

Luciano Maiani:

. Lezione Fermi 25

LHC puo' scatenare la fine del mondo ?

1. La sindrome del ghiaccio-9
2. Strangelet
3. La Commissione di Brookhaven
4. Commissioni per LHC
5. Buchi neri e Mini buchi neri
6. Una questione di etica

1. La sindrome del ghiaccio-9

- 1999. In una lettera a Scientific American un lettore chiedeva se la macchina RHIC in costruzione a Brookhaven, potesse generare un buco nero che avrebbe inghiottito la Terra.
- RHIC era (ed è) un Collisore che, nelle collisione tra due ioni piombo, vuole riprodurre condizioni prossime a quelle dell'Universo primordiale, qualche microsecondo dopo il Big Bang, quando le particelle nucleari non si erano ancora formate e l'Universo, si pensa, era un zuppa di quark e gluoni.
- La rivista giro' la domanda a Frank Wilczek (Nobel 2004 per la QCD) il quale scarto' l'idea del buco nero, ma disse che, se mai, ci si doveva preoccupare della possibile formazione di "strangelets", nuova forma di materia che potrebbe esistere all'interno delle stelle di neutroni. In questo caso, "one might be concerned about an 'ice-9'-type transition".
- Wilczek aggiungeva subito che si trattava di un'ipotesi non plausibile, ma ormai la frittata era fatta
- il New York Times titolava: **BIG BANG MACHINE COULD DESTROY EARTH**

Cat's Cradle (1963)

Kurt Vonnegut 1922-2007

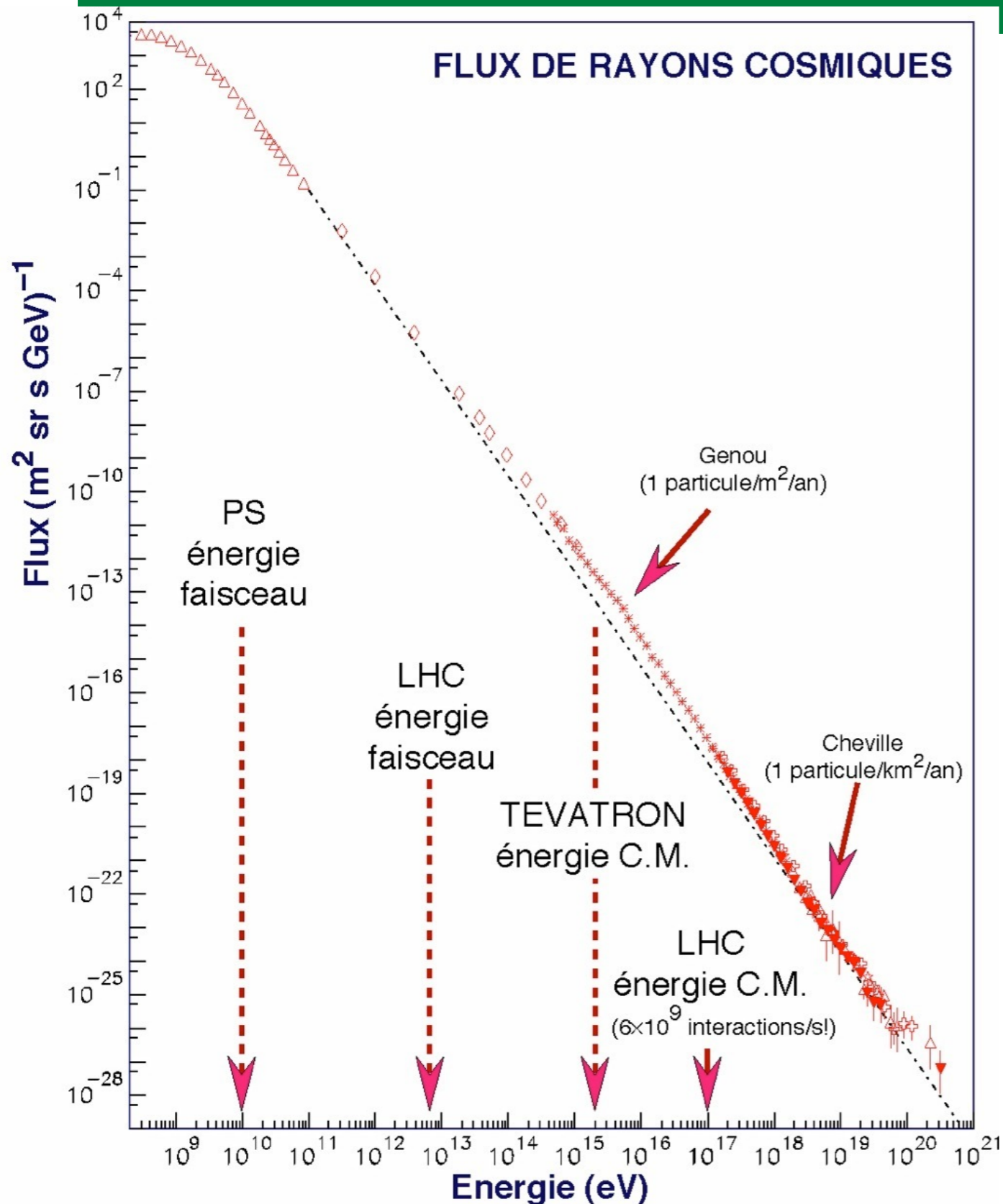


- In *Cat's Cradle* (Kurt Vonnegut, 1963) un chimico scopre una nuova fase stabile del ghiaccio, il ghiaccio-9, che esiste a temperatura ambiente.
- Un cristallo di ghiaccio-9 a contatto con l'acqua diventerebbe un nucleo di cristallizzazione per le molecole dell'acqua, che si trasformerebbe in massa in ghiaccio-9.
- A seguito di intricate vicende, del ghiaccio-9 finisce in mare in una immaginaria isola dei Caraibi e, da lì, tutti gli oceani si trasformano in ghiaccio-9 ed eliminano la vita in pochi giorni.
- Ricordo, negli anni sessanta, una leggenda metropolitana secondo la quale, in un laboratorio in URSS, sarebbe stata scoperta una fase dell'acqua più stabile dell'acqua normale, che avrebbe avuto simili conseguenze.
- E' il timore atavico che il mondo sia "instabile" e che una piccola spinta lo possa trasformare in uno stato per noi inospitale;
- scienziati come "apprendisti stregoni".

Regioni inesplorate

- Nuove macchine sondano regioni di energia “inesplorate”
- potrebbero, a queste energie, produrre oggetti pericolosi che metterebbero in pericolo il mondo, come buchi neri, nuove forme di materia nucleare e simili?
- Nel caso delle alte energie e delle collisioni, la percezione del pericolo nasce in gran parte da un malinteso, il fatto che per ‘regione inesplorata’ i fisici intendono qualcosa di diverso dal significato letterale del termine - *e dovrebbero essere più precisi nel riportare ai media la reale situazione !*
- Infatti, gli oggetti dell’Universo sono sottoposti da miliardi di anni a collisioni simili a quelle che avvengono in LHC, prodotte dai “raggi cosmici”
- localmente, queste collisioni sono troppo rare per studiare i fenomeni fisici che in esse si producono (per questo sono stati inventati gli acceleratori): sono energie *scientificamente inesplorate*
- ma ci saremmo accorti di eventi catastrofici prodotti dai raggi cosmici nell’Universo in grande?

Lo spettro dei Raggi Cosmici



- collisioni in LHC:
 - $3 \cdot 10^{16}$ /anno
- raggi cosmici alle energie di LHC:
 - $10.000/\text{km}^2/\text{anno}$
- che colpiscono la Luna:
 - $400 \cdot 10^9/\text{anno}$
 - $1.6 \cdot 10^{21}$ in 4 Miliardi di anni (l'età della Luna)
- il fatto che la Luna sia lì da 4 Miliardi di anni dice che LHC può funzionare 100.000 anni senza problemi.

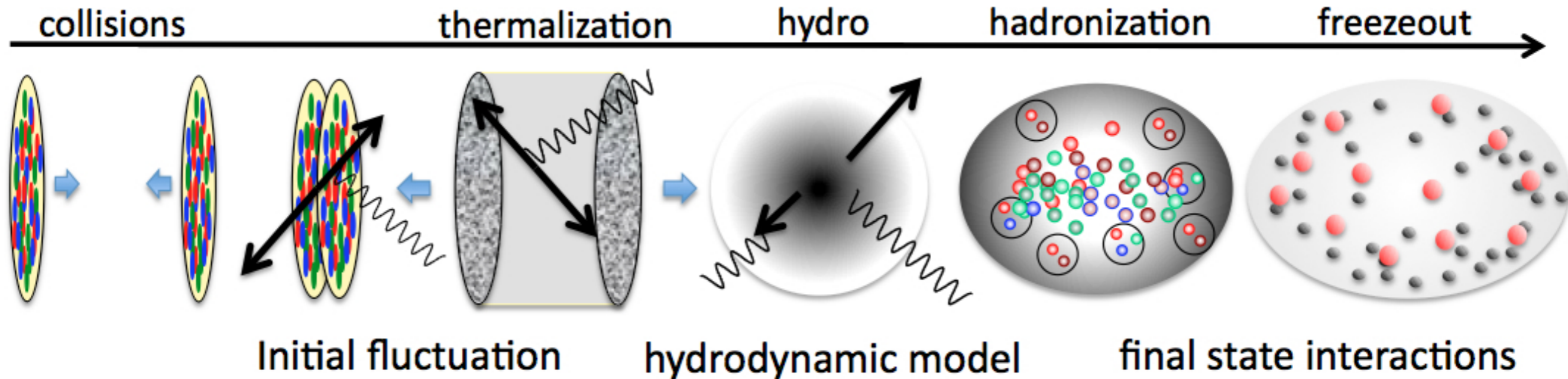
3. Le “strangelet”

- materia nucleare \approx ugual numero protoni ($Q=+1$) e neutroni ($Q=0$)
- ovvero ugual numero di quark up e down
- positivamente carica, i nuclei si respingono: altezza della barriera Coulombiana \approx MeV
- per avere “fusione” di 4p in Elio occorrono altissime pressioni e/o temperature (Sole, Tokamak...): non c’è fusione a freddo!!!.
- Anni '80: le forze di colore potrebbe permettere l'esistenza di una forma di materia nucleare più stabile, composta da quark u ($Q=+2/3$), d ($Q=-1/3$) ed s ($Q=-1/3$), in circa eguali proporzioni (strangelet)
- se $n(u)=n(d)=n(s)$ le strangelet sono neutre;
- se i quark s prevalgono, le strangelets avrebbero $Q<0$
- una strangelet negativamente carica potrebbe attrarre i nuclei e crescere a spese della materia ordinaria
- come il ghiaccio-9....a questo si riferiva Wilczek !
- strangelets mai viste finora: esistono? sono stabili? carica negativa? si producono negli urti ad alta energia? tra protoni? tra nuclei?

4. Brookhaven's Committee

- July 1999. John Marburger, Brookhaven's Director, appoints an expert committee, including R. Jaffe (inventor of strange matter) and F. Wilczek, to assess the danger of RHIC
- (meanwhile, science fiction books on strangelets...very boring)
- August 1999, De Rujula et al. question the validity of the limits from cosmic rays on the Moon:
 - strangelets are “fragile” (binding energy 10 MeV?)
 - in fixed target collisions are produced with great velocity, further collisions with matter will destroy most of them
 - in collider they may be produced almost at rest and not be broken by interaction with matter
- in normal models, strangelets would be produced in the nucleous fragmentation region, that is with considerable energy even in colliders, so as to be destroyed by collisions with matter
- the central region is very hot, there is no baryon number and production of nuclear-like matter is very rare

time evolution (left to right) of the collision of two relativistic ions



- fragments of the original nuclei go forward and backward: here where the baryon number is
- a fluid of particles remains in the center (fireball), similar to a primordial mini-Universe
- it expands, cools and makes hadrons, mostly mesons, by coalescence of constituents
- freezeout: below a certain temperature there are not particle transformations, the different species flies apart as free particles.

ice cubes out of a furnace

- the baryon number is in the fragmentation region, where bounds from the Moon are valid;
- production of strangelets (or nuclear matter) in the central collision region is very unlikely:
 - central region is hot, $T > 150$ MeV, strangelets are cold, binding few MeV
- coalescence: $\text{Prob}(N \text{ quarks}) \approx \text{Prob}(\text{quark})^N$
 - describes well the production of nuclei in ion collisions
 - penalizes the formation of objects with many quarks;
- give a decrease of production with energy: CERN SPS had to be a better source, but no strangelet ever seen there;
- to produce an ice cube out of an oven, the problem is not enough energy, but too much energy.

Brookhaven Committee's conclusions

We have reviewed earlier scientific literature as well as recent correspondence about these questions, discussed the scientific issues among ourselves and with knowledgeable colleagues, undertaken additional calculations where necessary, and evaluated the risk posed by these processes. Our conclusion is that the candidate mechanisms for catastrophe scenarios at RHIC are firmly excluded by existing empirical evidence, compelling theoretical arguments, or both. Accordingly, we see no reason to delay the commissioning of RHIC on their account.

5. Committees for the LHC

- In 2001, guessing that the issue of the danger of heavy ion collision would reappear with the higher energy of the LHC, I commissioned an european working group with similar mandate as Brookhaven's;
- Chair: John Iliopoulos
- no physicist involved in theory/experiments at the LHC
- reached similar conclusions on strangelets, with some new element, taking also into account RHIC data
 - coalescence model confirmed by RHIC, $T_{\text{central}} \simeq 4 \cdot 10^9 \text{ } ^0\text{K}$ (Sun $\simeq 15 \cdot 10^6 \text{ } ^0\text{K}$)
 - penalty factor for multiquarks drops fast, no more than 20 quarks
 - even if survived, strangelets that small would be unstable by surface effects
 - even if stable, would not grow indefinitely since, on general grounds, medium sized strangelets would have positive charge, thereby stopping the fusion with nuclei.
- Conclusion: no reasons of concern

LHC Safety Study Group

June 2002

J-P. Blaizot,
Service de Physique Théorique, CEA/Saclay-Orme des Merisiers,
F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, FRANCE

J. Iliopoulos,
Lab. de Physique Théorique, 24 rue Lhomond,
75231 Paris Cedex 05, FRANCE

J. Madsen,
Inst. of Physics and Astronomy, Univ. of Aarhus
DK-8000 Århus C, DENMARK

G.G. Ross,
Theoretical Physics, Univ. of Oxford
1 Keble Rd, Oxford, OX1 3NP, UK

P. Sonderegger,
EP Division, CERN, Geneva, SWITZERLAND

H-J. Specht,
Inst. of Physics, Albert-Ueberle-Str.11, D-69120 Heidelberg, GERMANY

Abstract

We review the possibility of producing dangerous objects during Heavy Ion Collisions at LHC. We consider all such objects that have been theoretically envisaged, such as negatively charged strangelets, gravitational black holes, or magnetic monopoles. We find no basis for any conceivable threat.

Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics

Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics > Volume 35 > Number 11

John Ellis *et al* 2008 *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **35** 115004 doi:10.1088/0954-3899/35/11/115004

Review of the safety of LHC collisions

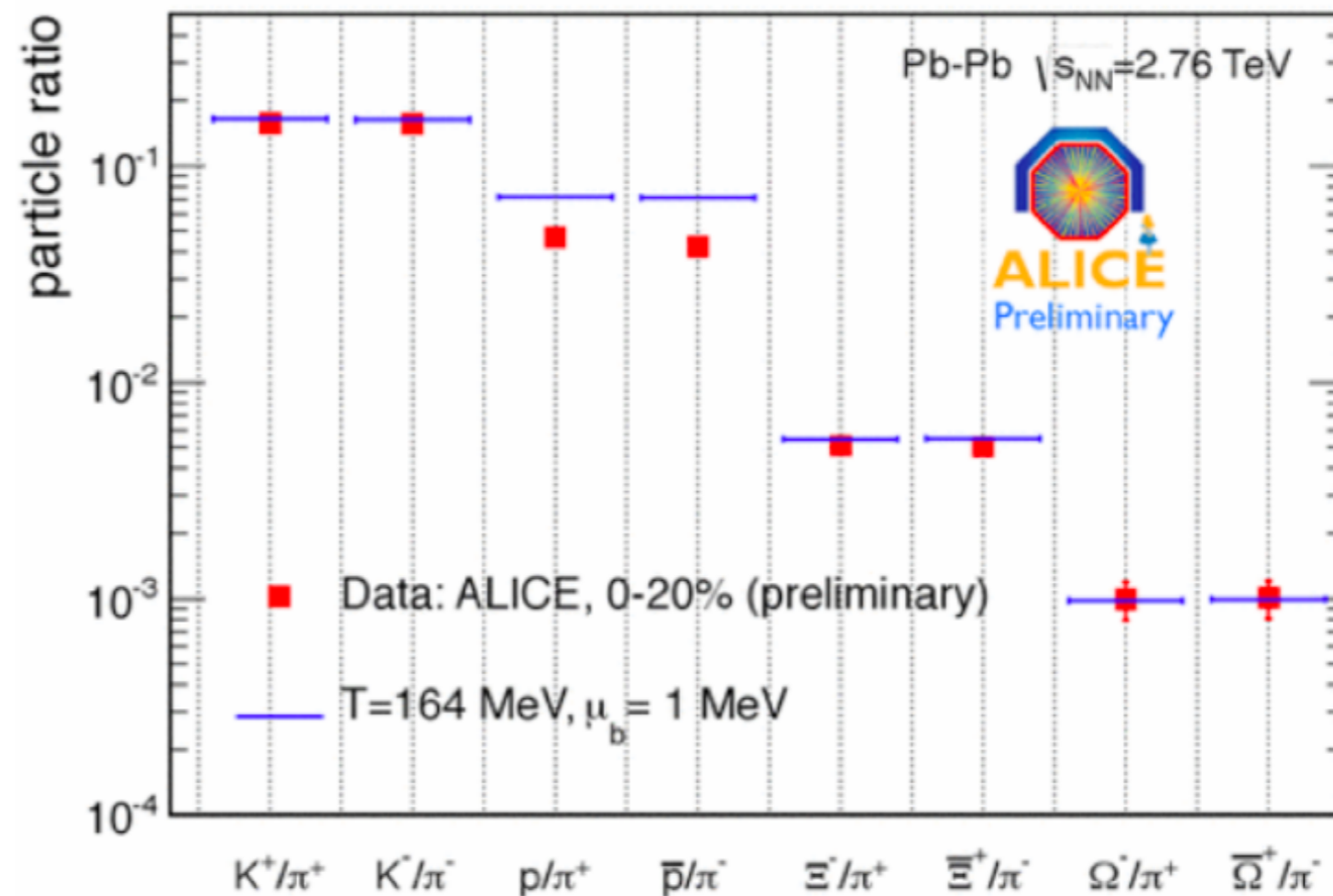
John Ellis¹, Gian Giudice¹, Michelangelo Mangano¹, Igor Tkachev² and Urs Wiedemann¹ (LHC Safety Assessment Group)

Reexamined in 2011, with ALICE data

Prior to the start of LHC operations, the good agreement of measurements of particle production at RHIC and other accelerators with simple thermodynamic models allowed one to constrain severely any production of hypothetical strangelets in heavy ion collisions at the LHC. In particular, LSAG estimated that the thermal production of a single *normal* $A = 10$ nucleus in heavy ion collisions would require running the equivalent of 1000 LHCs for the entire lifetime of the Universe. This estimate of the production of normal nuclear matter provided an extremely conservative upper bound on the production of hypothetical exotic forms of strange quark matter. This argument has now been sharpened by LHC data, as we discuss below.

we know better now from Alice data

- coalescence model describes well production of strange baryons and non strange light baryons
- making more robust the conclusions about strangelet production at high energy



Measurements by the ALICE Collaboration [1] of the ratios of particle and antiparticle production in heavy-ion collisions at the LHC, which are generally in good agreement with a simple thermal model. The data confirm the expected rate of production of strange particles, as well as showing a low density of baryons.

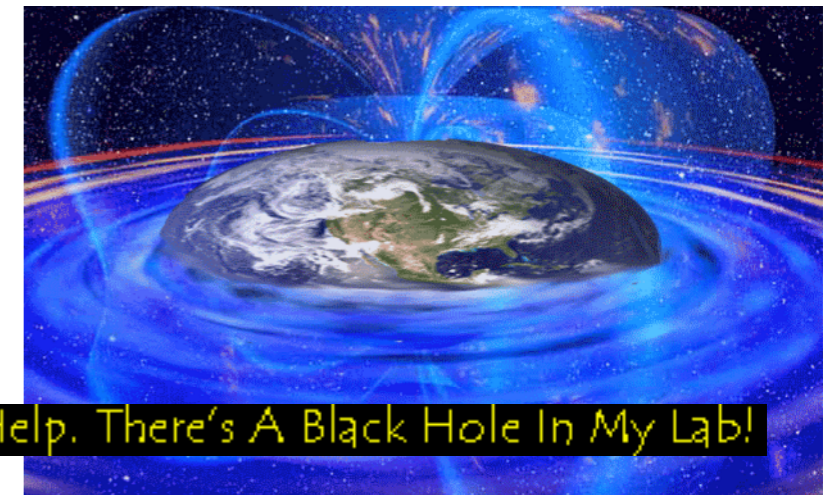
Buchi neri e Mini buchi neri

- Un buco nero è un oggetto la cui massa è tutta confinata all'interno di un raggio critico (il raggio di Schwarzschild) che dipende dal valore della massa stessa: $R_S = 2G_N M_{star} / M_{PLANCK}^2$
- Il raggio critico fornisce un orizzonte assoluto: ogni oggetto che arrivi a distanze dal centro inferiori ad R , non si potrà più allontanare nel futuro
- Il raggio di S. del Sole è di 18 km: il Sole non è un buco nero.



Artist's impression of the stellar-mass black hole in the spiral galaxy NGC 300. The astronomers found that the black hole is stripping matter away from the star as they orbit each other. <http://phys.org/news183808539.html>

- Ipotizzati dapprima teoricamente, adesso abbiamo molte evidenze (indirette) di buchi neri nell'Universo, in alcuni casi oggetti astronomici con 10^6 - 10^7 masse solari.
- Diverso tempo fa, è stato ipotizzato che in certe condizioni, ad esempio nei primi istanti del Big Bang, sia possibile confinare nel raggio di Schwarzschild anche masse sulla scala delle particelle elementari. In questo caso, si parla di mini-buchi neri
- e' stata evocata la possibilità che uno di questi, prodotto nelle collisioni di RHIC o di LHC, possa ingrandirsi a spese della materia circostante fino a inghiottire tutto il pianeta.



Help. There's A Black Hole In My Lab!



La fine del mondo tra 24 ore L'Universo sarà risucchiato dal buco nero del CERN

Scienziati della comunità scientifica, una internazionale prelevata (per buchi nel protoni) dall'acceleratore con i non vedibili esperimenti, ha una data considerata imminente. Il giorno in cui il buco nero verrà creato, il mondo intero sarà risucchiato e distrutto. **27 MARZO 2012**

10:00 In Europa della tv, si annuncia **L'ESPRESSO** la nuova edizione di cronaca online

Bunhi: Svizzera stato consiglio nascondere anni di distruzione di massa

Il presidente degli Stati Uniti Barack Obama ha criticato il governo svizzero di non aver detto tutto quello che sa sulla distruzione di massa in Bosnia. Il presidente svizzero ha risposto che il paese non ha mai nascosto nulla di ciò che sa sulla distruzione di massa in Bosnia. Il presidente svizzero ha detto che il paese non ha mai nascosto nulla di ciò che sa sulla distruzione di massa in Bosnia.

Benedetto XVI: "Una scienza senza Dio ci ha portati alla catastrofe"

Il papa ha detto che la scienza senza Dio ci ha portati alla catastrofe. Il papa ha detto che la scienza senza Dio ci ha portati alla catastrofe. Il papa ha detto che la scienza senza Dio ci ha portati alla catastrofe.



Berlusconi si scontra il consiglio dei ministri e Lampefedda

Il premier si scontra con il consiglio dei ministri e con il ministro della Giustizia. Il premier si scontra con il consiglio dei ministri e con il ministro della Giustizia. Il premier si scontra con il consiglio dei ministri e con il ministro della Giustizia.

10:00 In Europa della tv, si annuncia **L'ESPRESSO** la nuova edizione di cronaca online

Personaggi

Roberto Cazzullo della Fiat
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

UNA PROTEZIONE PER IL MONDO
Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro. Il presidente della Fiat ha detto che la società è pronta per il futuro.

Ordini di grandezza 1

- La probabilità del processo: $q + \bar{q} \rightarrow$ "mini - black - hole"
deve essere proporzionale a G_N^2 che ha dimensioni (massa)⁻⁴,
 - $G_N^2 = (10^{-38})^2 \text{ GeV}^{-4} = 10^{-76} \text{ GeV}^{-4}$
- la luminosità di progetto di LHC e': $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$
- per calcolare il numero di eventi attesi in un secondo dobbiamo moltiplicare L per la "sezione d'urto", una superficie proporzionale alla probabilità del processo e quindi a G_N^2
- per far tornare le dimensioni, dobbiamo usare una grandezza delle dimensioni di un'energia al quadrato, e abbiamo solo l'energia totale del centro di massa
 - $(E_{cm})^2 = (14 \text{ TeV})^2 = 2 \cdot 10^4 \text{ GeV}^2$
- La formula e':
$$N = L \cdot E_{cm}^2 (\hbar c)^2 = L \cdot E_{cm}^2 (0.2 \cdot 10^{-13})^2 =$$
$$= 7 \cdot 10^{-62} / \text{sec} = 2 \cdot 10^{-54} / \text{anno}$$
- "# stai sereno"

Ordini di grandezza 2

- C'è una possibilità:
- secondo le teorie delle stringhe, viviamo in un mondo in D dimensioni, D da 9 a 15 a seconda della teoria, con D-3 dimensioni curve in un cerchio piccolissimo, raggio R
- se le particelle di LHC hanno energia $> 1/R$, penetrano in questo spazio multidimensionale e lì l'intensità della costante della gravitazione potrebbe essere molto, molto più grande, tipo costante di Fermi
- quindi la produzione di mini black holes sarebbe possibile
- che succede dopo?
- qui entra in campo un fenomeno scoperto da Steve Hawking:
 - una black hole ha una temperatura inversamente proporzionale al suo raggio di S.
 - ovvero $T=1/(G_N M)=M_{\text{PLANCK}}^2/M$
- ma la mini black hole vive nel “nostro” spazio con 3 dimensioni, dove G_N è piccolissima, e per una massa di ordine TeV la temperatura è altissima
- la mini black hole irraggierebbe particelle in un tempo superbreve, fino a sparire del tutto
- # stai sereno 2!

La ricerca di mini black holes è uno degli obiettivi degli esperimenti ATLAS e CMS !!!

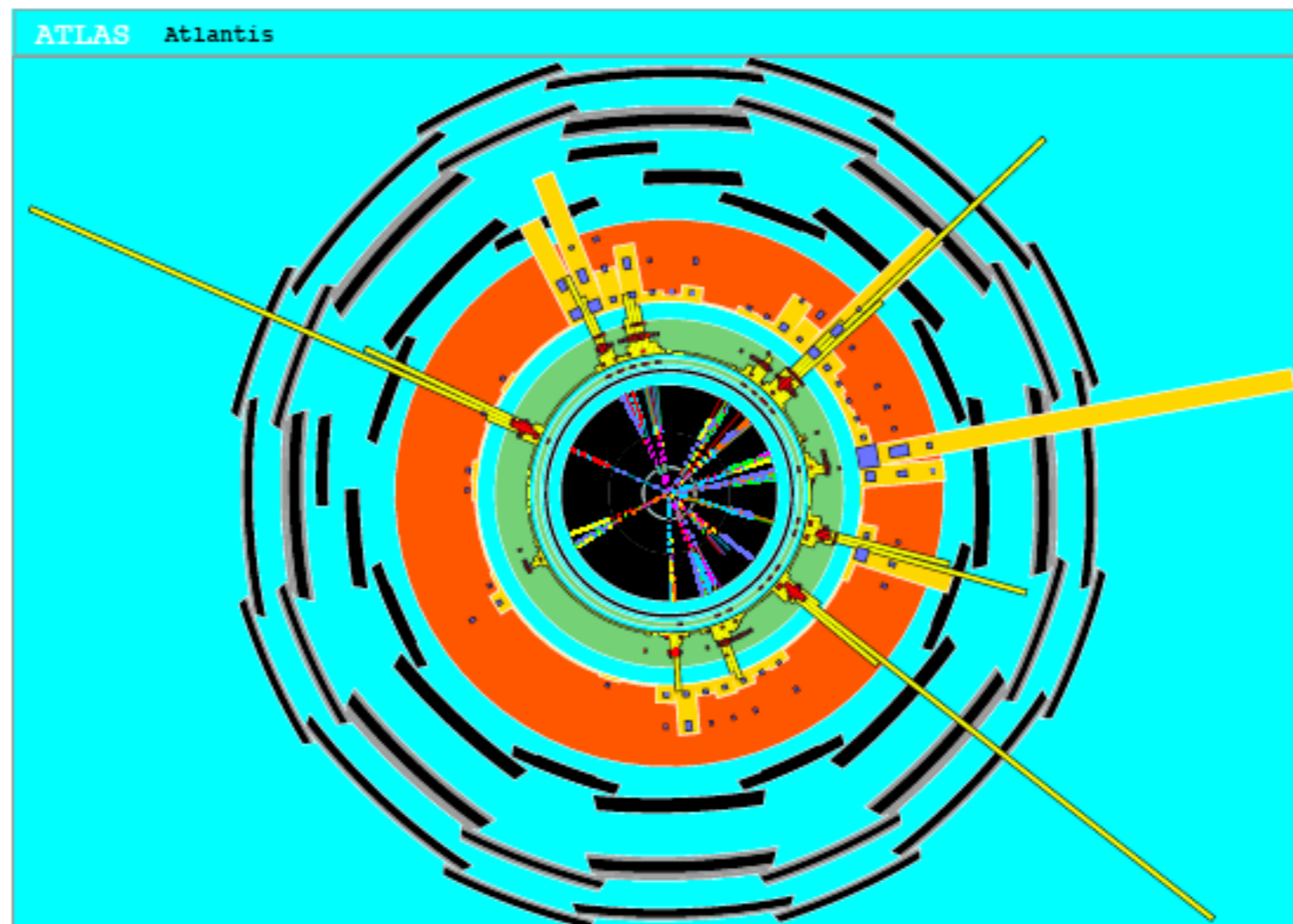
even something rather strange: mini black-hole simulation @ LHC (B. Webber)

CHARYBDIS Event at LHC

TOTDIM = 10

MPLNCK = 1 TeV

$M_{\text{BH}} = 8 \text{ TeV}$



Una questione di etica

- RHIC e LHC hanno potuto entrare in funzione senza problemi sociologici
- Ma la soluzione delle “Commissioni di esperti” per problemi potenzialmente così rilevanti ha suscitato mugugni, lamentele e critiche
- Macchine acceleratrici potenzialmente catastrofiche: come procedere?
- Nelle relazioni dei comitati ci sono espressioni come “unlikely”, “unrealistic” “not credible”, che per noi scienziati hanno significato, ma non per gli altri e non a fronte della possibilità della “fine del mondo”
- Come dare una probabilità di rischio ad una teoria che pensiamo sbagliata (e.g. strangelets) quando non siamo capaci di calcolare come in QED? come pesare rischi e benefici ?
- Citizen Committees ? chi li nomina? si terranno sempre sul superconservativo ?

Una questione di etica (cont'd)

- Una proposta di Francesco Calogero:
 - dibattito pubblico,
 - un red team che organizza le critiche
 - un blue team che parla a favore
- Quello che e' successo non e' molto diverso: Committees hanno risposto (blue team) ed la comunita' scientifica poteva reagire, come in una peer's review, (e lo ha fatto con De Rujula et al., red team)
- RHIC e LHC sono passati perche' la comunita' non si e' divisa sulla questione della sicurezza, i blue team sono stati convincenti
- si puo' fare di meglio?
- si riproporranno gli stessi timori a piu' alta energia ?