



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 11

დიდი აფეთქების თეორია
ადრეული სამყარო
რელიქტური ფონური გამოსხივება

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2013

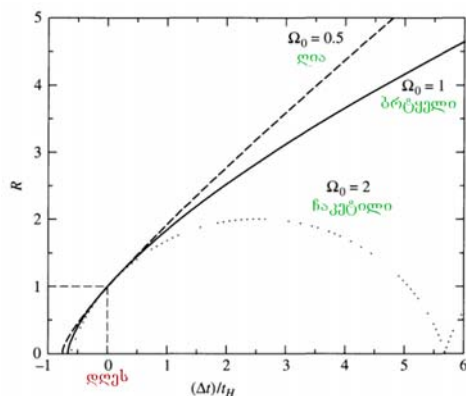
ლექცია/გვერდი: 11/2

სამყაროს გაფართოება

აინშტაინის განტოლების ამონახსნი:
ფრიდმანი (1922), არასტატიკური ამონახსნი:

სამყაროს ბედი
დამოკიდებულია
მის სიმკვრივეზე

“ღია” და
“ჩაკეტილი”
სამყარო



სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2013

ლექცია/გვერდი: 11/1

წინა ლექციაში

- კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია
- ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ეფექტები
- სამყაროს გაფართოება
- კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2013

ლექცია/გვერდი: 11/3

სამყაროს გაფართოება

ლემეტრი (Georges Lemaître, 1927)

“შექმნის მომენტში

ფეთქებადი კოსმოსური კვერცხი”

“the Cosmic Egg exploding at the moment of the creation”



“დიდი აფეთქების” (big bang) თეორიის ავტორი

სამყარო ფართოვდება საწყისი მცირე ზომის ცხელი
წერტილიდან.

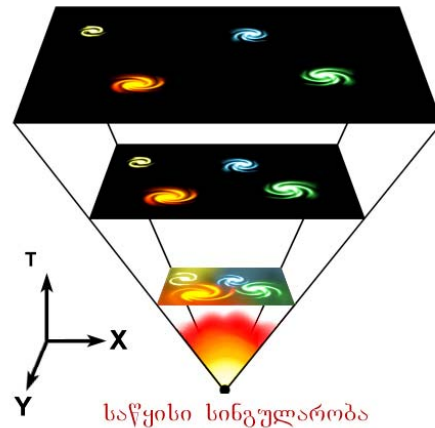
პრობლემები: საწყისი წერილი – სინგულარობა?
უსასრულო სიმკვრივე?

დიდი აფეთქება

მთელი სამყაროს
მასა თავმოყრილია
ერთ წერტილში

გაფართოებისას
იკლებს
სიმკვრივე და
ტემპერატურა

”ცხელი” დიდი
აფეთქების მოდელი

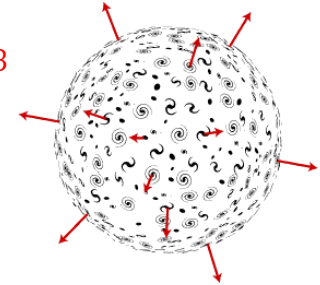


გაფართოება და კოსმოლოგიური პრინციპი

- დიდი აფეთქება: გაფართოება საწყისი წერტილიდან.
- კოსმოლოგიური პრინციპი: სამყაროში არ არსებობს გამორჩეული ადგილი ან მიმართულება;

რომელი წერტილის ირგვლივ
ფართოვდება საყარო?
პასუხი: ყველა

ანალოგი: ბუმტის
ზედაპირის გაფართოება



ადრეული სამყარო

მაღალი ენერგიები, ტემპერატურა, სიმკვრივე.

დიდი გაერთიანება: გრავიტაციული,
ელექტრომაგნიტური, ბირთვული, ძლიერი და
სუსტი ურთიერთქმედების აღმწერი ერთიანი
ველის თეორია.

გაფართოება: ტემპერატურის, სიმკვრივის კლება

სხვადასხვა ”ეპოქები”: განსხვავებული ფიზიკა

სამყაროს ევოლუცია

თეორიული მოდელი: კოსმოლოგიური ეპოქები

10^{-32} წამი ($10^{27}K$)

ელემენტარული ნაწილაკების ”ბულიონი”,
ელექტრონები, კვარკები ...

10^{-6} წამი ($10^{13}K$)

კვარკები ქმნიან პროტონებს და ნეიტრონებს

3 წუთი (10^8K)

იონიზირებული პლაზმა (გაუმჟღავნებელი)

სამყაროს ევოლუცია

300 000 წელი (10 000K)

ატომების წარმოქმნა და გამჭვირვალე სამყაროს დაბადება

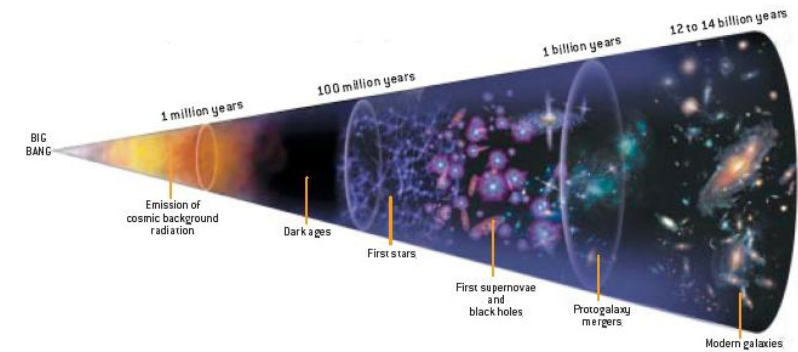
1 მილიარდი წელი (70K)

პირველი გალაქტიკების წარმოშობა

10 მილიარდი წელი (3K)

სამყაროს დღევანდელი სურათი

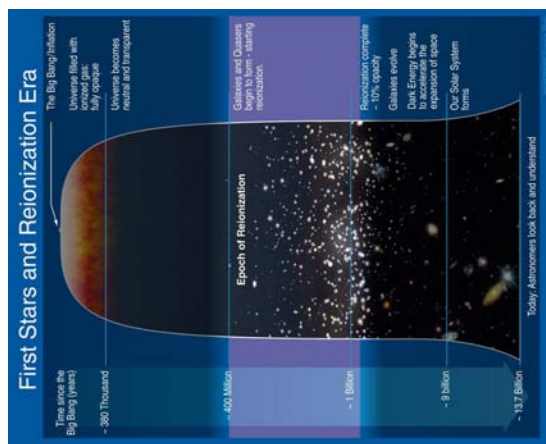
კოსმოლოგიური ეპოქები



რეიონიზაცია

ბნელი
ეპოქის
დასასრული

პირველი
ვარსკვლავების
ანთება



ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები

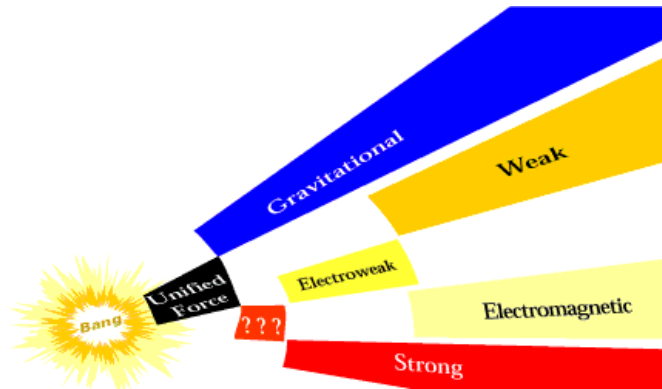
- გრავიტაციული
- ელექტრომაგნიტური
- ძლიერი
- სუსტი

დიდი გაერთიანების თეორია: მაღალ ენერგიებზე ურთიერთქმედებები ერთიანდებიან (GUT)

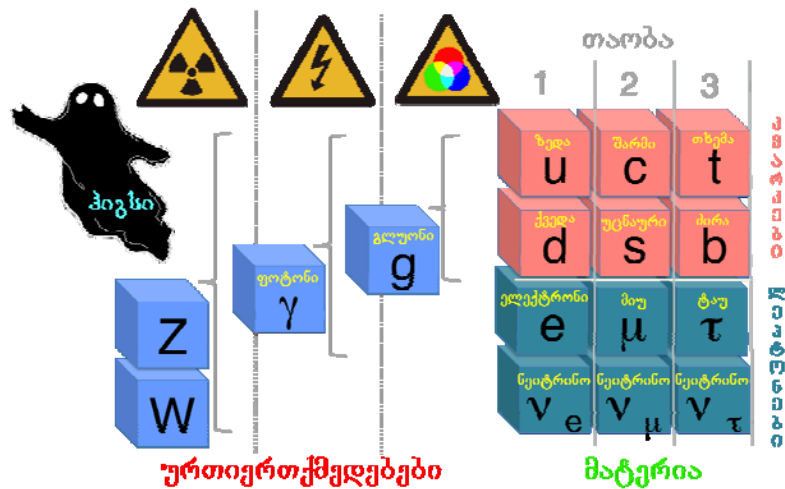
დიდი აფეთქების საწყისი ფაზა: GUT

სამყაროს ევოლუცია

სამყაროს გაფართოება და ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები



სტანდარტული მოდელი



ადრეული ეპოქა

სამყაროს გაფართოება იწვევს ტემპერატურის კლებას

ფაზური გადასვლები:

EW: (150 GeV)

ელექტრო-სუსტი ურთიერთქმედება

QCD: (175 MeV)

ქვანტური ქრომოდინამიკა:

ძლიერი ურთიერთქმედება

$(1\text{MeV} = 10^6 \text{ eV} = 10^6 \times 10^5 \text{ K} = 10^{11} \text{ K})$

ნაწილაკები და ანტინაწილაკები



სიმეტრიები სამყაროში

სიმეტრიების დარღვევამ ფაზური გადასვლებისას უნდა ახსნას დღევანდელი სამყაროს ხილული ასიმეტრიები.

ბარიონული ასიმეტრია: მატერია–ანტიმატერია დღევანდელი სამყაროში დომინირებს მატერია;

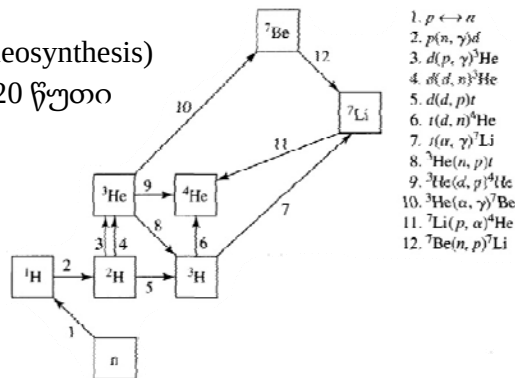
მაგნიტური მონოპოლები: “მაგნიტური ველის მუხტი” არ არის დამზერადი

დიდი აფეთქების ბირთვული სინთეზი

BBN (Big Bang Nucleosynthesis)

სამყაროს ასაკი: 3–20 წუთი

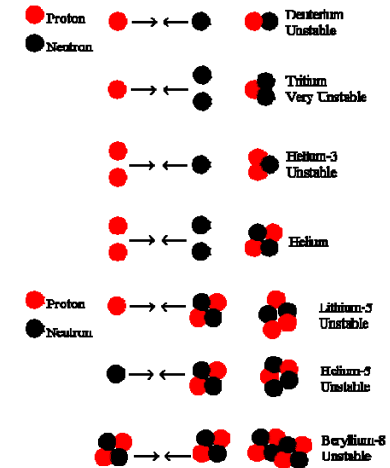
ბირთვების
შერწყმა და
ქიმიური
ელემენტების
სინთეზი



კოსმოლოგიური წარმოშობის ქიმიური ელემენტები (მძიმე ელემენტების სინთეზი ხდება ვარსკვლავებში)

დიდი აფეთქების ბირთვული სინთეზი

სამყაროს
საწყისი გაცივებისას
მცირე დროის
განმავლობაში
ესწრება მხოლოს
მსუბუქი
ქიმიური
ელემენტების
სინთეზი



რელიქტური გამოსხივება

თეორია (გამოვი, 1948)



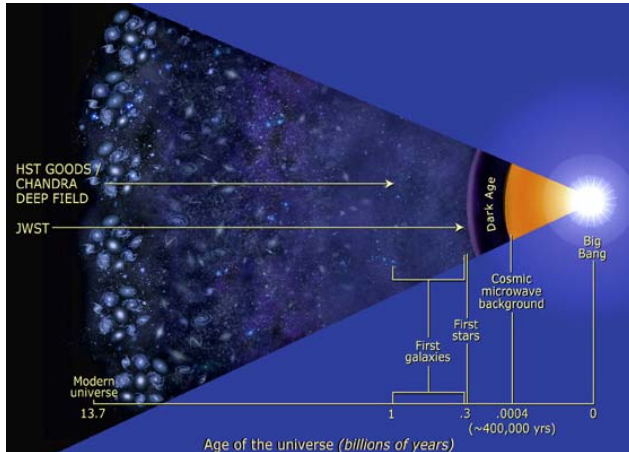
თუკი სამყარო ცივდება, მაშინ იგი გადის ე.წ. რეკომბინაციის ეპოქას. წყალბადის იონები ქმნიან წყალბადის ატომებს. სამყარო ხდება გამჭვირვალე.

დიდი აფეთქების ნათება უნდა ჩანდეს გამჭვირვალე სამყაროში.

სამყარო ფართოვდება: გამოსხივების სიხშირე ეცემა (ეფექტური ტემპერატურა). **დღეს: 3K**

ფონური გამოსხივება

უკანასკნელი ოპტიკური გაფანტვის ზედაპირი.

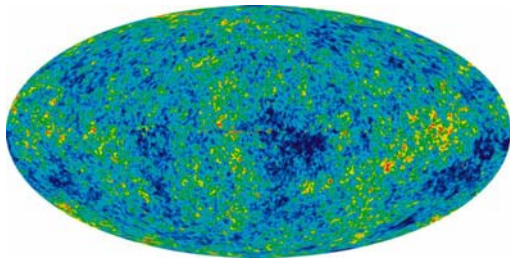


“ზუსტი” კოსმოლოგია

დაკვირვებითი კოსმოლოგიის ხანა:

რელიქტური ფონის გამოსხივების

არაერთგვაროვნებები: ($T = 2.7K$, $\Delta T/T \sim 10^{-5}$)



საწყისი არაერთგვაროვნებები:
გალაქტიკების ჩანასახები

რელიქტური გამოსხივება

რელიქტური ფონის გამოსხივების აღმოჩენა:

Penzias, Wilson 1965



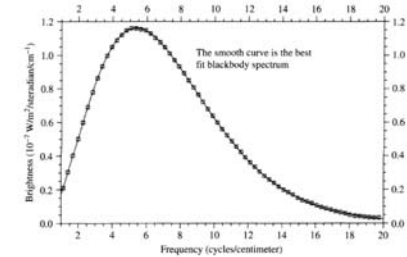
ერთგვაროვანი იზოტროპული გამოსხივება.

ტალღის სიგრძე: 1.06 მმ

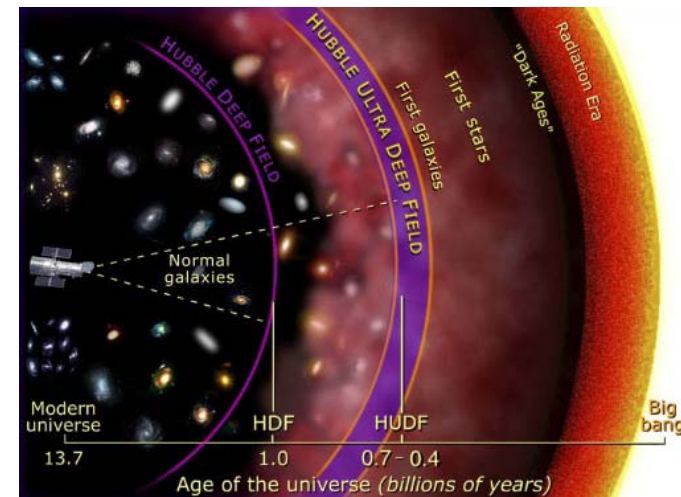
მიკროტალღოვანი
გამოსხივება

გამოსხივების ტიპი:

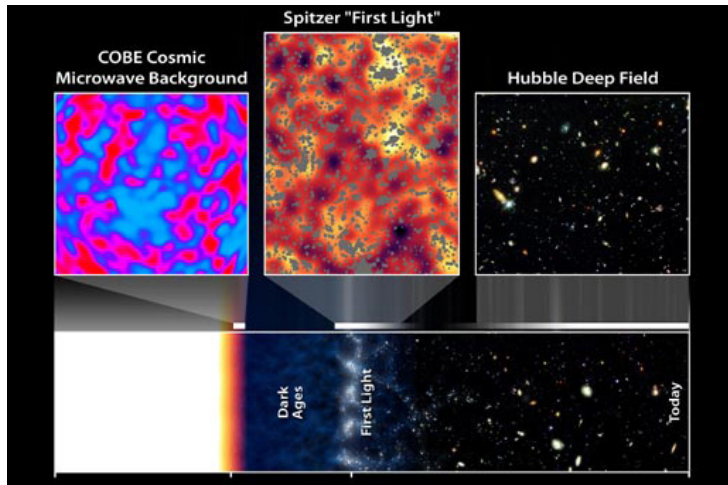
სითბური: 2.7K



დაკვირვებები



დაკვირვებები



ფარული ენერგია

სამყაროს დიდმასშტაბოვანი გეომეტრია დიდი სიზუსტით ბრტყელია.

თანამედროვე დაკვირვებები, სამყაროს ასაკი

მიმზიდავი და განმზიდავი ძალების ბალანსი:

მიმზიდავი: ნორმალური მატერია, ფარული მასა

განმზიდავი: ფარული ენერგია (ჰიპოთეტური)

მომავალი დაკვირვებები

უკანასკნელი გაფანტვის ზედაპირი: **ოპტიკური**

ეპოქა: წყალბადის რეკომბინაცია

რელიქტური ფონის გამოსხივება;

სამყაროს ასაკი: **300 000 წელი**

უკანასკნელი გაფანტვის ზედაპირი: **გრავიტაციული**

ეპოქა: **GUT (?)**

გრავიტაციული ფონური გამოსხივება (?)

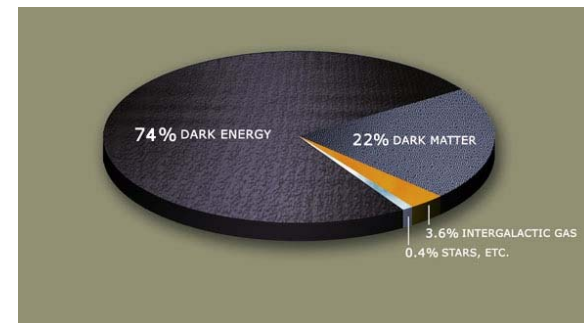
სამყაროს ასაკი **< 1 წამი (?)**

ფარული ენერგია

4% ვარსკვლავები, ვარსკვლავთშორისი გაზი, გამოსხივება

22% ფარული მასა

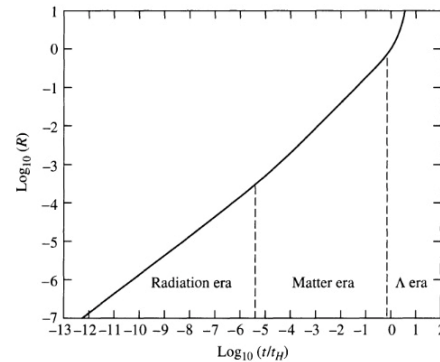
74% ფარული ენერგია ☹



კოსმოლოგიური ეტაპები

სამყაროს გაფართოება იწვევს გამოსხივებისა და მატერიის სიმკვრივის კლებას, ფარული ენერგიის სიმკვრივე (ვაკუუმის თვისება) უცვლელია (კიპოთეზა)

1. გამოსხივების დომინირება;
2. მატერიის დომინირება;
3. ფარული ენერგიის დომინირება;



დიდი აფეთქება

სამყაროს გაფართოება საწყისი ცხელი წერტილიდან

საწყისი წერტილი: **სინგულარობა**

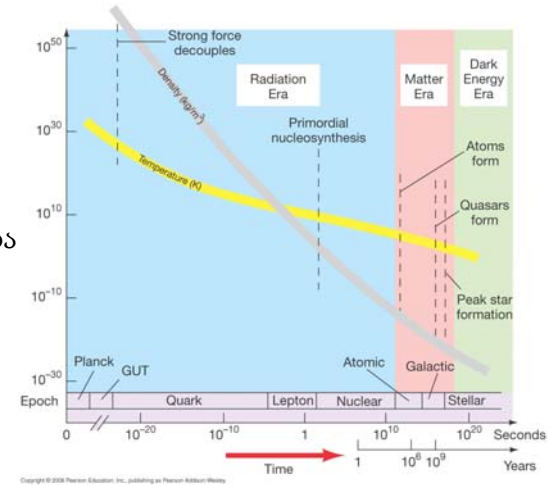
სამყაროს ასაკი: ~14 მილიარდი წელი

გაფართოების სიჩქარე < სინათლის სიჩქარე

სამყაროს ზომა $\leq$ კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

კოსმოლოგიური ეტაპები

სამყაროს მომავალი “ფარული ენერგიის ეპოქა” დამოკიდებულია დღეს უცნობი ფაქტორის თვისებებზე



www.tevza.org/home/course/universe2013