



WLCG

Worldwide LHC Computing Grid

IPB-CERN contract KN2360

LHC, ГРИД и Муров закон

*др Александар Богојевић
Институт за физику у Београду*



Serbian teacher program, CERN, 4–11 August 2015

LHC:
мало, мање, велико и црно...

Мало

CERN се бави физиком елементарних честица:

- базични састојци материје и интеракција,
- базични закони.

мало = квантно:

брзо = релативистичко:

$$p\lambda \sim \hbar$$

$$E \sim mc^2 \sim pc$$

мало + брзо = високе енергије:

$$E \sim \hbar c / \lambda$$

LHC $\sim 2 * 7 \text{ TeV} \sim 10^{-17} \text{ cm}$

атом $\sim 10^{-8} \text{ cm}$

сви ми $\sim 10^2 \text{ cm}$

LHC је највећи микроскоп на свету који види ствари које су онолико пута мање од атома колико смо ми од атома већи.

Мање

На LHC–у видимо две од три фундаменталне интеракције:

- јака,
 - електрослаба = електромагнетна + слаба,
- Али не и гравитацију (најслабија интеракција).

Ово је и један од основних разлога зашто ни после 80 година не знамо да квантизујемо гравитацију. Но знамо да ће та теорија садржати све три универзалне константе које дефинишу природи: \hbar , c , и G .

Планкова дужина = $(\hbar G/c^3)^{1/2} \sim 10^{-33}$ cm

За ово нам треба чак 10^{16} пута јачи микроскоп од LHC–а!
Треба нам и сасвим нова теорија. Но димензиона анализа ради.

Питања за наставнике

- ❖ Ваши ученици знају за гравитациону интеракцију (а она је најслабија), тек понешто знају о електрослабој (или барем једном њеном делу), а баш ништа о јакој интеракцији. Зашто?
- ❖ Уједно, што их не учите о димензионој анализи и проценама редова величина? На пример, зашто не би знали да угрубо процене колики су ефекти квантне гравитације на LHC скалама, као и многе друге интересантне и овоземаљскије ствари?

Велико

Ефекти квантне гравитације су занемарљиви на ЛНС скалама, но то не значи да стара добра класична гравитација (општа теорија релативности) нема везе са ЛНС-ом.

Примењена на читав космос класична гравитација предвиђа његово ширење, односно настанак у сингулаитету званом велики прасак. Космос се од тада (око 13 милијарди година) раширио, а тиме и охладио (на око 3К), но на самом почетку је био веома мали и веома врућ.

ЛНС тако није само микроскоп него и телескоп којим експериментално изучавамо физику раног свемира. Тако, између осталог, сазнајемо о настанку највећих структура у свемиру као што су празнине (voids) и јата галаксија.

Црне рупе

Класична гравитација је склона сингуларитетима. Поред овог космолошког постоји и један други – црне рупе.

Црне рупе су класично стабилне. Не знамо да их квантизујемо, но (ако су довољно масивне) можемо да их третирамо семи–класично. Тако смо открили да оне испаравају, то брже што су мање. Велике црне рупе су гутачи светова, а њихови мини рођаци, ако постоје, би само представљали нову врсту честица које се у бљеску брзо распадају, те стога уопште нису црне.

Неки теоријски модели предвиђају постојање мини црних рупа које би се могле стварати у LHC–у. Мада мало вероватно, њихово откриће би био весник револуционарног продора у физици.

Да нам не буде црно...

Видели смо да постоји прелепа веза између феномена на највећим и најмањим скалама. Ту се бије битка за нову физику. Радимо све да у тој бици немамо представника (између осталог и зато што):

- Код нас су астрономија и астрофизика одвојени од физике,
- На додипломским студијама физике се више не изучава општа теорија релативности.
- А постоје и дубљи психолошки и социолошки разлози...

Кривица није само на вашим професорима него и на вама, јер и ви сте нечији професори. Физика је жива и узбудљива дисциплина и срамота је што се често некомпетентно представља као нешто догматично и досадно.

ГРИД: нова рачунарска парадигма

Количина података

- 4 експеримента (ATLAS, ALICE, CMS, LHCb)
- 40 милиона судара у секунди
- После филтрирања ~ 100 судара од интереса у секунди
- Подаци ~ 1 MB по судару

Груба процена потреба за складиштењем:

- 100 MB у секунди, односно 1 PB = 10^9 MB месечно.
- CERN рачунарски центар може да сачува тек неколико месеци LHC података.
- Неопходно дистрибуирано складиштење.

Поређења ради, укупни информатички капацитет људског мозга је приближно:

$$10^{11} \text{ неурона} * 10^3 \text{ синапси} * 10 \text{ B} = 10^{15} \text{ B} = 1 \text{ PB}$$

Два ока

- Када инпут далеко превазилази хардверске могућности brute force обраде, нове технологије почињу да попримају ”биолошка” својства, хеуристички одбацујући огромну већину података који се процењују као небитни.
- Хардверски тригер је аналогон обраде видео сигнала у ганглијама непосредно иза ока, а софтверски тригер даље несвесне обраде у мозгу. Тек оно што прође оба филтра иде на свесно процесирање у кори великог мозга.
- Еволуција је оптимизовала наш вид да видимо тигра који нас напада, а физичари су оптимизовали своја два ока ATLAS и CMS да виде стандардни модел.

Но, постоје на свету и многе оптичке илузије на које нас еволуција није припремила...

Подаци који прођу два тригера

1 EB (Exabyte)	Годишња продукција информација
1 PB (Petabyte)	LHC експерименти ~ 10% укупне годишње продукције информација
1 TB (Terabyte)	Светска годишња производња књига
1 GB (Gigabyte)	Један DVD филм
1 MB (Megabyte)	Једна дигитална фотографија

Обрада података

- **Генерисање догађаја:**
Генерисање честица и њихових кинематичких особина.
- **Симулација догађаја:**
Израчунавање одговора детектора из теорије и карактеристика детектора.
- **Реконструкција догађаја:**
Трансформација сигнала детектора у физичке величине као што су енергија и наелектрисање честица.
- **Анализа догађаја:**
налажење судара сличних особина и коришћење комплексних алгоритама за екстраховање физике.

LHC захтеви – брзина

За потпуну симулацију једног судара (догађаја) на ATLAS или CMS детектору потребно је ~15 минута на данашњим процесорима.

За добру анализу једног канала потребно је у просеку 100.000 догађаја.

Дакле, за потпуну симулацију једног канала потребно је приближно 3 године процесорског времена.

Судар се обрађује 15 минута ~ 1000 секунди на једном процесору. Нови судар се дешава сваких 0.01 секунди.

LHC-у је потребно ~100.000 процесора (далеко изнад могућности рачунарског центра CERN-а).

Рачунарство са префиксом "Peta"

Оба основна рачунарска захтева LHC-а имају и мају префикс "Peta":

- Годишње складиштење податка је приближно $10 \text{ PB} = 10^{16} \text{ B}$
- Потребна брзина $\sim 1 \text{ Petaflops} = 10^{15}$ операција у секунди (10^5 рачунара $\times 10 \text{ Gflops} = 1 \text{ Petaflops}$)

LHC је на овај начин дефинисао перформансе данашњег суперрачунарства.

Данас постоје две реализације оваквих перформанси. Обе су засноване на масивној паралелизацији (велики број процесора повезаних брзим мрежама):

- Дедиковани суперрачунари,
- ГРИД (CERN-ов избор).

Шта је то ГРИД?

- Приступ глобалној виртуелној рачунарској лабораторији практично неограничених ресурса.
- Дистрибуирано удруживање научника у виртуелне организације.
- Транспарентни и интуитивни приступ дистрибуираним подацима, научним сензорима и рачунарским ресурсима.
- ГРИД почива на софистицираном софтверу (middleware) који обезбеђује једноставну и безбедну комуникацију између удаљених рачунарских ресурса различитив врста.
- ГРИД претраживачи не налазе само податке, већ и технике обраде тих података и ресурсе који ће спровести те обраде.
- Рачунарски захтеви се у ГРИД–у аутоматски разврставају по свету, извршавају тамо где постоје потребни ресурси, а затим се резултати тих обрада шаљу назад научнику.

Од визије до реалности

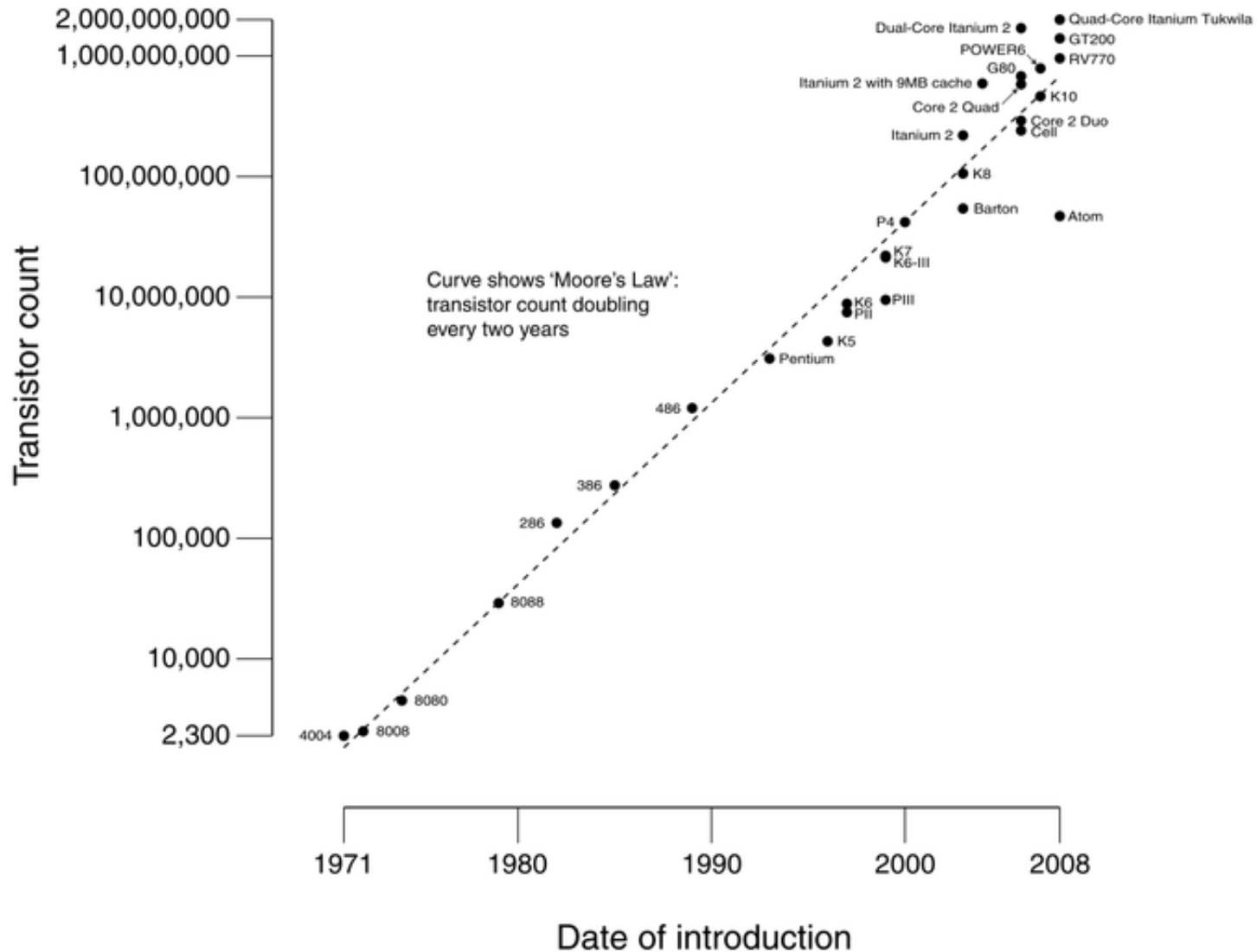
CERN је пре 20 година био “петријев суд” у коме је настао WEB који је обезбедио једноставни глобални приступ информацијама.

ГРИД представља следећи еволуциони корак којим се обезбеђује једнако једноставни приступ колективној процесорској сази и складиштенем потенцијалу планете.

ГРИД је постао реалност, а инфраструктура LCG пројекта обезбеђује информатичку подршку не само за LHC и физику високих енергија, него и за многе друге области тзв. еНауке (нанотехнологија, симулација климатских промена, дешифровање генома и протеина, дизајнирање лекова)

Муров закон: минијатуризација и паралелизација

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



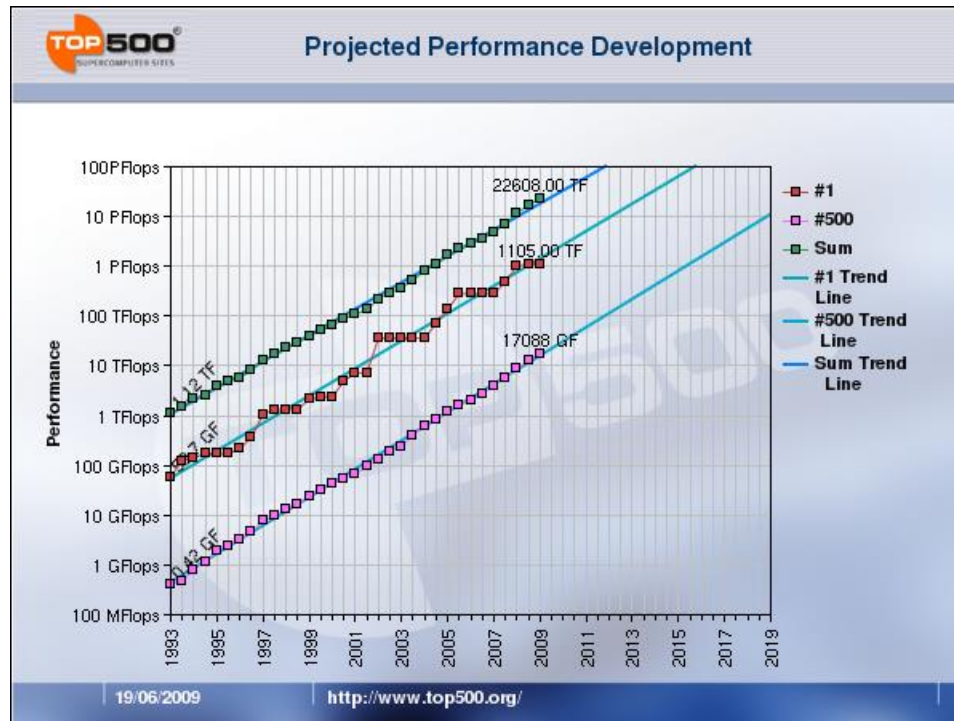
Serbian teacher program, CERN, 4-11 August 2015

Минијатуризација

- Дуплирање транзистора на чипу сваке 2 године.
- Угрубо, линеарне димензије се преполове сваке 4 године.
- Покретач овога похода ка малом је коначност брзине светлости.
- Последица је глобална економија у којој живимо у којој је револуција у информатци и комуникацијама један од кључних покретача.
- Баријера наставка овог процеса у недоглед су величине атома и термодинамика.

Паралелизација

Перформансе суперрачунара се дуплирају сваке године. Једна деценија доноси убрзање од $2^{10} \sim 10^3$. Узрок раста је сада паралелизација.



Последице експоненцијалног раста

- Када су LHC и његови детектори били планирани рачунарство на "peta" скалама је изгледало као научна фантастика. Велики научно–технолошки подухвати као LHC нас уче да се научни метод може успешно користити за рационално планирање будућности. Ово је за друштво вероватно једна од најважнијих употребних вредности физике и физичара.
- Данас не треба да будемо ништа мање амбициозни. Време је да разматрамо изазове 2050. Комплексност са којом ћемо тада моћи да се суочимо је 10^{12} пута већа од оне која нам је данас доступна.
- Пред човечанством је више релевантних проблема, но треба имати пуно маште па замислити проблеме ове сложености.
- Но, да ли ће се експоненцијални раст наставити?

Границе одређује физика

- Енергија је та која ограничава брзину рачунања. На самом крају не можемо избећи релације неодређености.
- Ентропија ограничава складиштени капацитет.
- Коначност брзине светлости намеће потребу за минитуризацијом, али крајњи домет ове (чак и ако успемо да радимо на скалама мањим од атомских) је одређен Шварцшилдовим радијусом $2mG$.
- Топлотна дисипација предстваља суштински проблем, но вечи део информатичке обраде се моће базирати на реверзибилним процесима. Кључна иреверзибилност је поправка грешака.
- Ова фундаментална ограничења доводе до процене да рачунар тежине лаптопа не може бити бржи од од 10^{35} Pflors, нити моће имати више од 10^{15} РВ меморије.
- Ово јесте научна фантастика, али силазак до скоро атомских димензија је реаистичан, као и запреминско паковање компоненти. Изгледа, дакле, да пред собом имамо још бар пола века експоненцијалног раста.



Хвала на пажњи. Видимо се у Земуну.