0.04 M_{\odot}$

- Pulsar PSR J0348+0432: beli patuljak + neutronska zvezda

IZGLEDA DA NIŠTA NE MOŽE DA SPREČI KOLAPS U CRNU RUPU!



NAIVNA PREDSTAVA CRNE RUPE

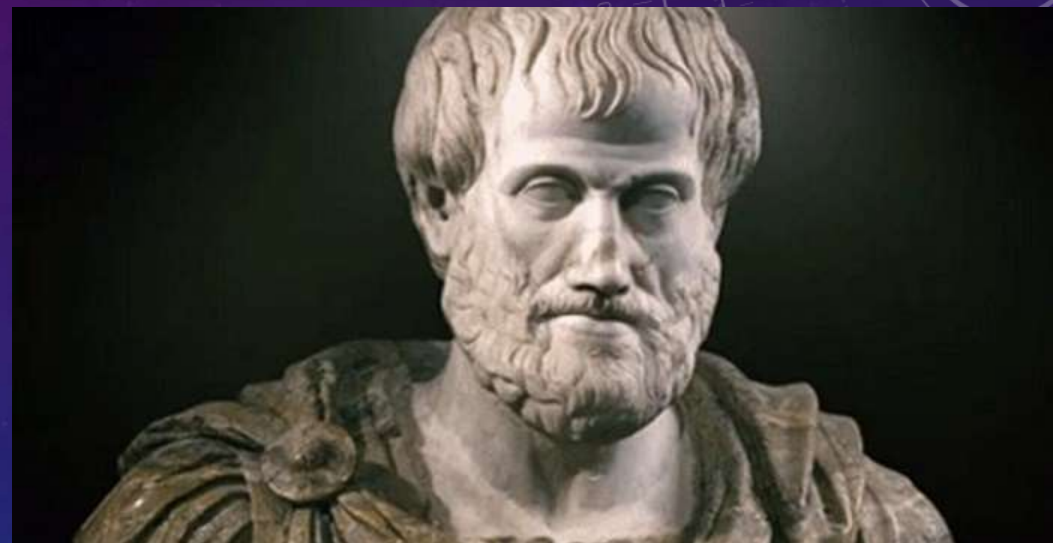


SINGULARNOSTI SU BESKONAČNO (!) NEPRIHVATLJIVE

- **ZAKONI PRIRODE (OTR) PREDVIĐAJU POSTOJANJE SINGULARNOSTI!**

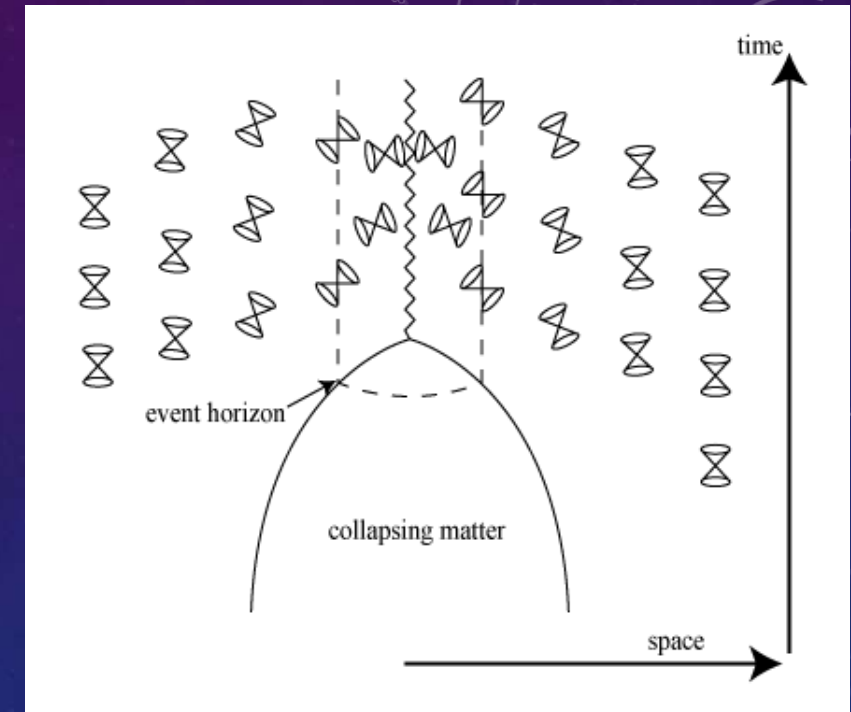


- **U SINGULARNOSTIMA ZAKONI PRIRODE PRESTAJU DA VAŽE!**

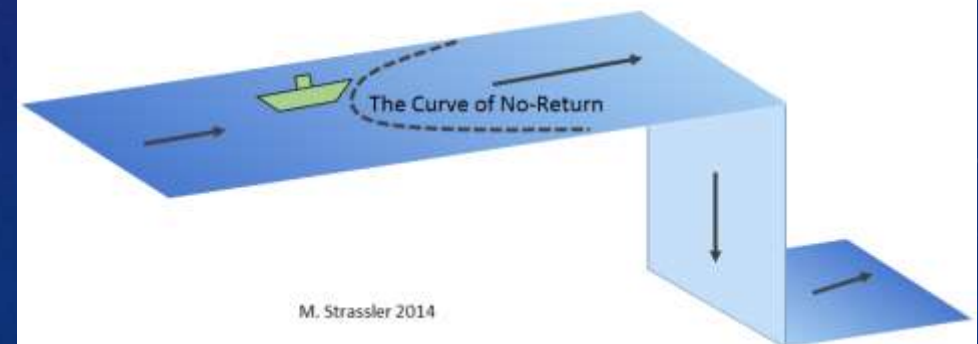


ALI KAKO DA ZNAMO DA JE UNUTAR HORIZONTA DOGAĐAJA ZBILJA SINGULARNOST?

- Moraju li singularnosti **zaista** da postoje?
- Da li bi nešto moglo da spreči kolaps (npr. jednačina stanja, asimetrija)?
- Penrouz-Hokingove teoreme o singularnostima (cca. 1973): **NE!**
- Mnogo verzija, sve sa 3 sastojka:
 - energetski uslov;
 - globalna hiperboličnost („pozadina“); i
 - gravitacija u posmatranoj oblasti dovoljno snažna (*trapped surface*).



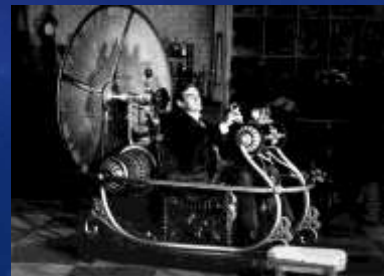
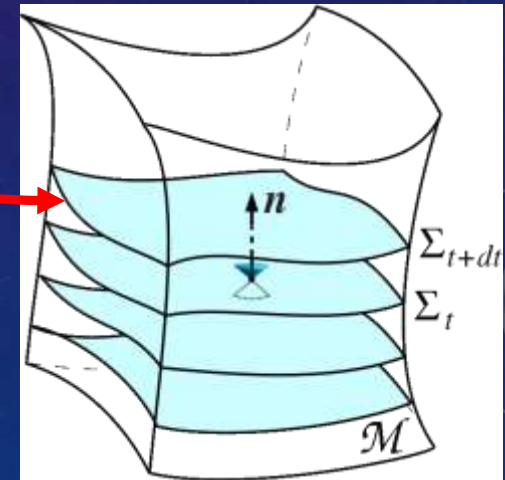
A Person In a Boat that Crosses the Curve of No-Return Will Notice Nothing at the Time, But is Doomed To Go Over The Waterfall



PRIMER: TEOREMA ZA NULTE GEODEZIKE

- Ako važi
 - Nulti energetski uslov = za svako jedinično vektorsko polje k^μ važi
 - Imamo povezanu Košijevu površ
 - Postoji zatvorena zarobljena površ \mathfrak{S}
- Tada
 - Ili nulti geodezici su nekompletni (= **postoji singularnost**)
 - Ili postoje zatvorene vremenske krive.

$$\rho = T_{\mu\nu} k^\mu k^\nu \geq 0$$



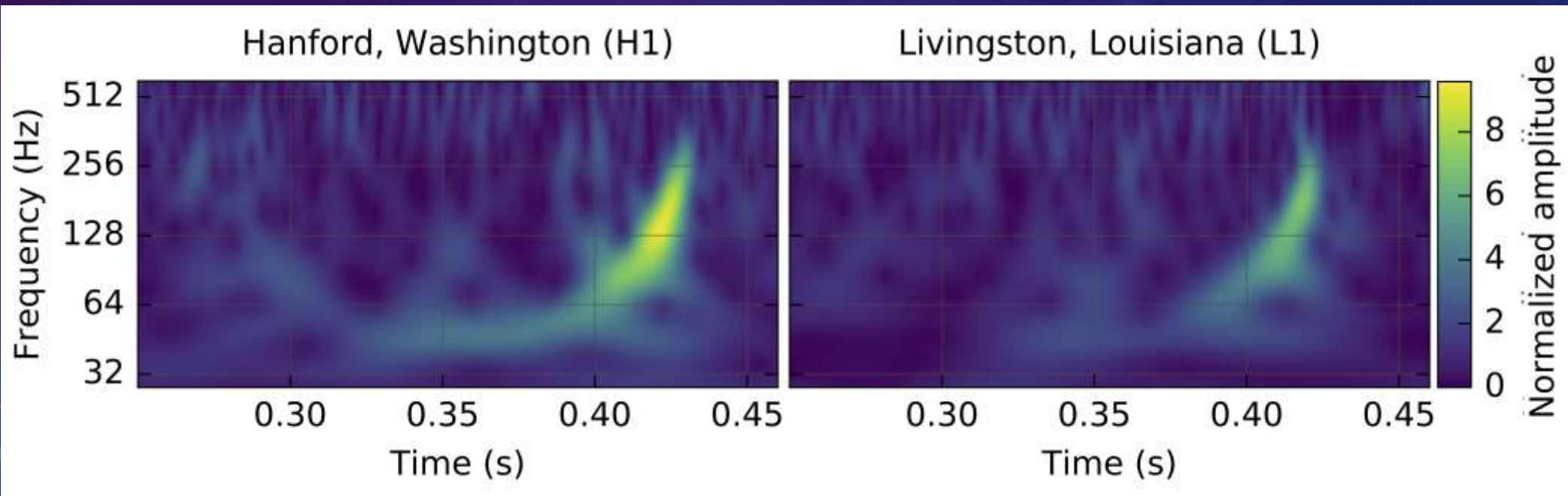
HOKING I GRAVITACIONI TALASI



- OTR predviđa postojanje gravitacionih talasa – ali šta bi mogli biti dovoljno snažni izvori?
- Stapanja i sudari kompaktnih objekata – Hoking prvi dokazuje da perturbacija metrike u sudarima crnih rupa rezultuje snažnom emisijom GT.
- *Hawking, S. (1971) “Gravitational Radiation from Colliding Black Holes”, Physical Review Letters 26, 1344.*

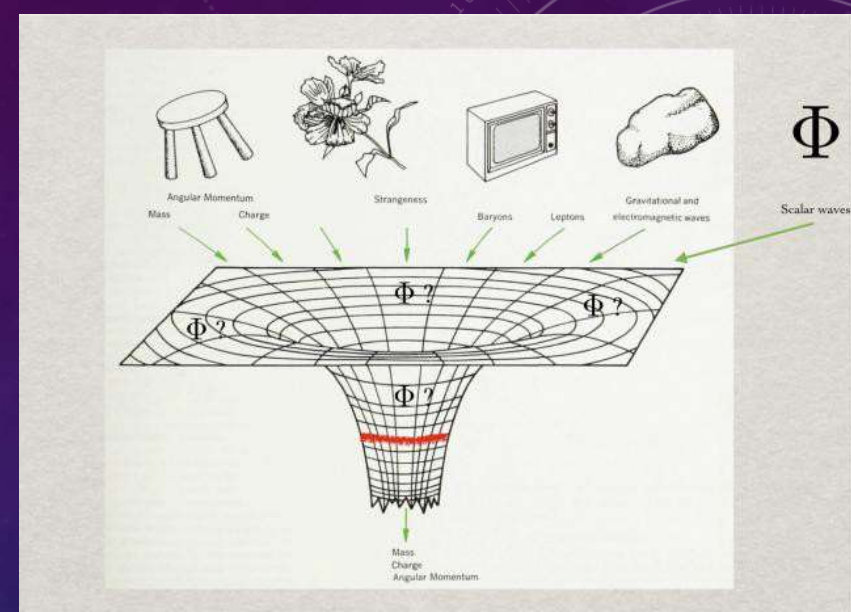
GW150914

- 14. septembar 2015...
- Sudar crnih rupa sa masom od 36, odn. 29 M_{\odot} , iz kojeg nastaje crna rupa od 62 M_{\odot} .
- Ekvivalentna luminoznost 10x veća od svih ostalih izvora zajedno!



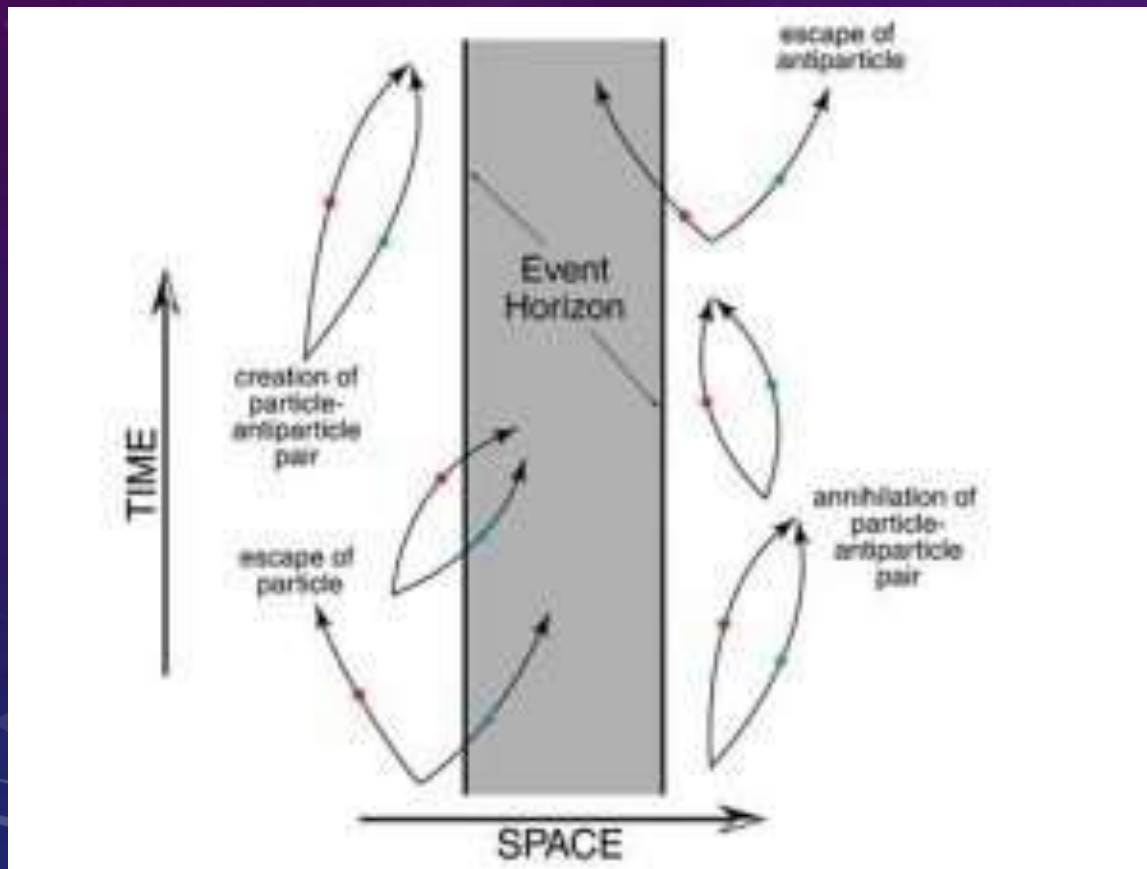
HOKING I SEMI-KLASIČNA TEORIJA CRNIH RUPA

- Klasična Švarcšildova crna rupa: apsolutni apsorber na $T = 0$.
- Za spoljnog posmatrača, samo M, Q, J (tzv. *no-hair* teorema).
- Brojni problemi:
 - Narušenje barionskog broja i drugih zakona održanja?
 - Narušenje 2. zakona termodinamike: šta se dešava ako u crnu rupu bacimo pepeo umesto uglja?
- Hawking, S. W. (1976) “*Black holes and thermodynamics*”, *Physical Review D* **13**, str. 191



$$T_{BH} = \frac{\hbar c^3}{8\pi G k_B M} = 6.2 \times 10^{-8} \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-1} \text{ K}$$

NENULTA TEMPERATURA IMPLICIRA ZRAČENJE...



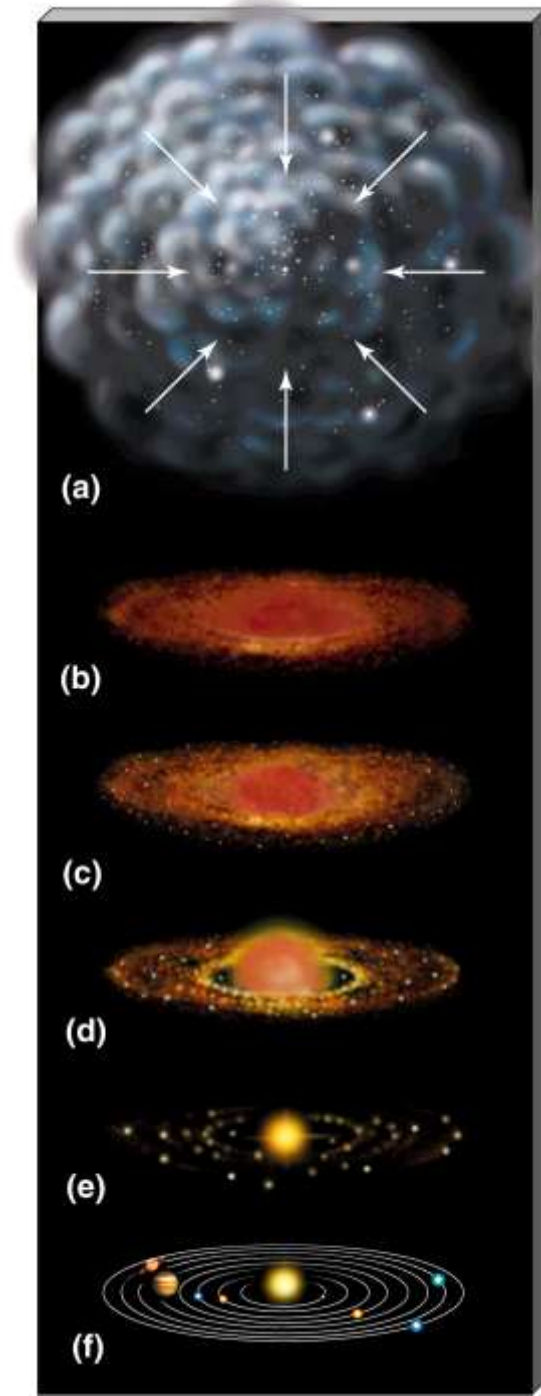
- Popularna interpretacija (stvaranje parova blizu horizonta) nije i jedina moguća...
- Ali ultimativno i crne rupe isparavaju, na **ekstremno dugim** vremenskim skalama:

$$t_{\text{isp}} = \frac{5120\pi G^2}{\hbar c^4} M_0^3 \approx 2 \times 10^{67} \left(\frac{M_0}{M_\odot} \right)^3 \text{ god}$$

TERMODINAMIKA CRNIH RUPA I GRAVITACIONA ENTROPIJA

- Moraju postojati unutrašnji stepeni slobode gravitacionog polja prebrojivi klasičnom statističkom mehanikom!
- Gravitaciona entropija kao deo ukupne entropije...
- Zapanjujuće je kako se niko ranije setio (pre Hokinga i Bekenštajna) – npr. nastanak Sunčevog sistema.
- Bekenštajn-Hokingova formula (za Švarcšildovu crnu rupu):

$$S_{BH} = \frac{k_B c^3}{4 G \hbar} A$$

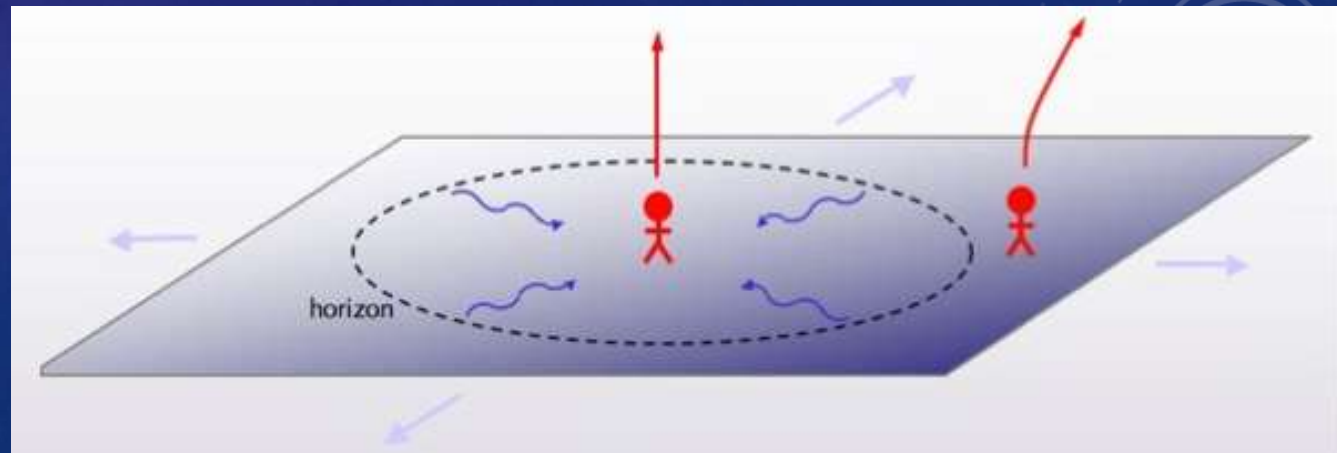


ČITAV NIZ ŠOKANTNIH ZAKLJUČAKA...

- Crna rupa = „prirodno“ = „najtipičnije“ stanje materije!
- (preciznije, crna rupa u ravnoteži sa pozadinskim zračenjem)
- crna rupa (grav. entropija) \leftrightarrow crno telo (termodin. entropija)
- Entropija povezana sa **svakim** horizontom događaja (uklj. kosmološki horizont).
- **Strominger & Wafa (1996)**: BH entropija se može izvesti iz teorije superstruna!

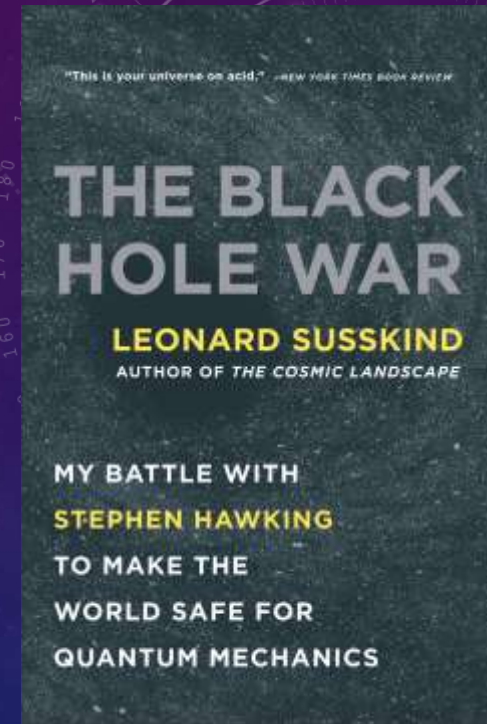
GIBBONS & HAWKING (1977)

- Kosmološki horizont događaja (ako postoji) ima nenultu temperaturu...
- ...što je slučaj u svim modelima sa $\lambda > 0$.
- (tj. sa tamnom energijom otkrivenom 1998!)
- Intuitivno: talasna dužina zračenja na max emisivnosti jednaka veličini horizonta.
- *Gibbons, G. W. & Hawking, S. W. (1977) "Cosmological event horizons, thermodynamics, and particle creation" Physical Review D, vol. 15, 2738.*

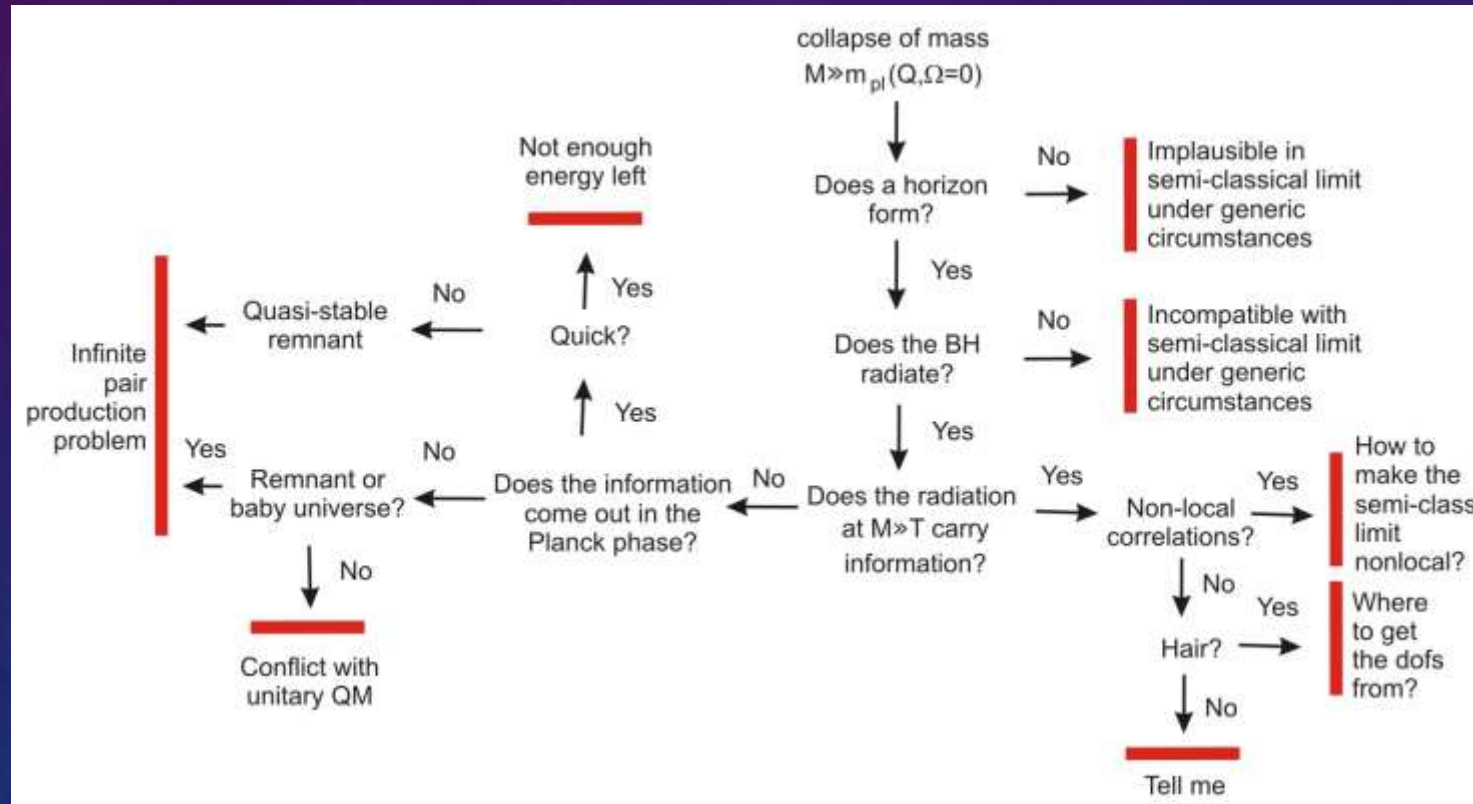


NESTANAK INFORMACIJA U CRNIM RUPAMA?

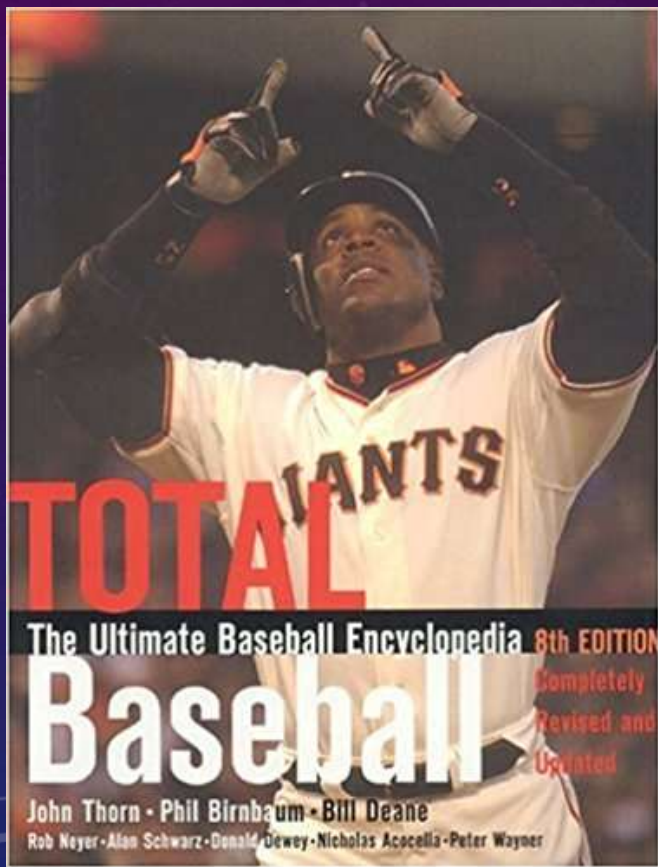
- Ako crne rupe isparavaju i potpuno nestaju, nestaje i informacija koju su apsorbirale – narušava unitarnu evoluciju!
- Alternative:
 - Informacija se emituje u vidu korelacija višeg reda u Hokingovom zračenju.
 - Informacija ostaje u stabilnim ostacima („kornukopionima“) reda Plankove mase.
 - Informacija odlazi kroz crvotočinu u „drugi univerzum“ (???)



STRAHOVITO TEŽAK PROBLEM...



IZGUBLJENA OPKLADA



- Thorne-Hawking vs. Preskill: može li se povratiti informacija bačena u crnu rupu?
- 2004: Hoking priznaje da je Preskil u pravu.
- Simbolika enciklopedije...
- „Kupio sam mu njegovu voljenu enciklopediju, ali možda je trebalo da je spalim, njima [kvantnim mehaničarima] je to svejedno...” 😊

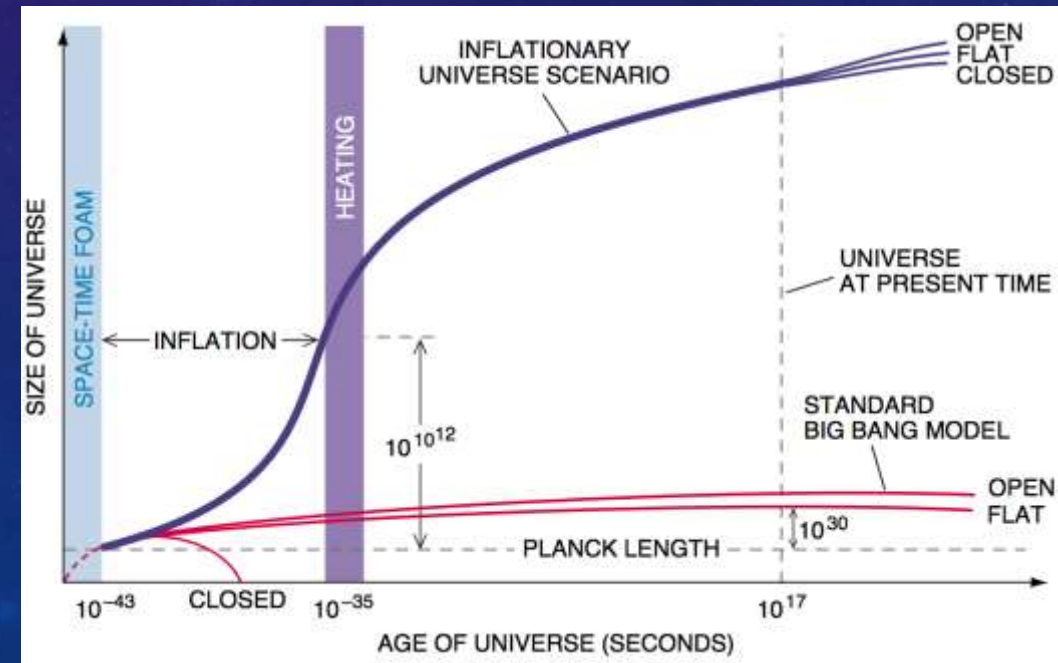


HAWKING, PERRY & STROMINGER (2004-2016)

- Ideja: horizont realne (kvantno-gravitacione) crne rupe fluktuiraju...
- ...i kroz te fluktuacije enkodira informaciju koja se emituje u Hokingovom zračenju (u višim redovima).
- Fluktuacije zavise od tzv. supertranslacija, odnosno (narušenih) simetrija degenerisanih (makroskopski nerazličitih) stanja klasičnog vakuuma.
- Ovime se pojavljuje „slabo“ narušenje no-hair teoreme, ali se lepo spaja sa teorijom struna.
- I dalje vrlo kontroverzno (većina fizičara skeptično, uklj. T'Hofta i Saska).
- *HPS „Soft Hair on Black Holes“ Phys. Rev. Lett. 116, 231301 (2016).*

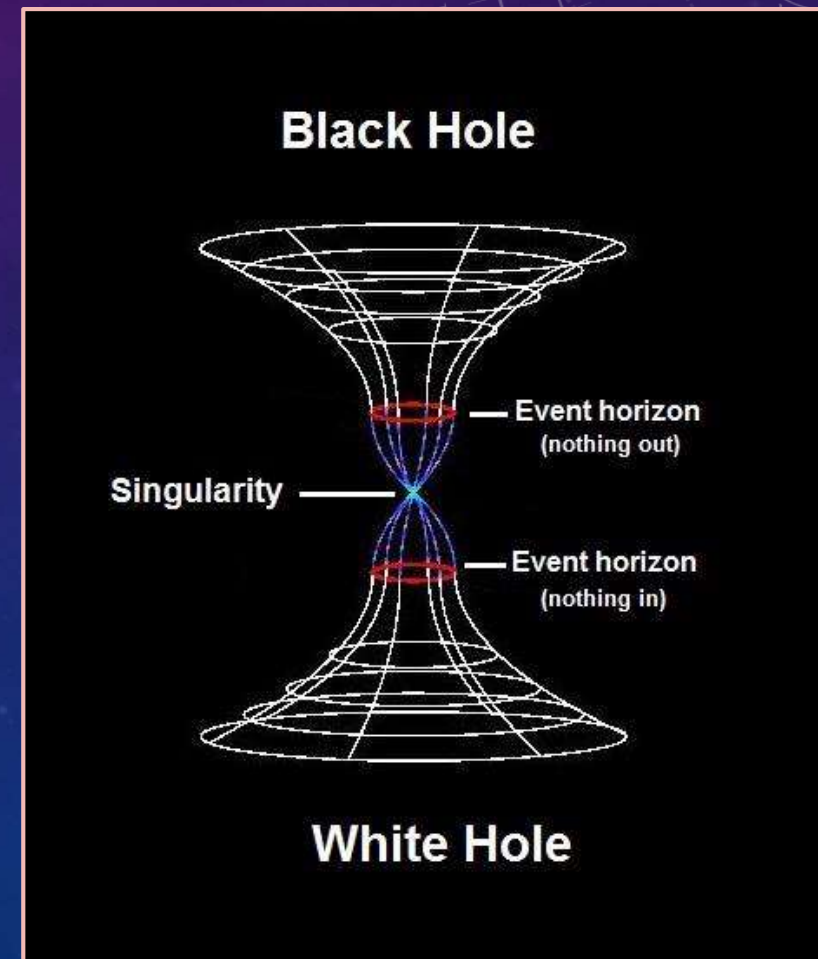
HOKING I INFLACIJA

- Hoking je među prvima pokazao da originalna Gutova verzija inflacije ne funkcioniše...
- ...čime je pružio značajnu podršku Lindeovom radu na haotičnoj/večnoj inflaciji i multiverzumu!
- „Kreativna destrukcija“
- *Hawking, S.W. (1982), “The development of irregularities in a single bubble inflationary universe”, Physics Letters B 115, 295.*

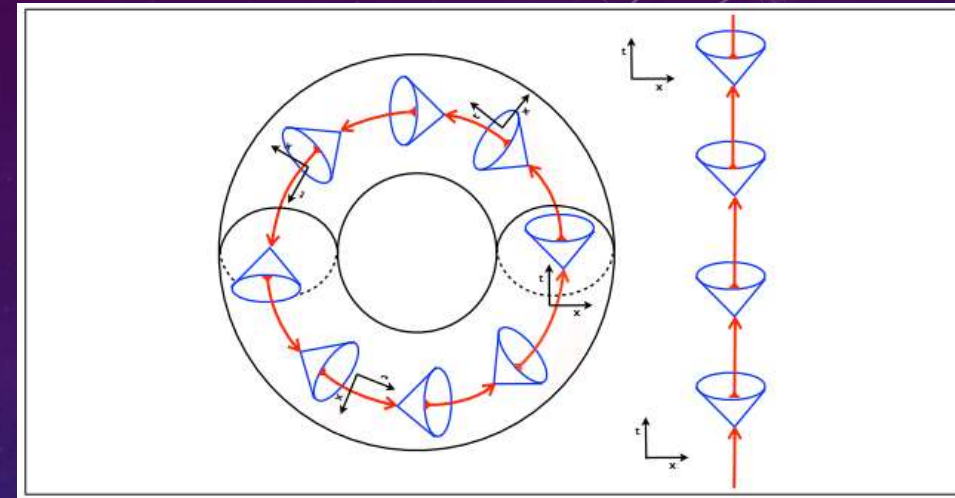


HOKING I STRELA VREMENA

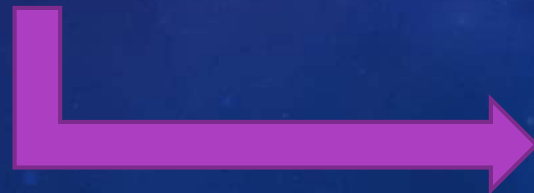
- Zašto percipiramo sve procese u samo jednom smeru?
- Hoking među prvima pokazao da to mora biti zbog specifičnih početnih uslova...
- ...odnosno da je to pitanje ekvivalentno pitanju zašto ne zapažamo bele rupe u svemiru?
- Ovo postavlja ograničenja na gravitacioni Hamiltonijan u budućoj kvantnoj gravitaciji!
- *Hawking, S. W. & Horowitz, G. (1996) "The gravitational Hamiltonian, action, entropy and surface terms", Classical and Quantum Gravity vol. 13, 1487.*



HIPOTEZA O ZAŠTITI HRONOLOGIJE



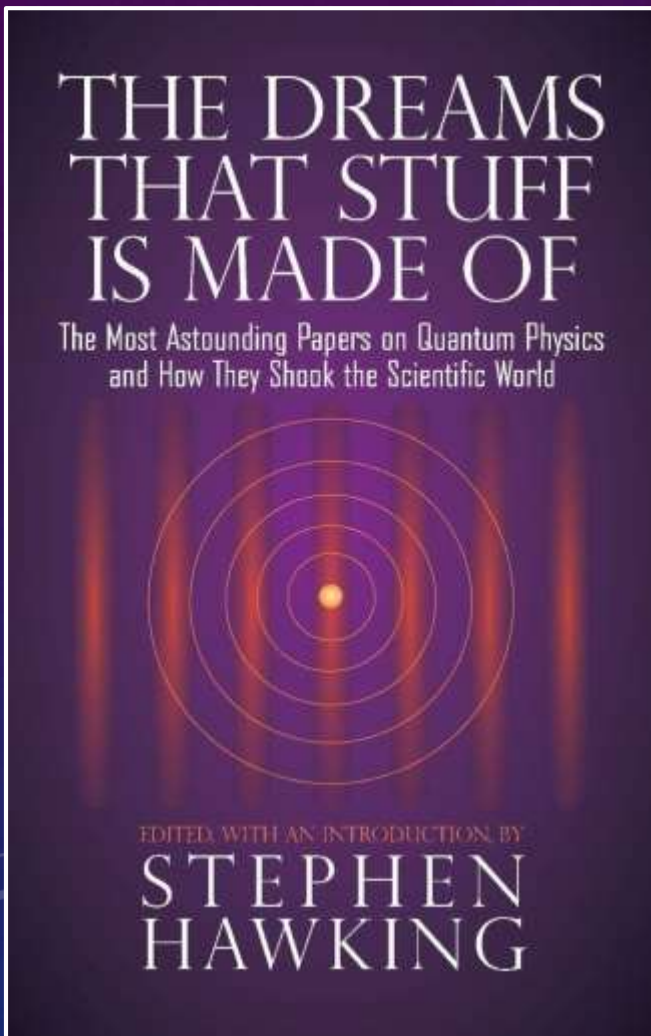
- CTC (*Closed Timelike Curves*): veliki problem za klasične teorije gravitacije!
- Hoking (1992): granični uslovi moraju da spreče narušenje kauzalnosti.
- Hawking, S. W. (1992). "Chronology protection conjecture". *Phys. Rev. D.* 46: 603.
- Empirijski test: žurka za vremenske putnike 😊



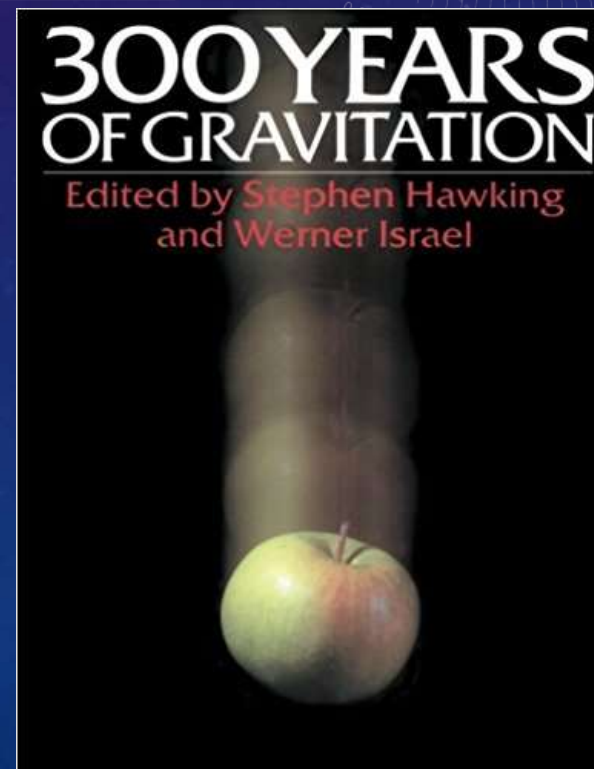
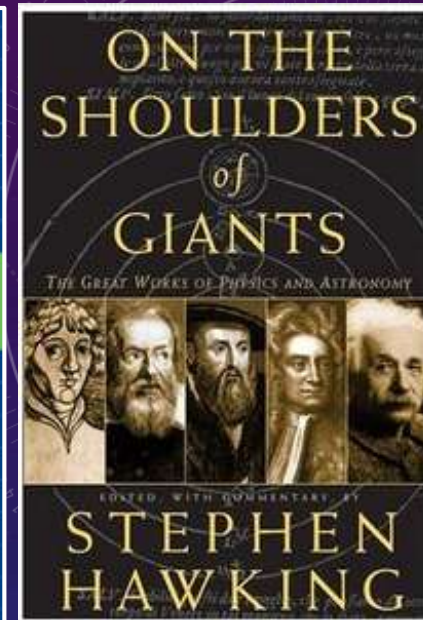
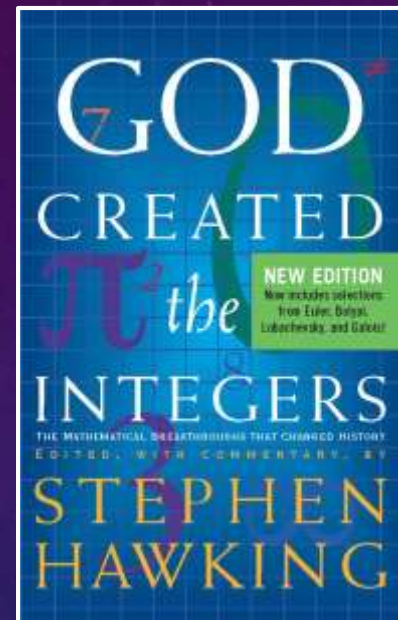
I IMA TOGA JOŠ DOSTA...

- Hartl-Hokingova formula u kvantnoj kosmologiji.
- Razvoj putanjskih integrala za kvantnu gravitaciju.
- Nastanak i rast strukture i uloga posmatračkih selekcionih efekata.
- Nastanak mini-crnih rupa kroz gradijent pritiska u ranom svemiru.
- Elaboracija holografskog principa...

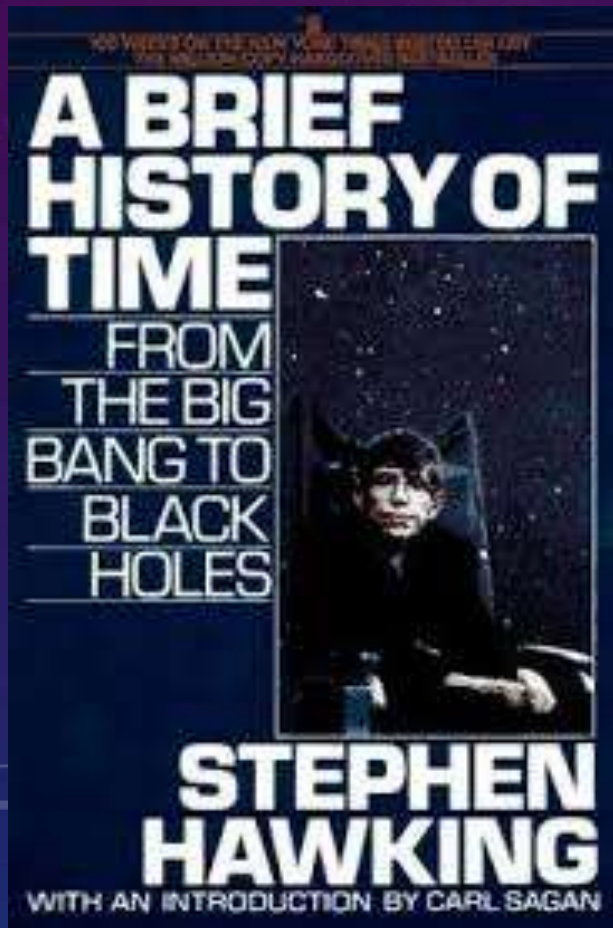
HOKING KAO ISTORIČAR NAUKE



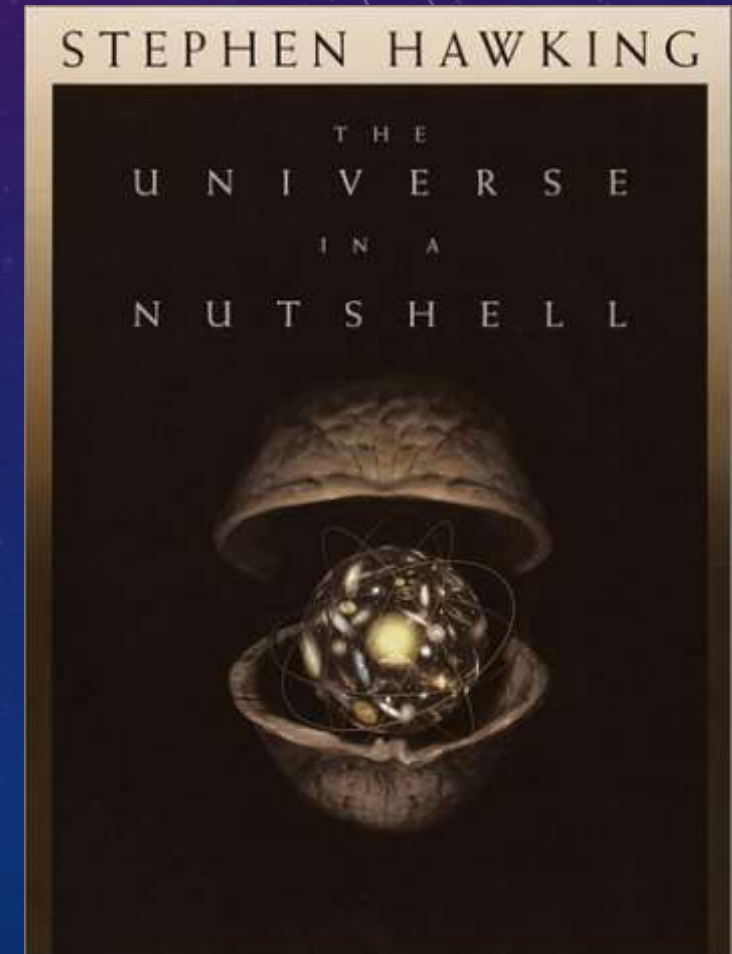
- Urednik brojnih knjiga sa temama iz istorije nauke.
- Naročito pokušavao da putem anotiranih antologija zainteresuje savremenog čitaoca za „klasike“.
- Npr. diskusija Laplasovog determinizma u *Traité de mécanique céleste* – briljantno!



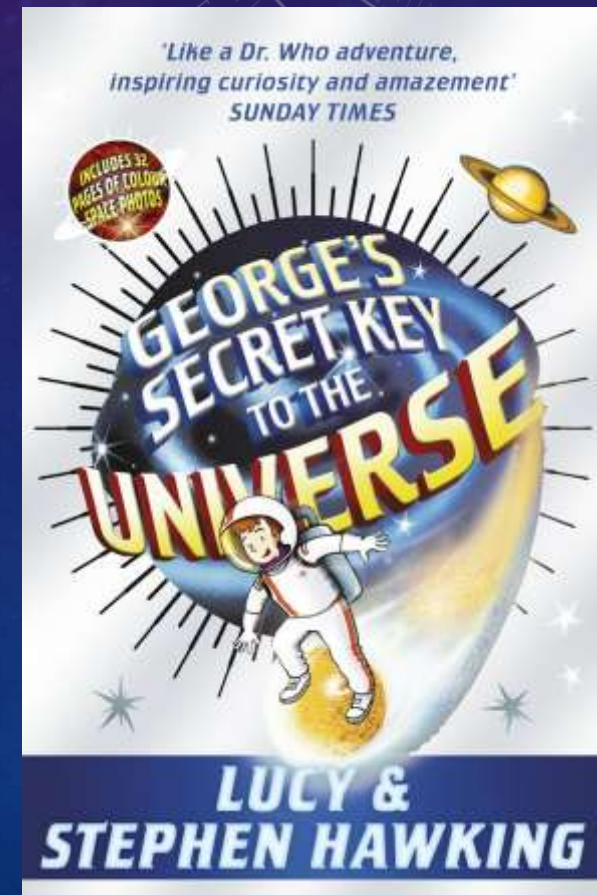
HOKING KAO POPULARIZATOR NAUKE



- Ovde ne treba puno trošiti reči...
- *Kratka povest vremena* je po različitim metrikama najuticajnija popularnonaučna knjiga svih vremena.
- Izdanja u 43 zemlje sveta, ukupno preko 20 miliona prodatih primeraka.



HOKING I DECA



- Zajedno sa kćerkom Lusi (r. 1970) napisao 4 ilustrovane knjige za decu...
- ...koje sadrže neke očigledne pedagoške momente i „reklamu“ astronomskih sadržaja.

UZGRED, SA SUPRUGOM I DECOM



HOKING I LJUDSKA PRAVA

„Ako ste hendikepirani, to verovatno nije vaša krivica, ali nema mnogo smisla kriviti svet ili očekivati posebno sažaljenje. Ako je neko fizički onesposobljen, nikako ne sme dozvoliti da bude i psihološki onesposobljen... Utvrdio sam da su ljudi načelno vrlo spremni da pomognu, ali morate ih ohrabriti u uverenju da su njihovi napori vredni time što ćete pružiti svoj apsolutni maksimum u onome što radite.“

— "*Handicapped People and Science*," *Science Digest* 92, No. 9,
September 1984

- Lekcija koja teško prodire, naročito u zaostalim i nehumanim sredinama poput naše...



Computer Resources for People with Disabilities

A Guide to Assistive Technologies, Tools and Resources for People of All Ages

FULLY REVISED
4th
EDITION

"This book offers something no other does: a guide to maneuvering the growing world of computers, both the mainstream and the assistive technology, to find what is right for you."
— **Stephen Hawking**, from the Foreword

The Alliance for Technology Access

The book cover features a vertical column of seven computer icons on the left side, each in a different color (purple, orange, yellow, green, blue, cyan, and dark blue). The title is prominently displayed at the top in large, bold, black letters. Below the title, the subtitle is in a smaller, red font. A circular badge on the right side indicates it is the 4th fully revised edition. A quote from Stephen Hawking is featured in the middle, and the publisher's name is at the bottom.

JOŠ NEKOLIKO POUČNIH CITATA

„Zapazio sam da čak i ljudi koji tvrde da je sve predodređeno i da ne možemo ništa učiniti da promenimo svoju sudbinu, gledaju desno i levo pre nego što pređu ulicu.“

— *Iz Black Holes and Baby Universes and Other Essays*

„Nemam pojma. Ljudi koji se hvale svojim IQ-om su gubitnici.“

— *The New York Times, December 2004*

„Ograničavati se na zemaljske poslove predstavlja ozbiljno sputavanje ljudskog duha.“

— *Iz The Nature of Space and Time*

HOKING KAO JAVNI INTELEKTUALAC

- Tekovine Prosvetiteljstva – racionalna i kritička analiza.
- Hoking se suprotstavljao „idejama“ da su samo tzv. humanistički intelektualci pozvani da govore o ključnim društvenim pitanjima.
- Zalagao se
 - Za ekološku odgovornost.
 - Za razoružanje.
 - Protiv nezavisnosti Škotske.
 - Protiv Brexita.
 - Za svest o rizicima koji proističu iz AI.

Risks of AI

- "The development of full artificial intelligence could spell the end of the human race." - Stephen Hawking



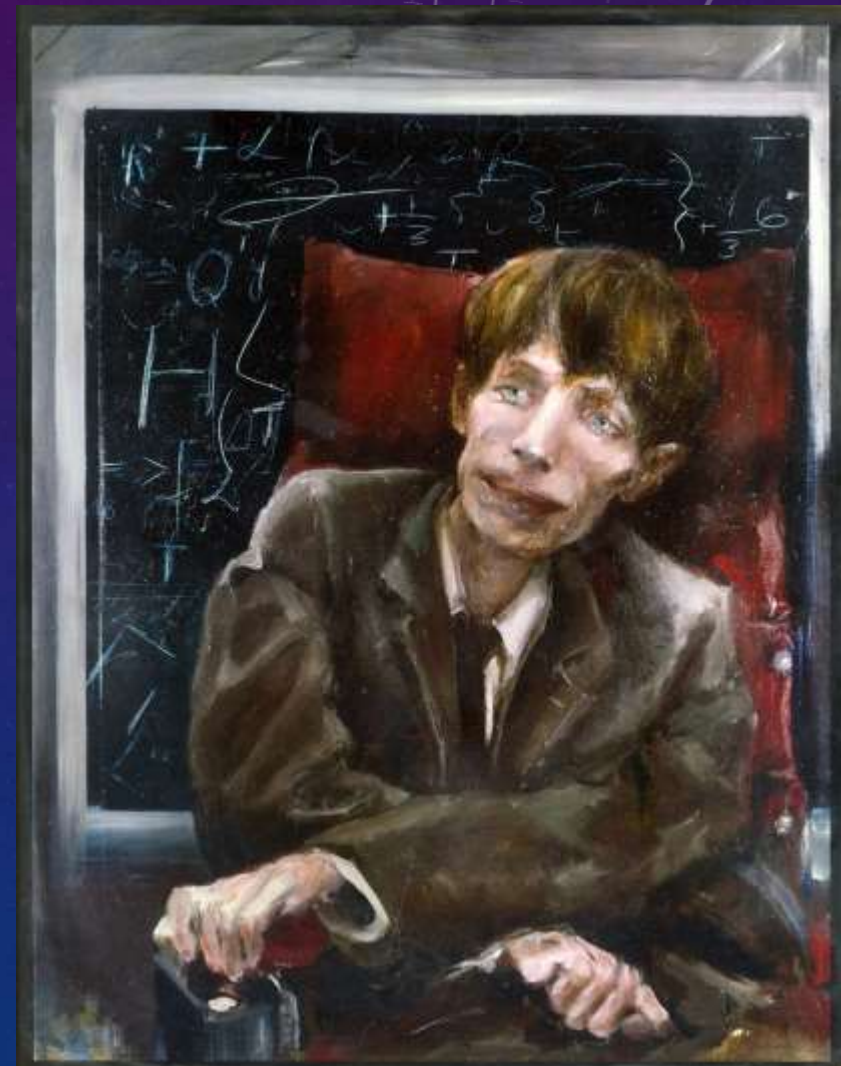
HOKING U KINI, DENG MLAĐI

- Pijetet koji je Hokingu ukazivan u Kini, gotovo bez presedana.
- Deng Pufang (r. 1944), stariji sin Deng Hsijao Pinga.
- 1968: kao student fizike, bačen kroz prozor Pekinškog univerziteta...
- Osnovao prvu nevladinu organizaciju u Kini, jedan od najuglednijih svetskih aktivista



UMESTO ZAKLJUČKA

- Još će dosta vremena proteći pre nego što se značaj Hokingovih rezultata u potpunosti sagleda...
- ...pošto je u gotovo svim problemima kojima se bavio bio je prilično ispred svog (i našeg) vremena.
- Motivacija za svakog ko se bavi astronomskim, pa i svim drugim naukama.
- Razvijajmo kreativni potencijal svih nas, pa i naših sugrađana sa invaliditetom!



HVALA NA PAŽNJI!



PITANJA? SUGESTIJE? KOMENTARI?