

# LHC I GRID PARADIGMA

Aleksandar Bogojević  
Institut za fiziku, Beograd

# LHC: malo, manje, veliko i crno...

# Malo

CERN se bavi fizikom elementarnih čestica.

malo = kvantno:

$$px \sim \hbar$$

brzo = relativističko:

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

---

malo + brzo = visoke energije:  $E \sim \hbar c/x$

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

atom  $\sim 10^{-8} \text{ cm}$

vi  $\sim 10^2 \text{ cm}$

LHC je najveći mikroskop na svetu koji vidi stvari koje su onoliko puta manje od atoma koliko ste vi od njih veći.

# Manje

Na LHC-u se vide dve od tri fundamentalne interakcije:

- × jaka
- × elektroslaba = elektromagnetna + slaba, ali ne i najslabija interakcija, tj. gravitacija.

Ovo je na neki način i sreća jer ni posle 80 godina ne znamo da kvantizujemo gravitaciju, no znamo da će ta teorija sadržati sve tri univerzalne konstante u prirodi:  $\hbar$ ,  $c$ , i  $G$ .

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

Za ovo nam treba čak  $10^{16}$  puta bolji mikroskop od LHC-a! Treba nam i sasvim nova teorija. No dimenziona analiza radi.

# Pitanje

Vaši učenici znaju za gravitacionu interakciju (a najslabija je), tek ponešto znaju (o delu) elektroslabe, a baš ništa o jakoj interakciji. Zašto?

A ujedno, što ih ne učite dimenzionoj analizi? Na primer, što ne bi znali da ugrubo procene koliki su efekti kvantne gravitacije na LHC skalama?

# Veliko

Efekte kvantne gravitacije su zanemarjivi na LHC skalama, no to ne znači da klasična gravitacija (opšta teorija relativnosti) nema veze sa LHC-om.

Primenjena na čitav kosmos klasična gravitacija predviđa njegovo širenje, odnosno nastanak u singularitetu (velikom prasku). Kosmos se za 13 milijardi godina raširio i ohladio (na 3K), no na samom početku je bio veoma mali i veoma vruć. Dakle, LHC nije samo mikroskop, nego i “teleskop” kojim eksperimentalno izučavamo fiziku ranog svemira.

Tako sazajemo (između ostalog) o nastanku najvećih struktura u svemiru: praznina (voids) i jata galaksija.

# Crne rupe

Klasična gravitacija je mnogo sklona singularitetima. Pored ovog kosmološkog postoji i jedan drugi – crne rupe.

Crne rupe su klasično stabilne. Ne znamo da ih kvantizujemo, no (ako su dovoljno masivne) možemo da ih tretiramo semi-klasično. Tako otkrivamo da one isparavaju, to brže što su manje. Velike crne rupe su “gutači svetova”, njihovi mini rođaci, ako postoje, su samo nova vrsta čestica koje se brzo raspadaju, dakle uopšte nisu crne.

Neki teorijski modeli predviđaju postojanje mini crnih rupa koje bi se mogle stvarati u LHC-u. Njihovo otkriće je malo verovatno, no bilo bi signal revolucionarnog prodora u fizici.

# Da nama ne bude crno

Videli smo da postoji prelepa veza između fenomena na najvećim i najmanjim skalama. Tu se bje bitka za novu fiziku. Mi u toj bitci (izgleda) nećemo imati predstavnike jer:

- ✘ Kod nas su astronomija i astrofizika odvojene od fizike.
- ✘ Na dodiplomskim studijama fizike se ne izučava opšta teorija relativnosti.

Krivica nije samo na vašim profesorima, jer i vi ste nečiji profesori. Fizika je živa i uzbudljiva disciplina, a to znači da vaše obrazovanje ne prestaje kad diplomirate.



# GRID: nova računarska paradigma

# LHC zahtevi – skladištenje podataka

- × 4 eksperimenta (ATLAS, ALICE, CMS, LHCb)
- × ~ 40 miliona sudara u sekundi
- × Posle filtriranja ~ 100 sudara od interesa u sekundi
- × ~ 1 MB podataka po sudaru

Gruba procena količine podataka za skladištenje:

- × 100 MB u sekundi, odnosno 1 PB =  $10^9$  MB mesečno
- × CERN računarski centar može da sačuva tek nekoliko meseci LHC podataka – neophodno distribuirano skladištenje

Poređenja radi, ukupni skladišteni kapacitet ljudskog mozga je približno  $10^{11}$  neurona \*  $10^3$  sinapsi \* 10 B =  $10^{15}$  B = 1 PB

# CERN–ova dva oka

- × Kada input daleko prevazilazi hardverske mogućnost brute force obrade, nove tehnologije počinju da poprimaju “biološka” svojstva, hijerarhijski odbacujući ogromnu većinu podataka koji se procenjuju kao nebitni.
- × Hardverski triger je analogon obrade video signala u ganglijama neposredno iza oka, a softverski dalje nesvesne obrade u mozgu. Tek ono što prođe ide na svesno procesiranje u kori velikog mozga.
- × Evolucija je optimalizovala naš vid da vidimo tigra koji nas napada, a fizičari ATLAS i CMS da vide standardni model.

No, postoje na svetu i mnoge [optičke iluzije](#) na koje nas evolucija nije pripremila...

# Podaci koji prođu filtriranje

1 EB (Exabyte)

Svetska godišnja produkcija informacija

LHC ~ eksperimenta ~ 10% svetske godišnje produkcije

1 PB (Petabyte)

1 TB (Terabyte)

Svetska godišnja proizvodnja knjiga

1 GB (Gigabyte)

Jedan DVD film

1 MB (Megabyte)

Jedna digitalna fotografija

# Obrada LHC podataka

- × Generisanje događaja:  
generisanje čestica i njihovih kinematičkih osobina
- × Simulacija događaja:  
izračunavanje odgovora detektora iz teorije i karakteristika detektora
- × Rekonstrukcija događaja:  
transformacija signala detektora u fizičke veličine (e.g. energija, nelektrisanje čestica)
- × Analiza događaja:  
nalaženje sudara sličnih osobina i korišćenje kompleksnih algoritama za ekstahovanje fizike

# LHC zahtevi – brzina

- ✘ Za potupnu simulaciju jednog sudara (događaja) na ATLAS ili CMS detektoru potrebno je ~15 minuta na današnjim PC procesorima
- ✘ Za dobru analizu jednog kanala potrebno je u proseku 100 000 događaja
- ✘ Dakle, za potpunu simulaciju samo jednog kanala potrebno je ~ 3 godine procesorskog vremena

Sudar se obrađuje 15 minuta ~ 1000 s na jednom procesoru  
Novi sudar se dešava svakih 0.01 s

---

LHC-u je potrebna kompijuterska snaga ~100 000 procesora  
(daleko iznad mogućnosti računarskog centra CERN-a)

# “Petascale” računarstvo

Oba osnovna računarska zahteva LHC-a imaju prefiks Peta:

- × Godišnje skladištenje podataka  $\sim 10 \text{ PB} = 10^{16} \text{ B}$
- × Brzina  $\sim 1 \text{ Petaflops} = 10^{15} \text{ operacija u sekundi}$   
( $10^5 \text{ računara} * 10 \text{ Gflops} = 1 \text{ Petaflops}$ )

LHC je na ovaj način definisao performanse današnjeg superračunarstva.

Danas postoje dve realizacije ovakvih performansi, obe su zasnovane na masivnoj paralelizaciji (veliki broj procesora povezanih brzim mrežama):

- × Dedikovani superračunari
- × GRID

# Dedikovani superračunari > 1 PFlops



Amerika

Roadrunner (LANL), Jaguar (ORNL)

Evropa

Jugene (FZJ)

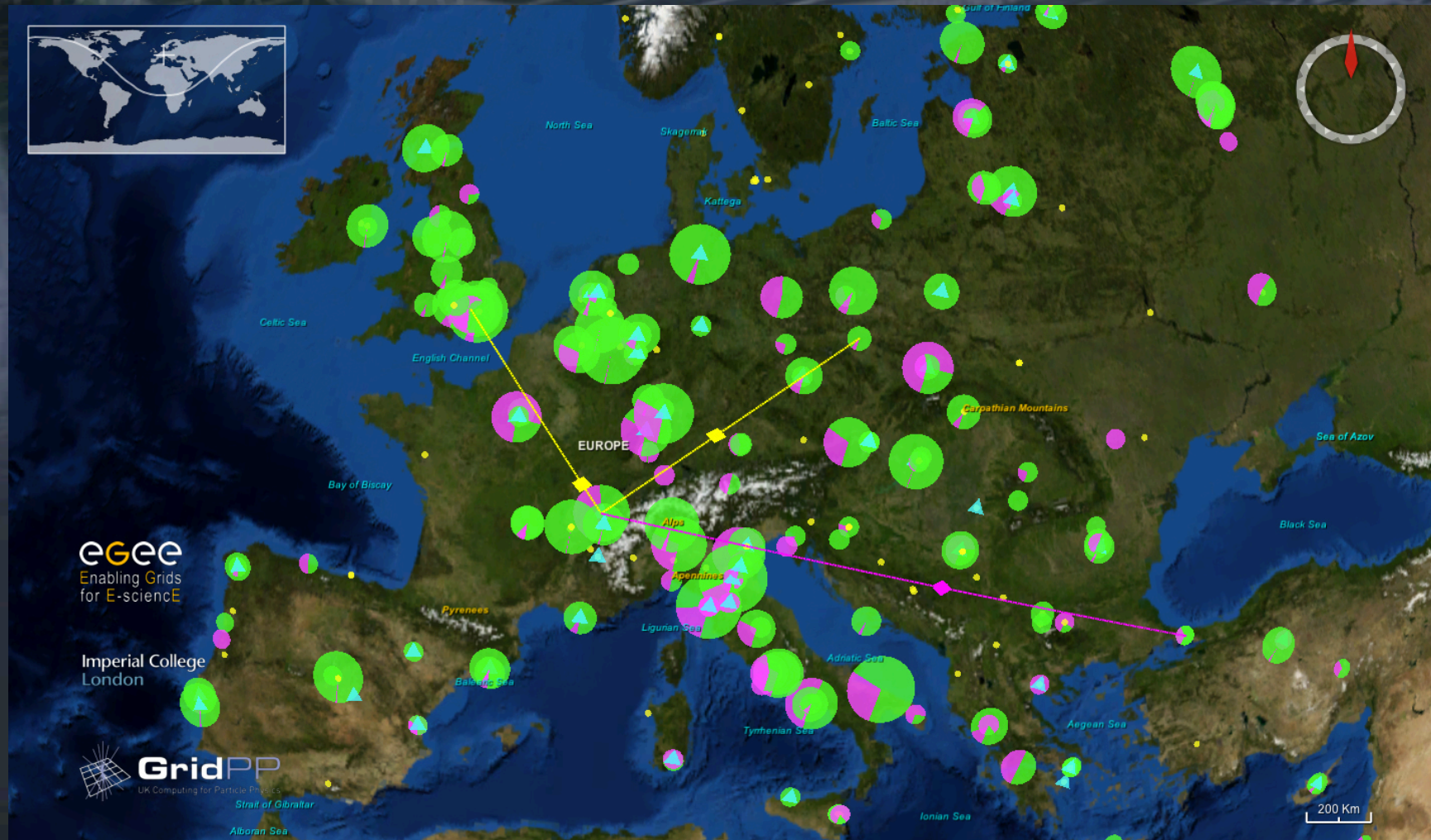
plan: 3–5 mašina u 2010. (PRACE projekat)

Japan

plan: 10 Pflops mašina 2011/12.



# CERN-ov izbor



# Šta je to GRID?

- × Pristup globalnoj virtuelnoj računarskoj laboratoriji praktično neograničenih resursa.
- × Distribuirano udruživanje naučnika u virtuelne organizacije.
- × Transparentni i intuitivni pristup distribuiranim podacima, naučnim senzorima i računarskim resursima.
- × GRID počiva na sofisticiranom softveru (middleware) koji obezbeđuje jednostavnu i bezbednu komunikaciju između udaljenih računarskih resursa različitih vrsta.
- × GRID pretraživači ne nalaze samo podatke, već i tehnike obrade tih podataka i resurse koji će sprovesti te obrade.
- × Računarski zahtevi se u GRID-u automatski razvrstavaju po svetu, izvršavaju tamo gde postoje potrebni resursi, a zatim se rezultati tih obrada šalju nazad naučniku.

# Od vizije do realnosti

CERN je pre 20 godina bio “Petrijev sud” u kome je nastao WEB koji je obezbedio jednostavni globalni pristup informacijama.

GRID predstavlja sledeći evolucioni korak kojim se obezbeđuje jednako jednostavni pristup kolektivnoj procesorskoj snazi i skladištenom potencijalu planete.

GRID je postao realnost. GRID infrastruktura projekta EGEE danas obezbeđuje informatičku podršku ne samo za LHC i fiziku visokih energija, nego i za mnoge druge oblasti tzv. eNauke (e.g. nanotehnologija, simulacije klimatskih promena, dešifrovanje genoma i proteoma, dizajniranje lekova)

# Lična karta EGEE projekta

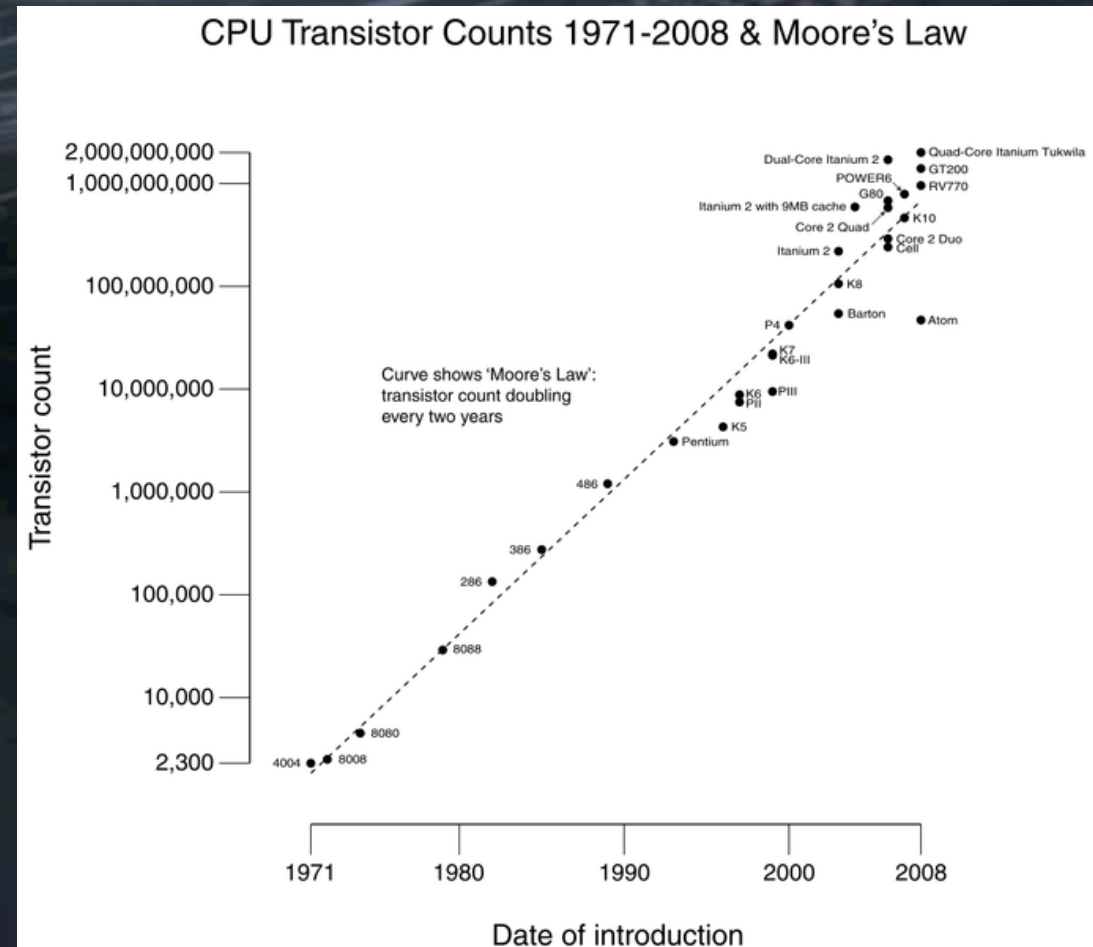
- × 290 institucija
- × 55 zemalja
- × ~ 150 000 procesora
- × ~ 60 PB prostora
- × ~ 100 M€ budžet  
(6 godina)
- × Informatička  
infrastruktura LHC
- × Liderska uloga Evrope
- × Katalizator velikog broja  
visokotehnoloških  
međunarodnih projekata



# Minijaturizacija i paralelizacija

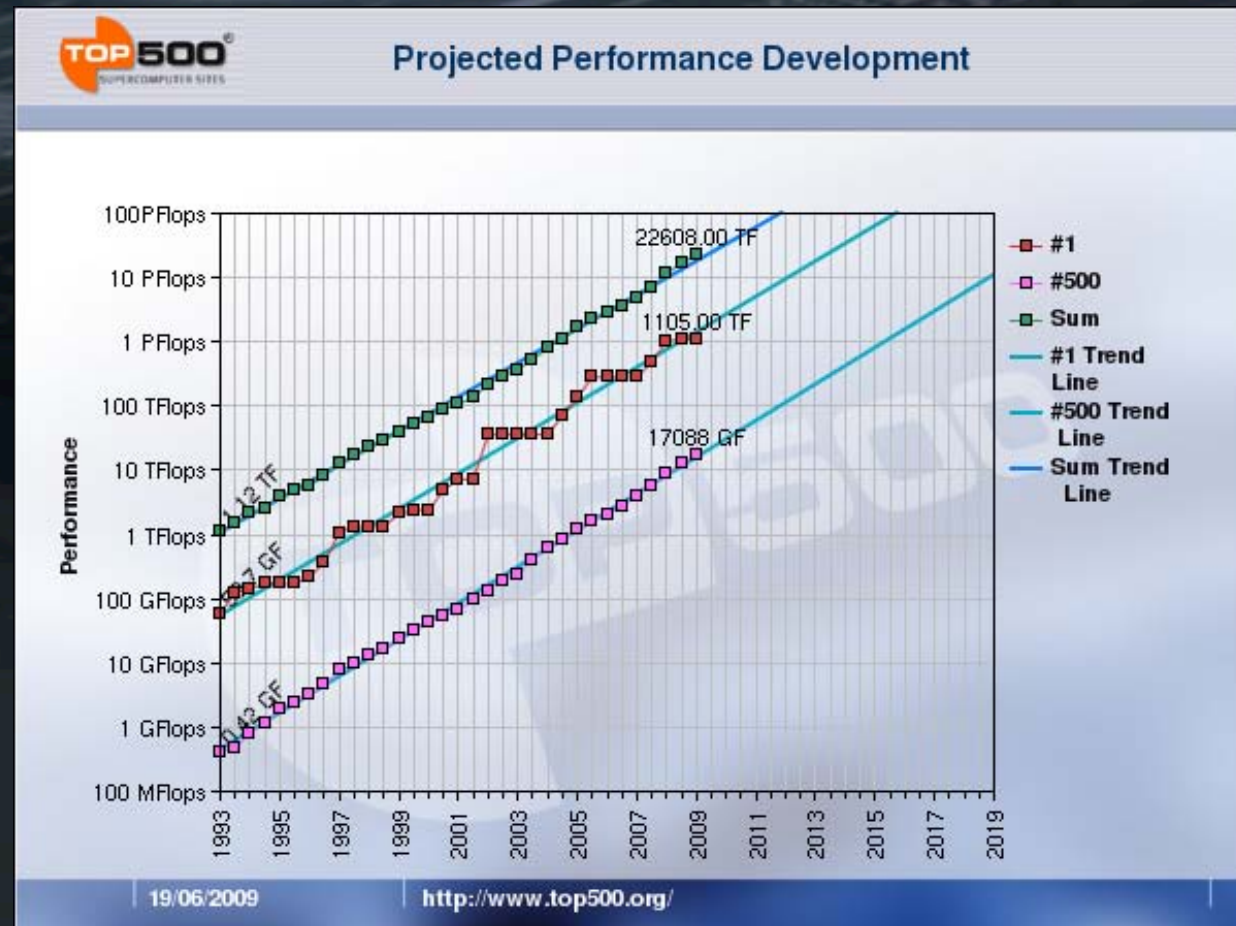
# Minijaturizacija – Murov zakon

- ✘ Dupliranje broja tranzistora na čipu svake 2 godine.
- ✘ Dakle, ugrubo, linearne dimenzije elemenata se prepolove svake 4 godine.
- ✘ Pokretač ovoga je brzina svetlosti.
- ✘ Barijere su veličina atoma i termodinamika.



# Paralelizacija – još brži rast

- × Performanse superračunara se udvostručuju svake godine, jedna decenija donosi ubrzanje od  $2^{10} \sim 10^3$ .
- × Osnovni uzrok rasta je sada paralelizacija.



# Posledice eksponencijalnog rasta

- × Kada su LHC i njegovi detektori bili planirani, računarstvo na “peta” skalama je izgledalo kao naučna fantastika. Veliki naučno tehnološki poduhvati kao LHC nas uče da se naučni metod može uspešno koristiti za racionalno planiranje budućnosti. Ovo je za društvo verovatno najvažnija upotrebnost vrednost fizičara.
- × Danas ne treba da budemo ni malo manje ambiciozni. Vreme je da razmatramo izazove 2050. Kompleksnost sa kojom ćemo tada moći da se suočimo je  $10^{12}$  puta veća od one koja nam je danas dostupna.
- × Pred čovečanstvom je više relevantnih problema, no treba imati puno mašte pa zamisliti probleme ove složenosti.
- × No da li će se eksponencijalni rast nastaviti?



# Granice određuju zakoni fizike

- × Energija ograničava brzinu računanja (relacija neodređenosti)
- × Entropija ograničava skladišteni kapacitet
- × Konačnost brzine svetlosti nameće miniturizaciju, a njen krajnji domet je Švarcchildov radijus  $2mG$ .
- × Toplotna disipacija je suštinski problem, no veći deo informatičke obrade se može bazirati na reverzibilnim procesima. Ključni ireverzibilni je popravka grešaka.

Računar težine laptop-a ne može biti brži od  $10^{35}$  Pflops, niti imati više od  $10^{15}$  PB memorije. Ovo je naučna fantastika, no silazak skoro do atomskih dimenzija je realističan, kao i zapreminsko pakovanje. Imamo bar još pola veka rasta.

# Projekti

eGEE  
Enabling Grids  
for E-science

eGEE  
Enabling Grids  
for E-science



BLUE DANUBE



SCIENTIFIC  
COMPUTING  
LABORATORY

INSTITUTE OF PHYSICS BELGRADE

Serbian physics teacher outreach program, CERN, 26–31 October 2009

<http://www.scl.rs>

