The background of the slide is a Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuation map, showing a complex pattern of temperature variations across the sky. The colors range from blue (cooler) to red and yellow (warmer), with a prominent bright yellow and white region in the upper left corner. The text is overlaid on this map.

**Фундаментальные представления
современной физики:
от взаимодействий элементарных частиц
до структуры и эволюции Вселенной**

Физический факультет МГУ
Кафедра физики частиц и космологии



Валерий Анатольевич Рубаков
*академик,
доктор физико-математических наук,
профессор*



Владимир Викторович Белокуров
*доктор физико-математических наук,
профессор*



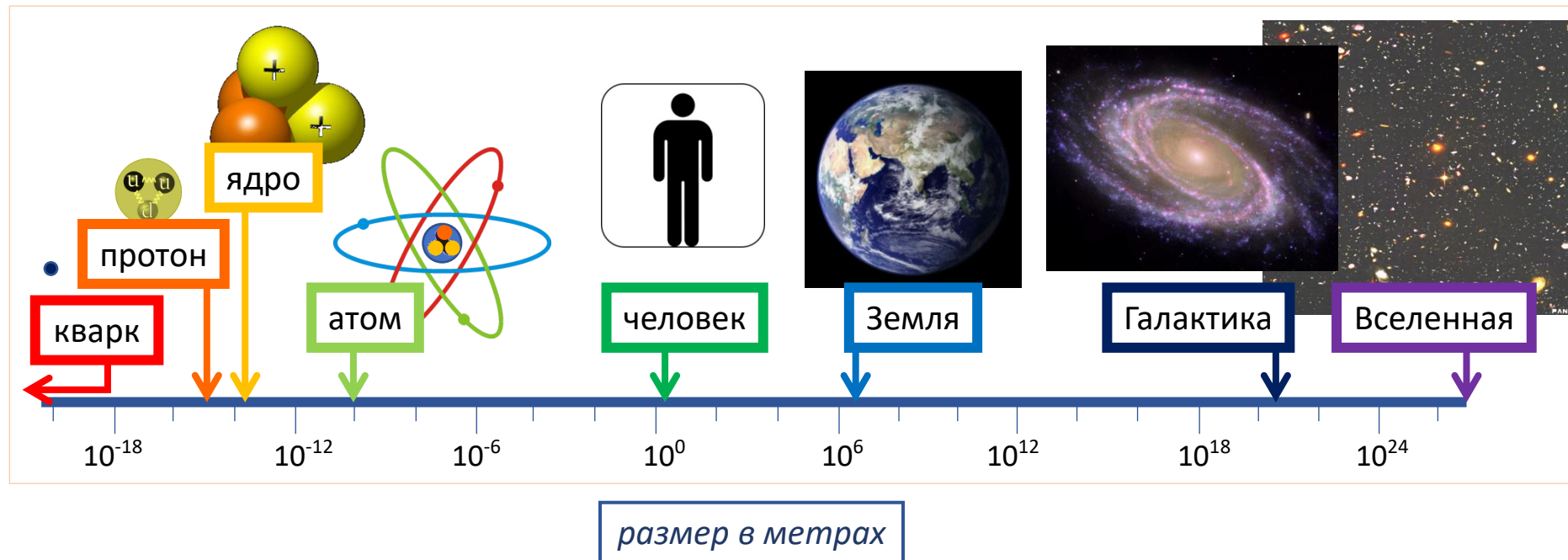
Сергей Вадимович Троицкий
*член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук*

Организация курса:

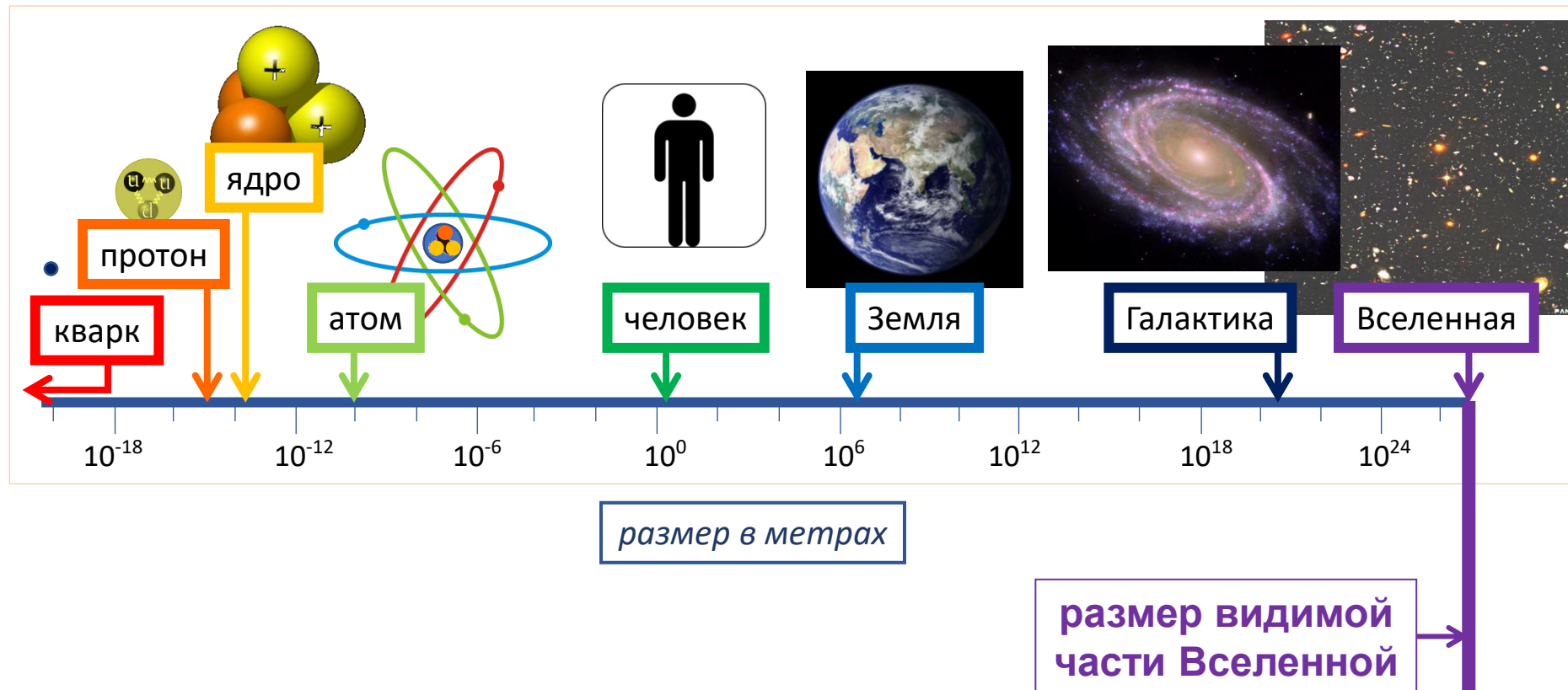
- лекции онлайн (zoom) или очные (физфак МГУ), среда 17:05-18:40
- окончание курса – конец апреля (10 лекций + зачет)
- зачет – придётся сдавать, хотя злобствовать не будем
- видеозаписи (старые) на сайте МГУ <http://media.msu.ru/?cat=320> →
- презентации (новые), программа и прочее на сайте кафедры
← http://ppc.inr.ac.ru/crossfac_2013.php



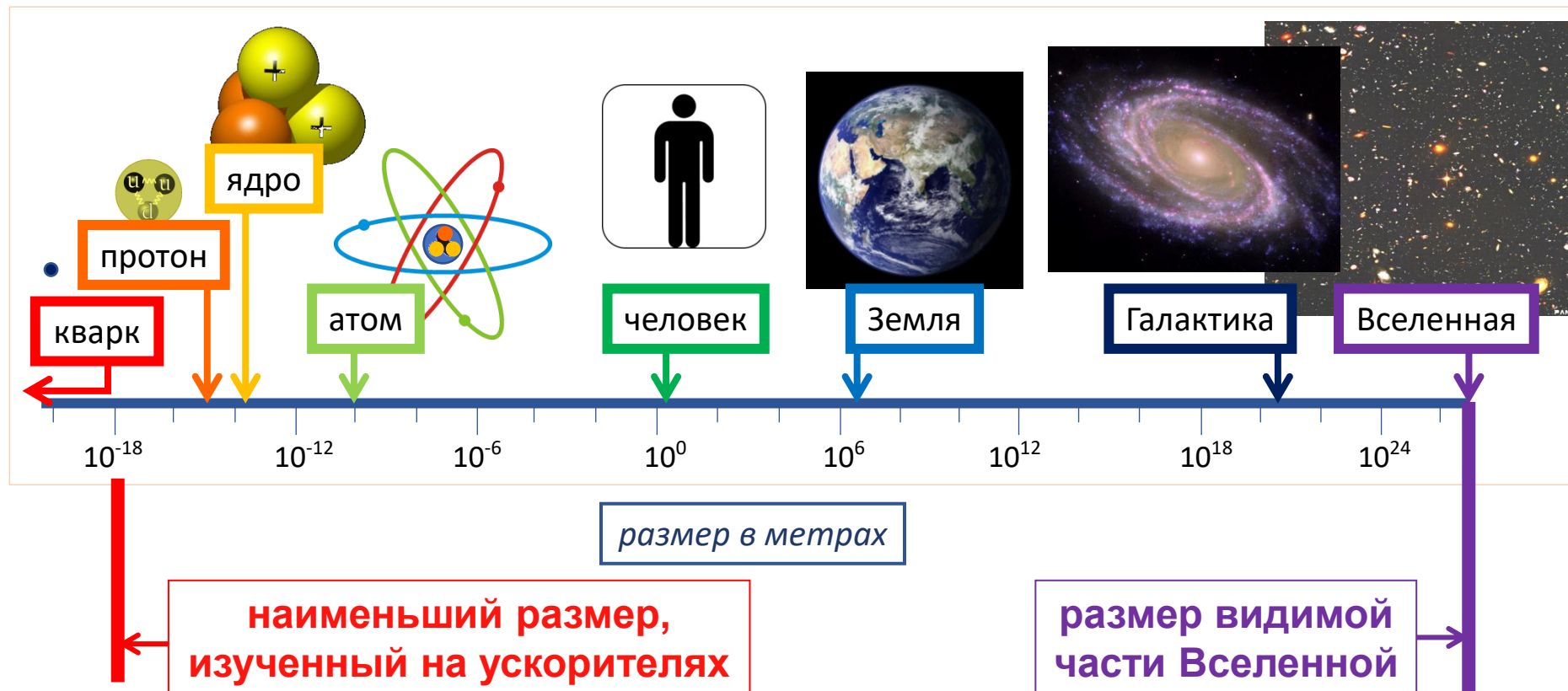
От составного к элементарному: масштабы, исследованные человеком



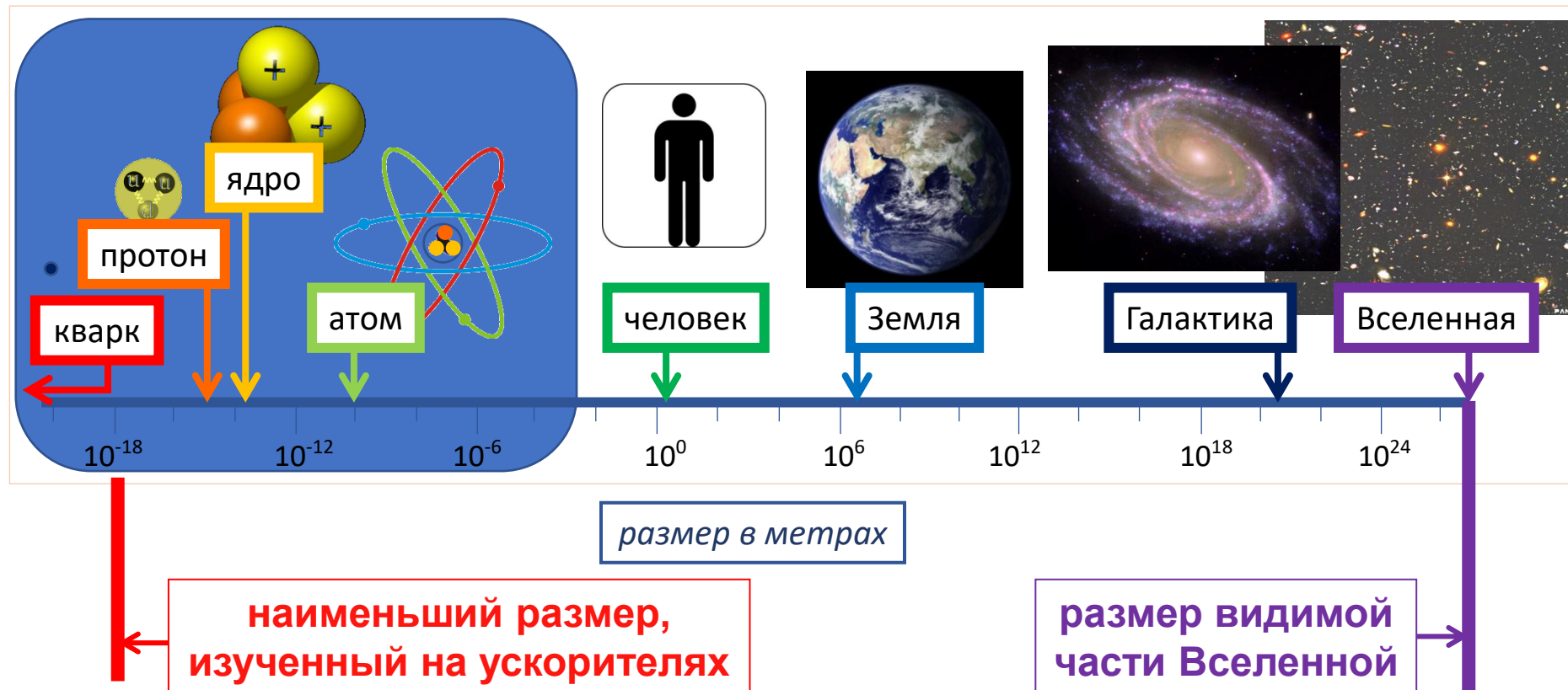
От составного к элементарному: масштабы, исследованные человеком



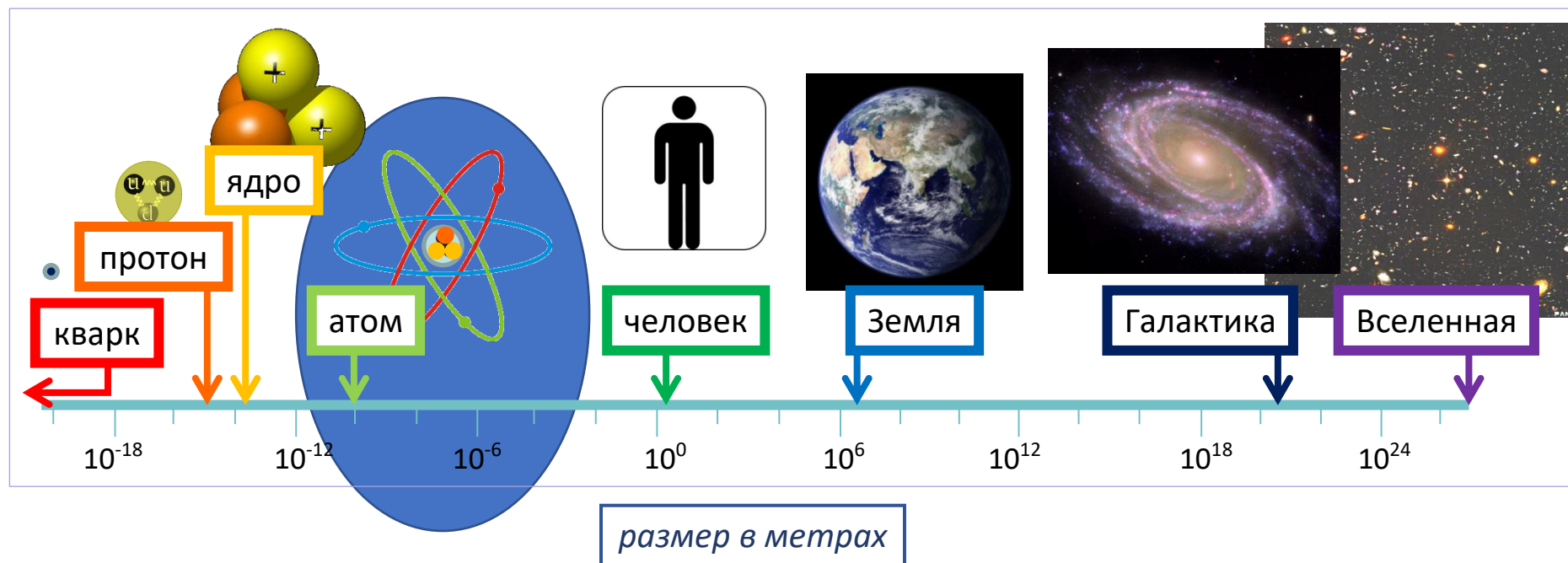
От составного к элементарному: масштабы, исследованные человеком



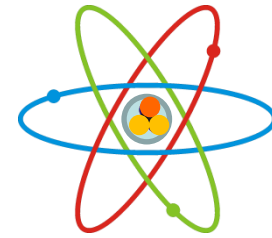
От составного к элементарному: масштабы, исследованные человеком



От составного к элементарному: атом



От составного к элементарному: атом

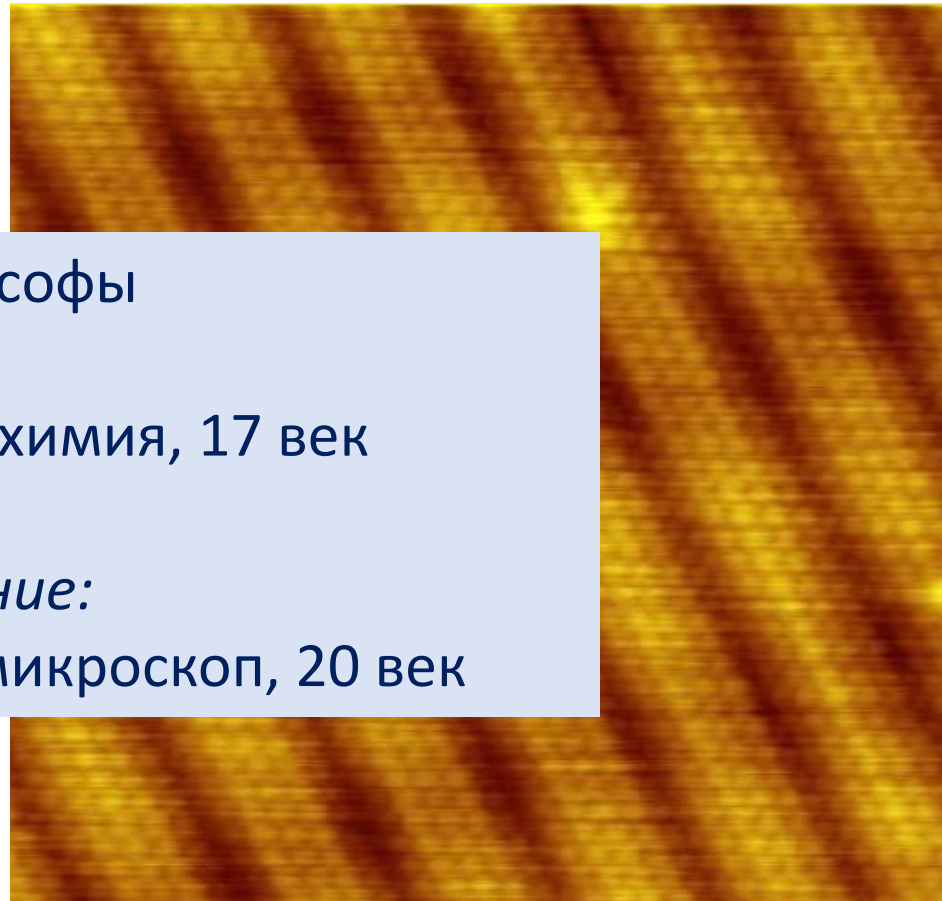


размер: 10^{-10} м

предсказание: древние философы

косвенное доказательство: химия, 17 век

*непосредственное наблюдение:
сканирующий электронный микроскоп, 20 век*



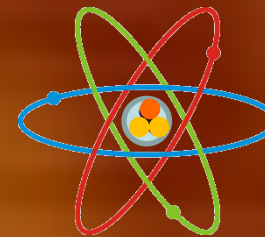
От составного к элементарному:

атом

размер: 10^{-10} м

*непосредственное наблюдение:
сканирующий электронный микроскоп, 20 век*

составной структуры не видно!



От составного к элементарному:
универсальный способ деления на части



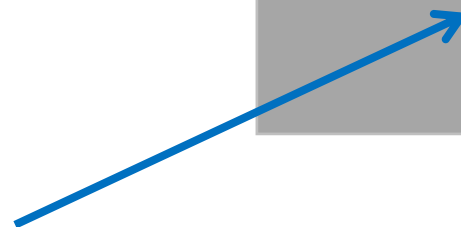
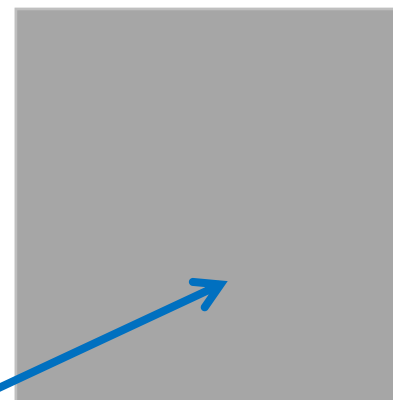
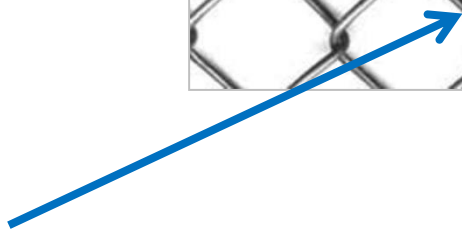
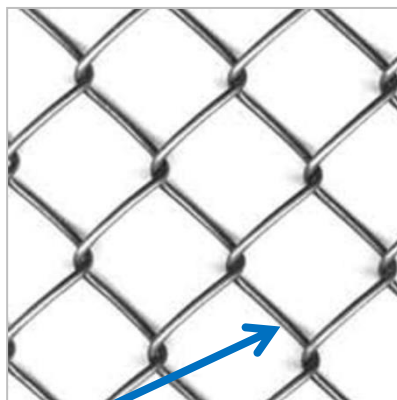
От составного к элементарному: немного более хитрый метод



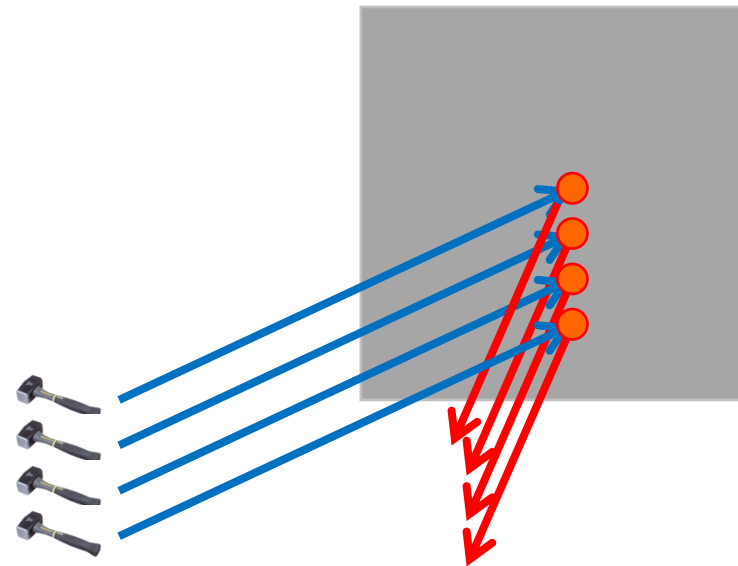
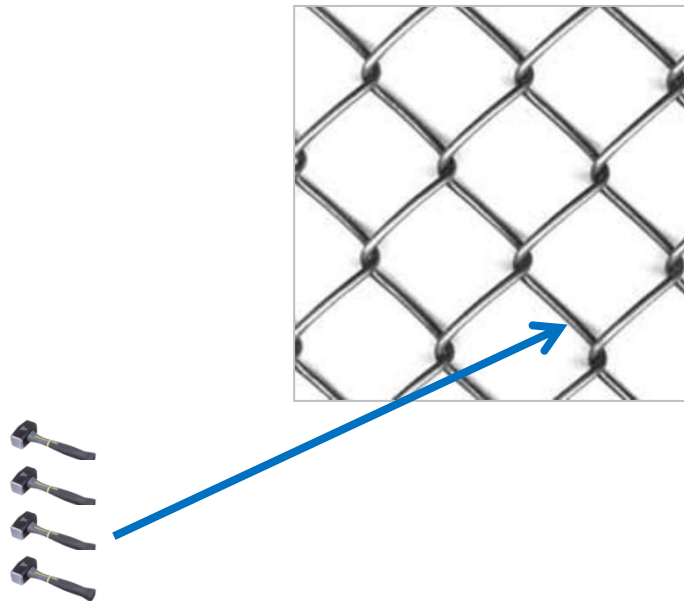
От составного к элементарному: немного более хитрый метод



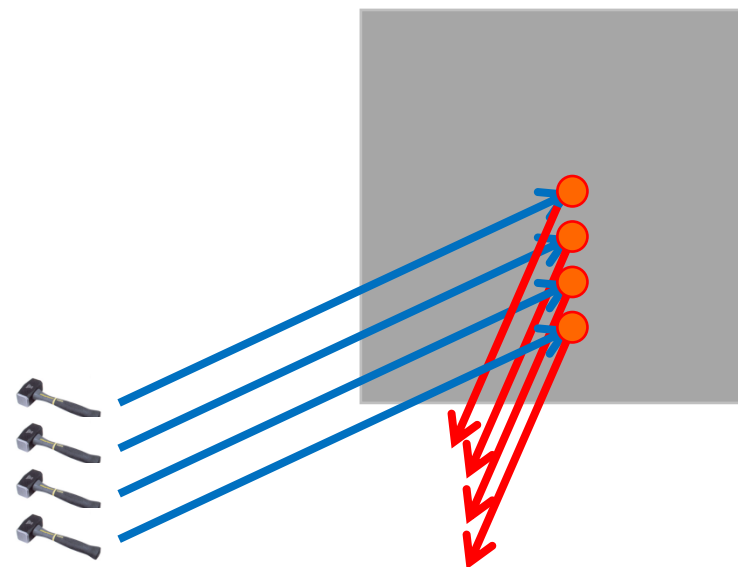
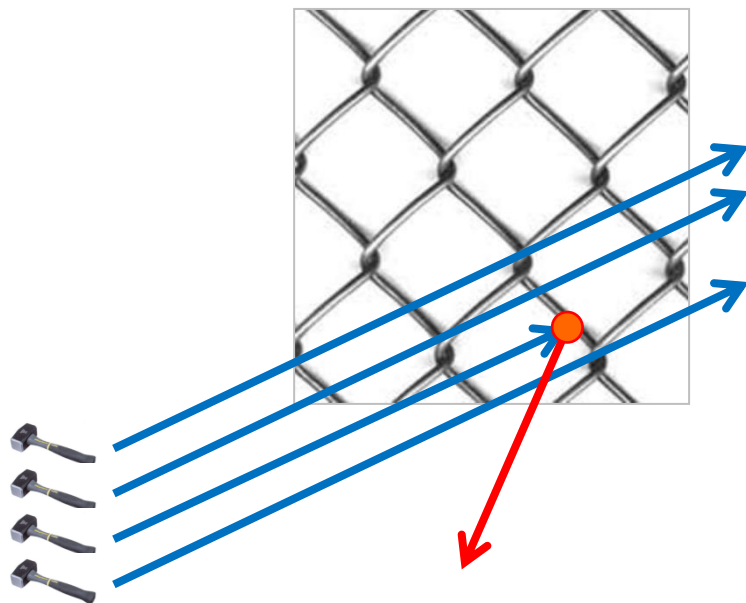
От составного к элементарному: немного более хитрый метод



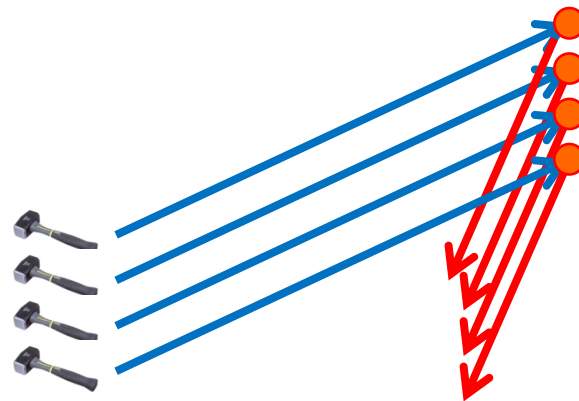
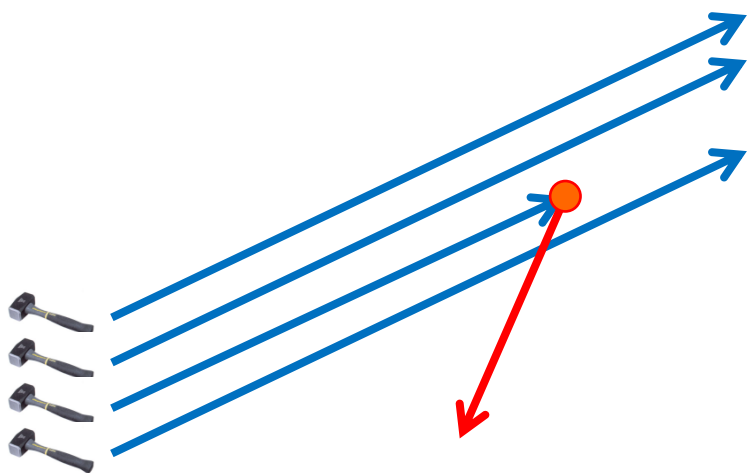
От составного к элементарному: немного более хитрый метод



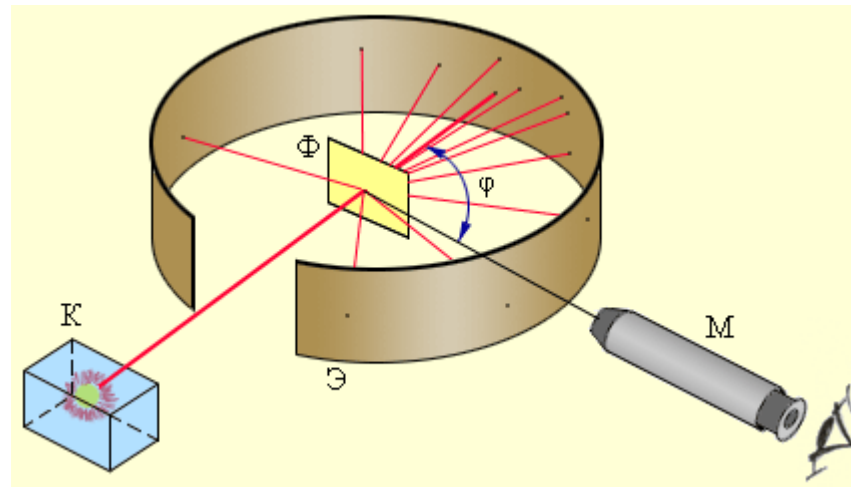
От составного к элементарному: немного более хитрый метод



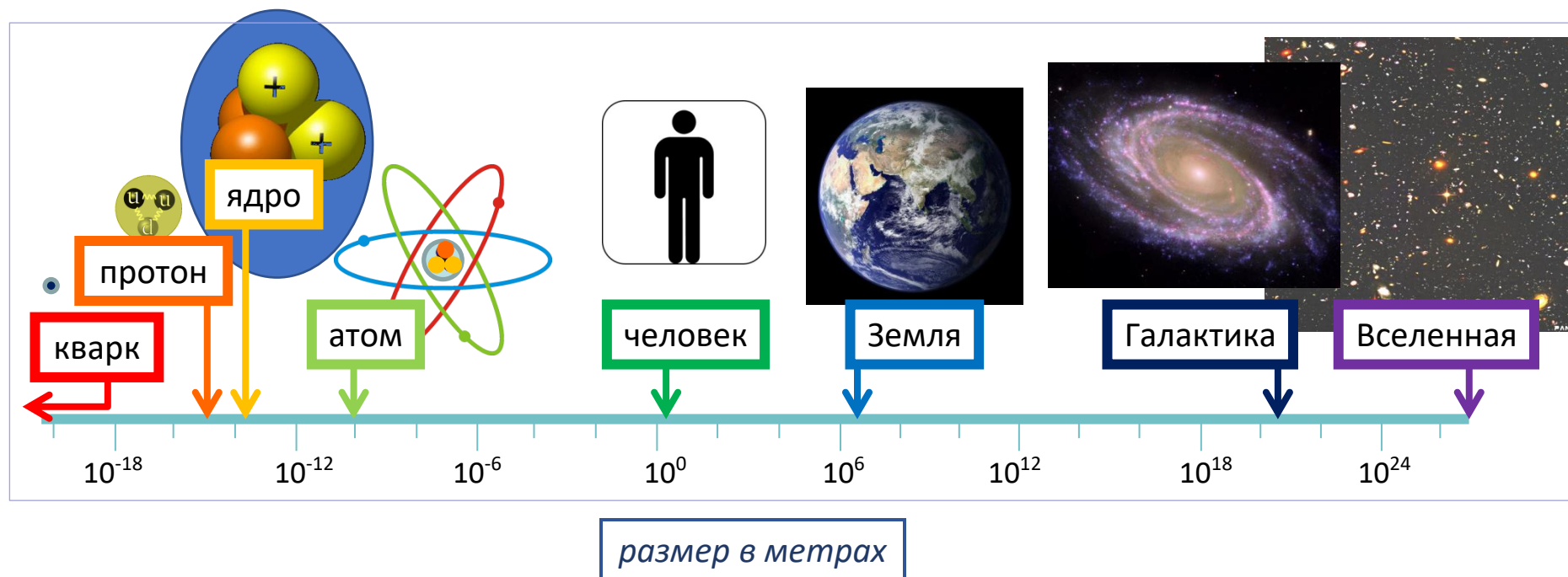
От составного к элементарному: немного более хитрый метод



От составного к элементарному: составная структура атома



От составного к элементарному: ядро



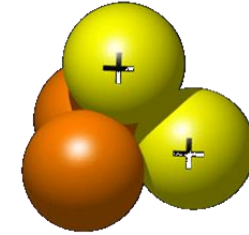
От составного к элементарному: ядро

размер: 10^{-15} – 10^{-14} м

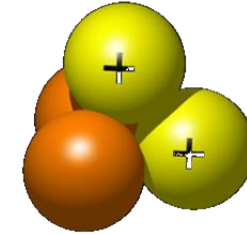
открытие: Резерфорд, 1909-1911

составная структура: радиоактивность,
начало 20 века

непосредственное наблюдение:
визуализация недоступна



От составного к элементарному: ядро

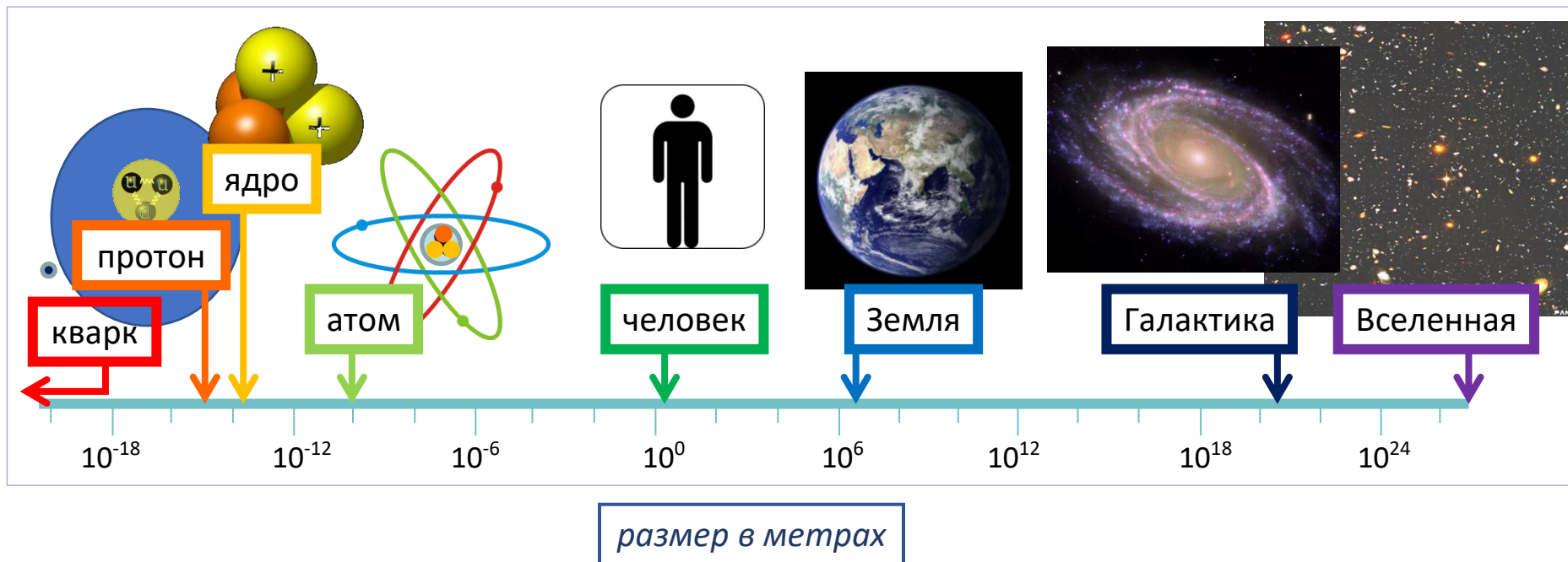


составные части: протоны (+), нейтроны (0)

предсказание нейтрона:
Амбарцумян, Иваненко 1930

открытие нейтрона:
Чэдвик, 1932

От составного к элементарному: протон



От составного к элементарному: протон

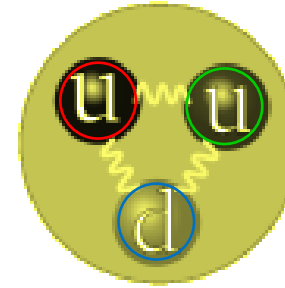
размер: 9×10^{-16} м

открытие: Резерфорд, 1919

*составная структура: 1968
(стабилен, нужна кувалда)*

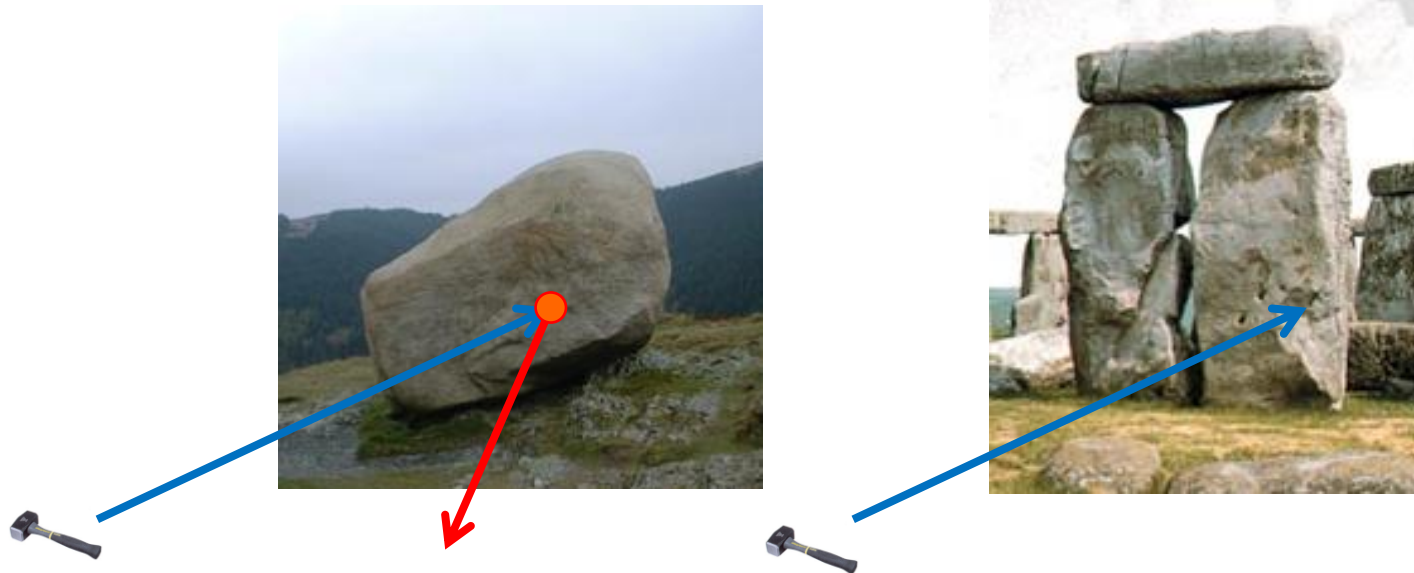
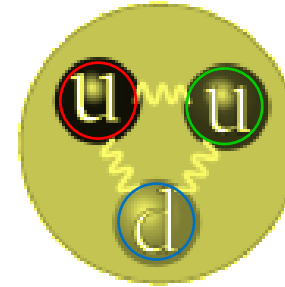


От составного к элементарному: структура протона



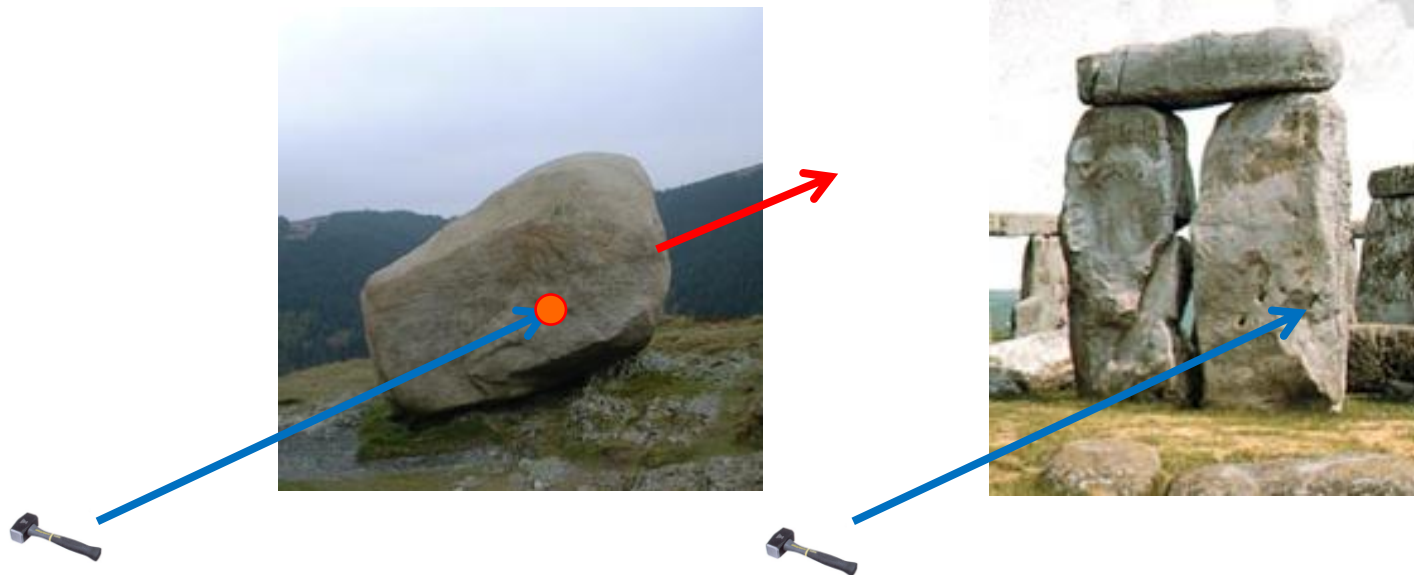
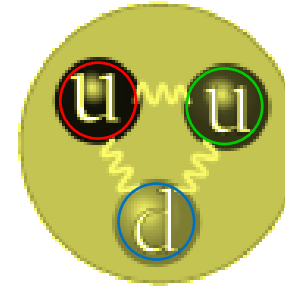
кувалда маленькая, энергия большая

От составного к элементарному: структура протона



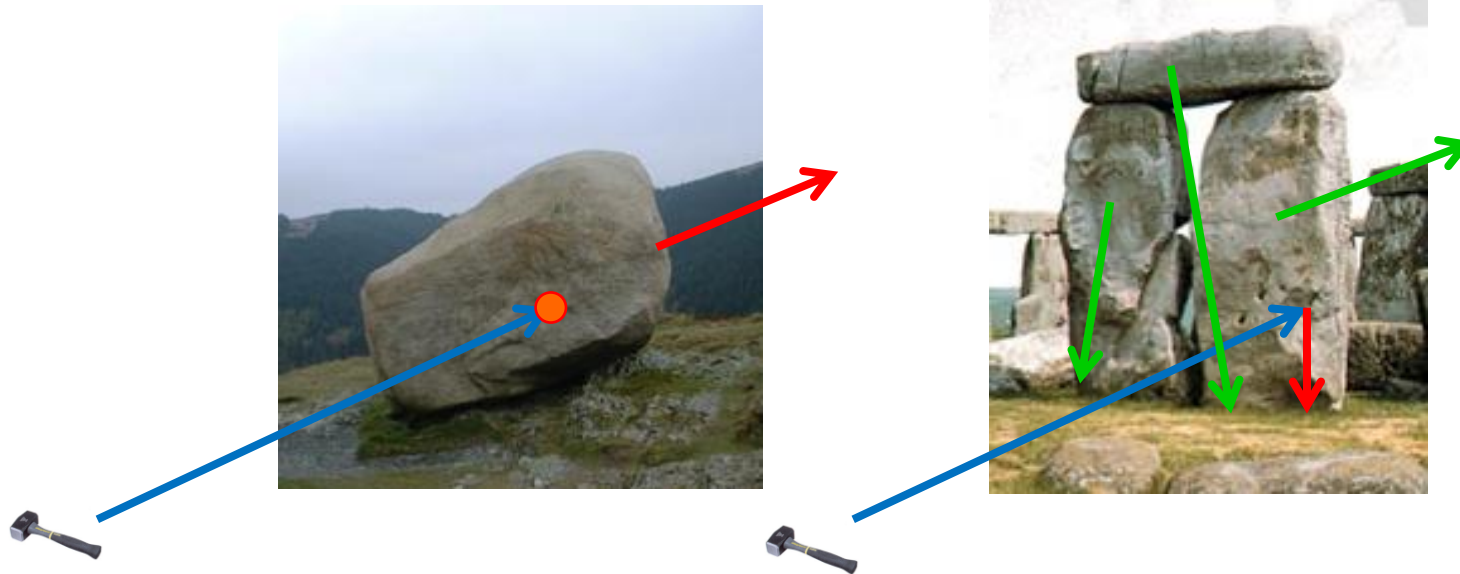
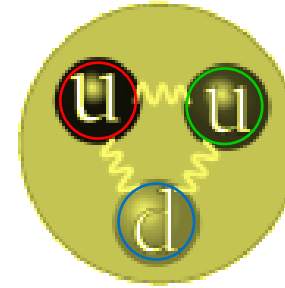
кувалда маленькая, энергия большая

От составного к элементарному: структура протона



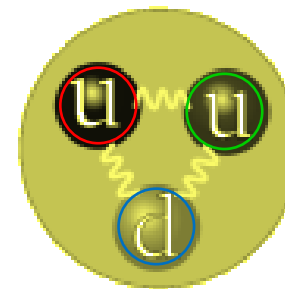
кувалда маленькая, энергия большая

От составного к элементарному: структура протона



кувалда маленькая, энергия большая

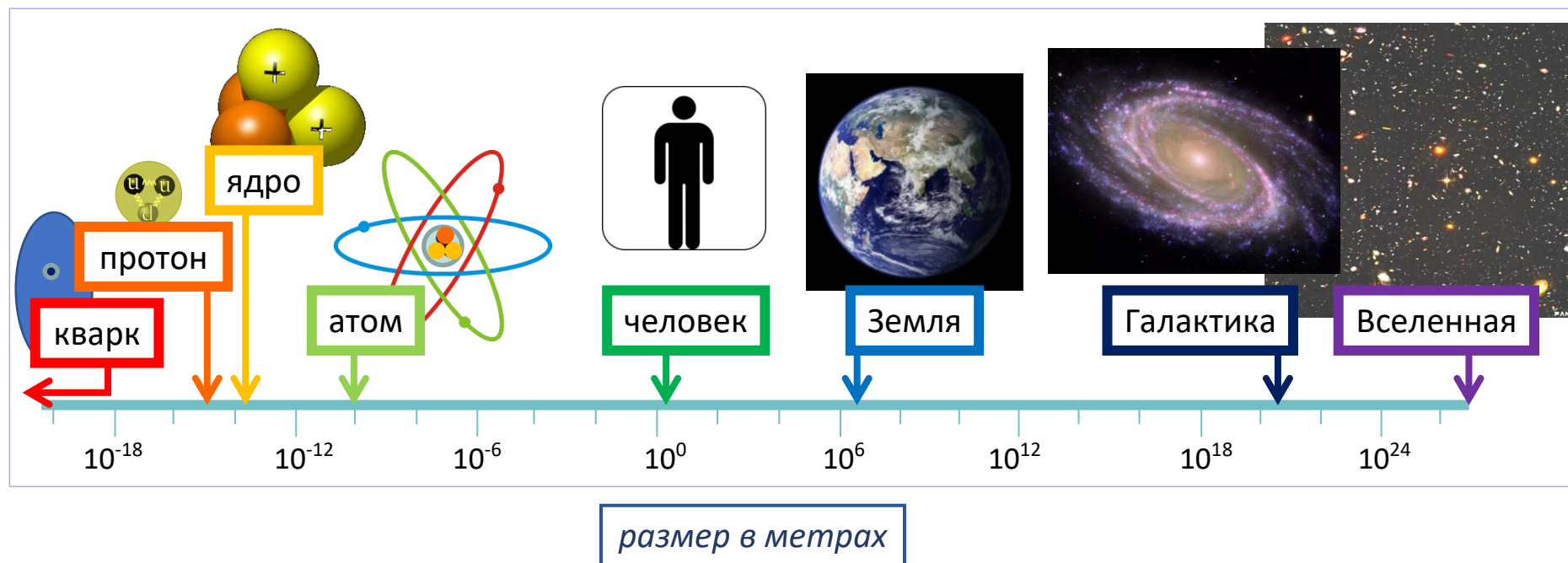
От составного к элементарному: структура протона



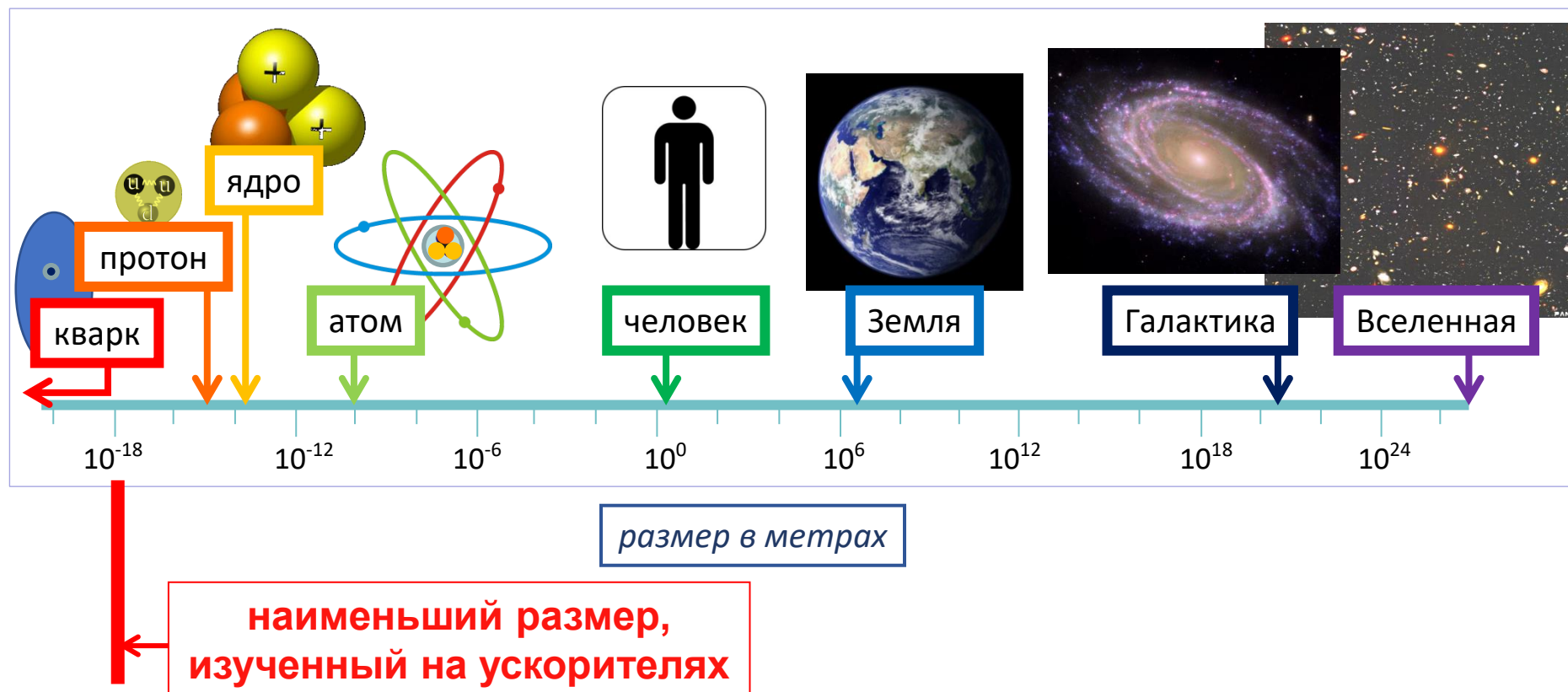
SLAC
(Стэнфорд, США)
~2 км

глубоконеупругое рассеяние электронов на протонах
1968

От составного к элементарному: неделимые (?) кварки



От составного к элементарному: неделимые (?) кварки



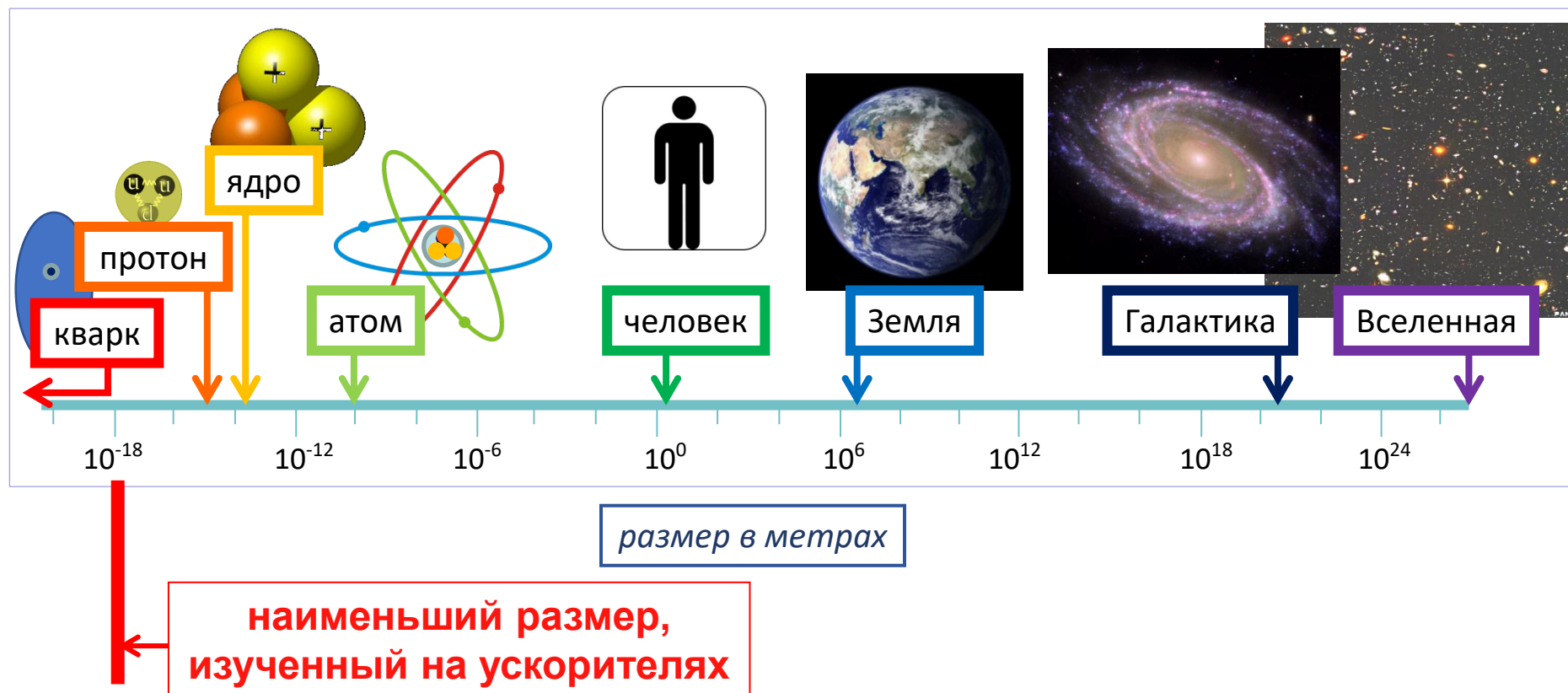
От составного к элементарному: неделимые (?) кварки



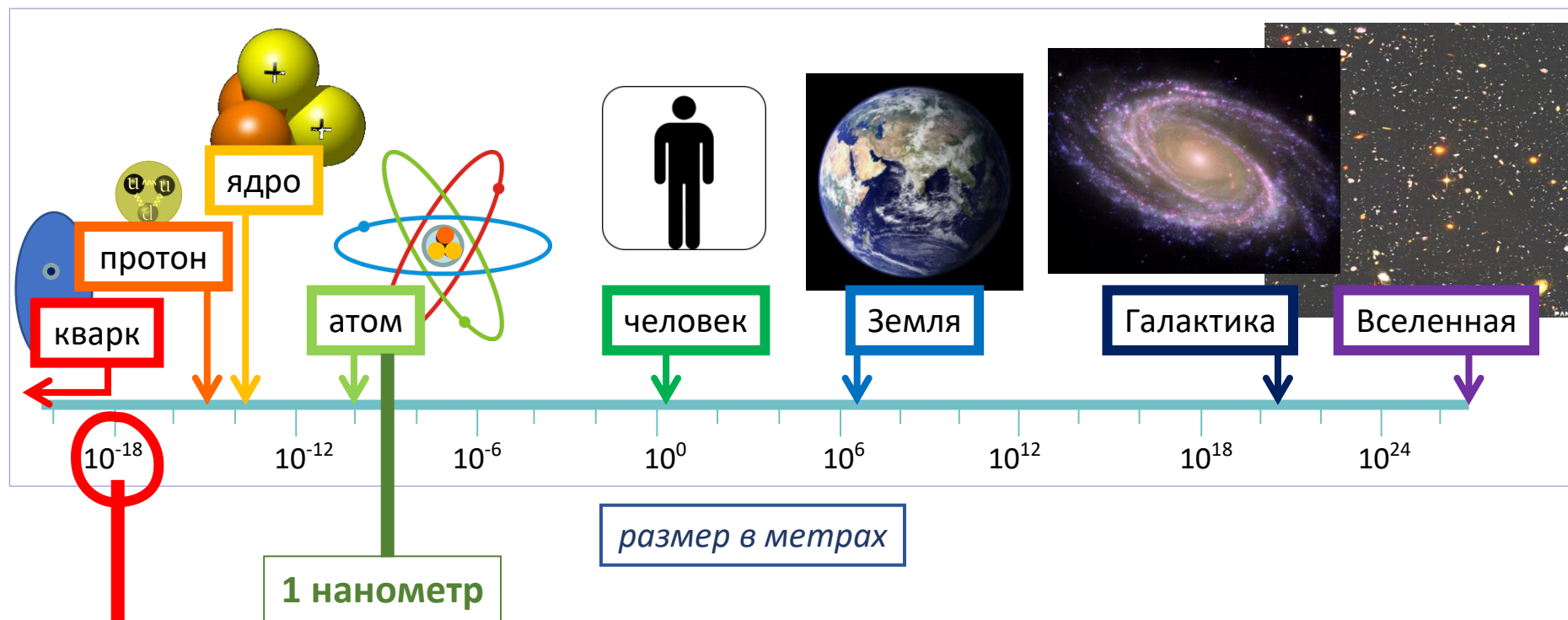
LHC, CERN
(Женева, Швейцария/Франция)
~30 км

вплоть до размеров порядка 10^{-18} м
признаков составной структуры кварков не обнаружено
2018

От составного к элементарному:



От составного к элементарному: нанонанофизика против нанопизики



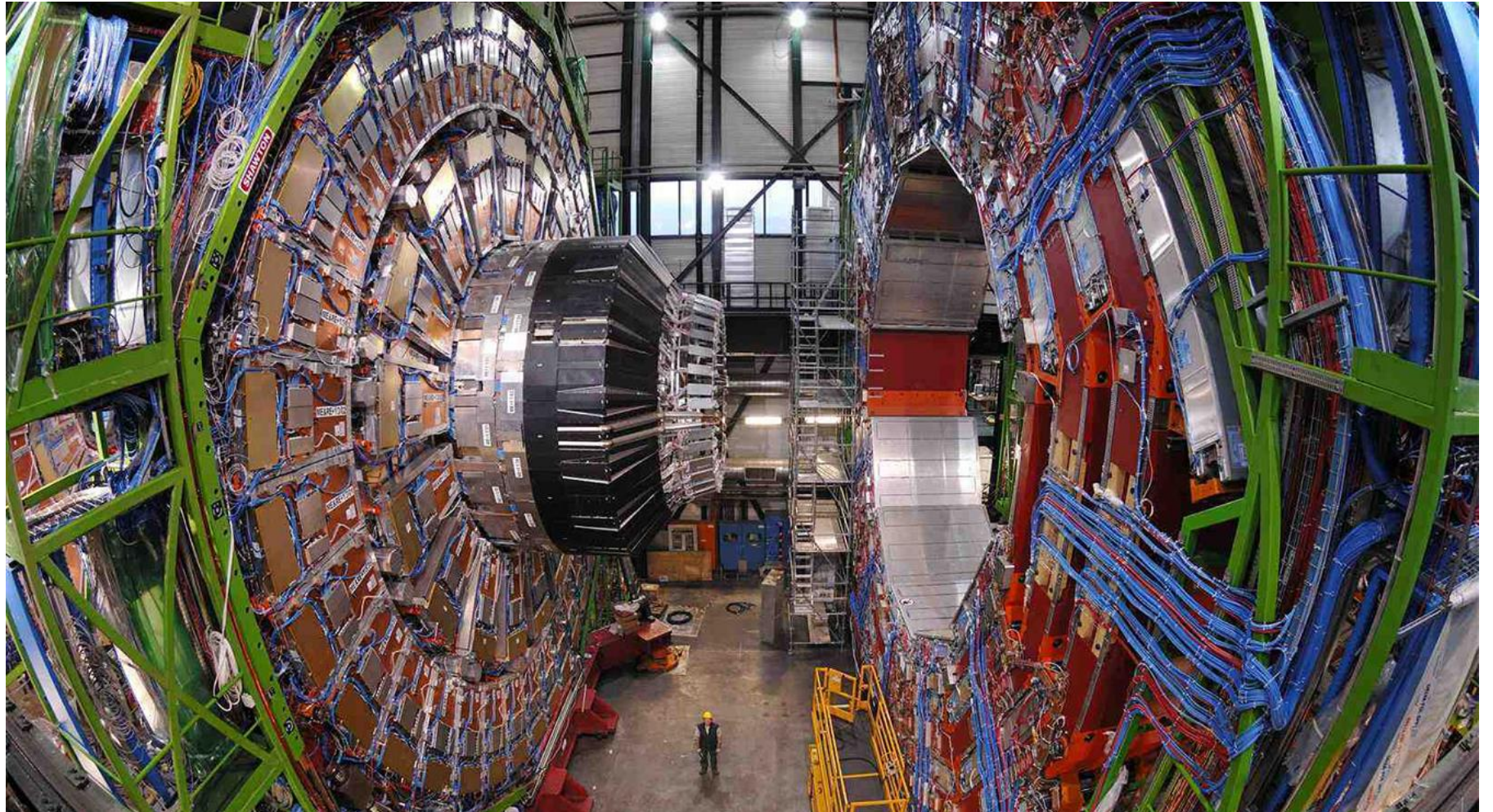
**наименьший размер,
изученный на ускорителях**

Что с нанонанотехнологиями?

➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– технологических

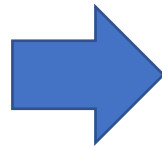
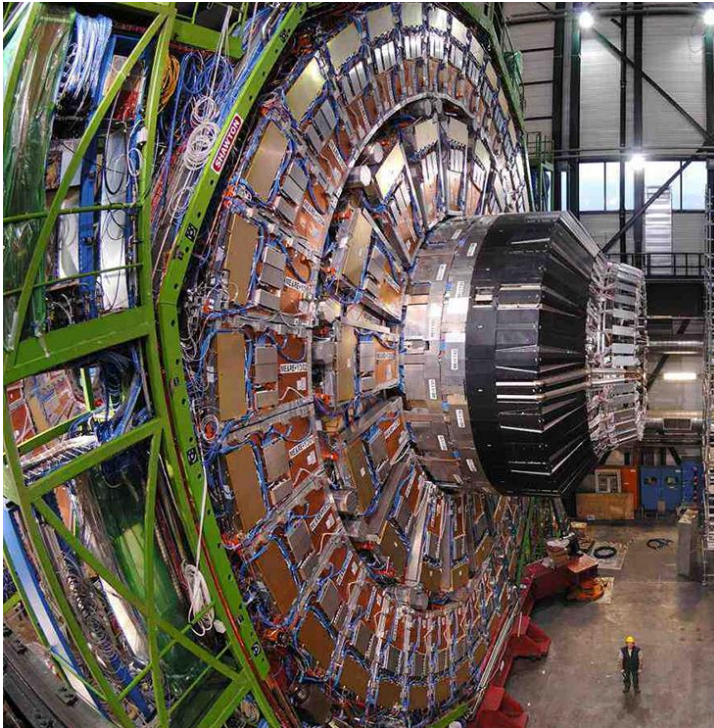
детектор CMS
Большого
адронного
коллайдера



Что с нанонанотехнологиями?

➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– технологических



Что с нанонанотехнологиями?

➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– технологических *(раздвигая пределы сперва для науки, затем для повседневной жизни) – томографы, WWW,...*

<http://info.cern.ch/>

The World Wide Web project

WORLD WIDE WEB

The WorldWideWeb (W3) is a wide-area hypermedia[1] information retrieval initiative aiming to give universal access to a large universe of documents.

Everything there is online about W3 is linked directly or indirectly to this document, including an executive summary[2] of the project, Mailing lists[3], Policy[4], November's W3 news[5], Frequently Asked Questions[6].

What's out there?[7]Pointers to the world's online information, subjects[8], W3 servers[9], etc.

Help[10] on the browser you are using

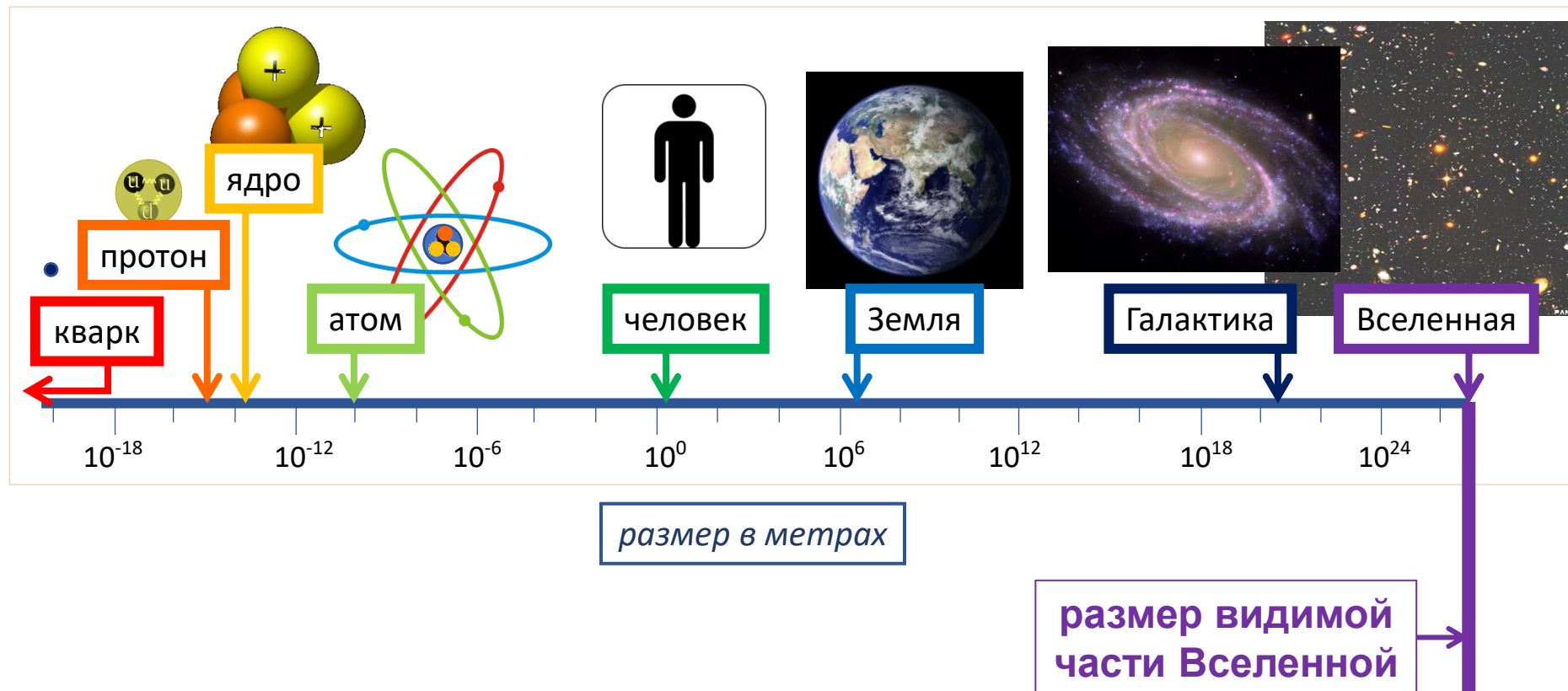
Software Products[11] A list of W3 project components and their current state. (e.g. Line Mode[12], X11 Viola[13], NeXTStep[14], Servers[15], Tools[16], Mail robot[17], Library[18])

Technical[19] Details of protocols, formats, program internals etc

<ref.number>, Back, <RETURN> for more, or Help: █



От составного к элементарному: масштабы, исследованные человеком



При чем здесь Вселенная?

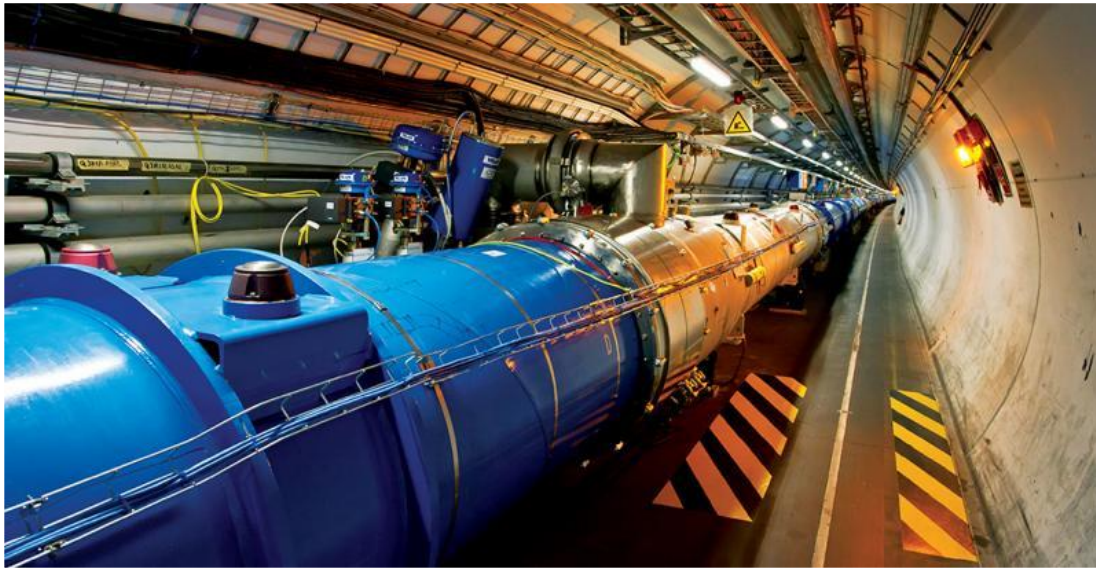
➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– потенциальных

При чем здесь Вселенная?

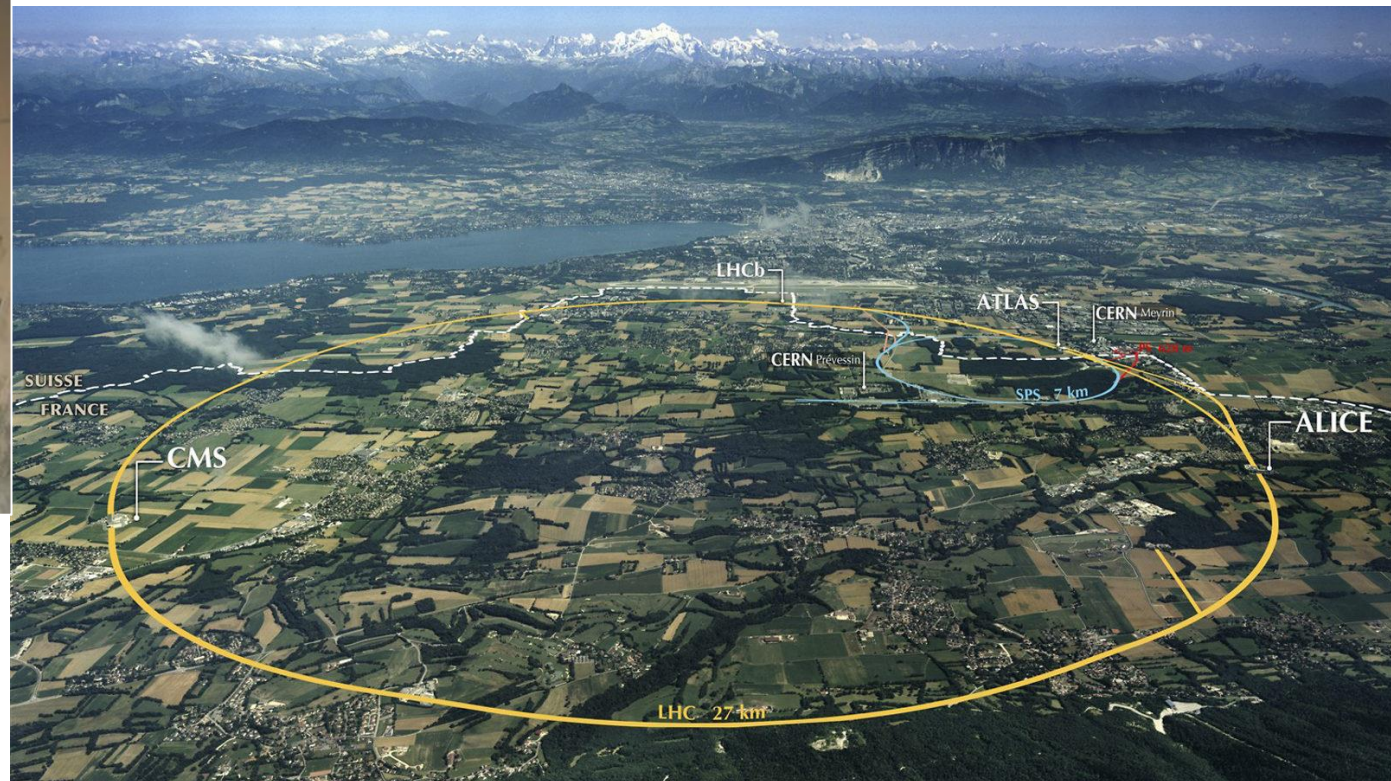
➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– потенциальных



кольцо Большого
адронного коллайдера

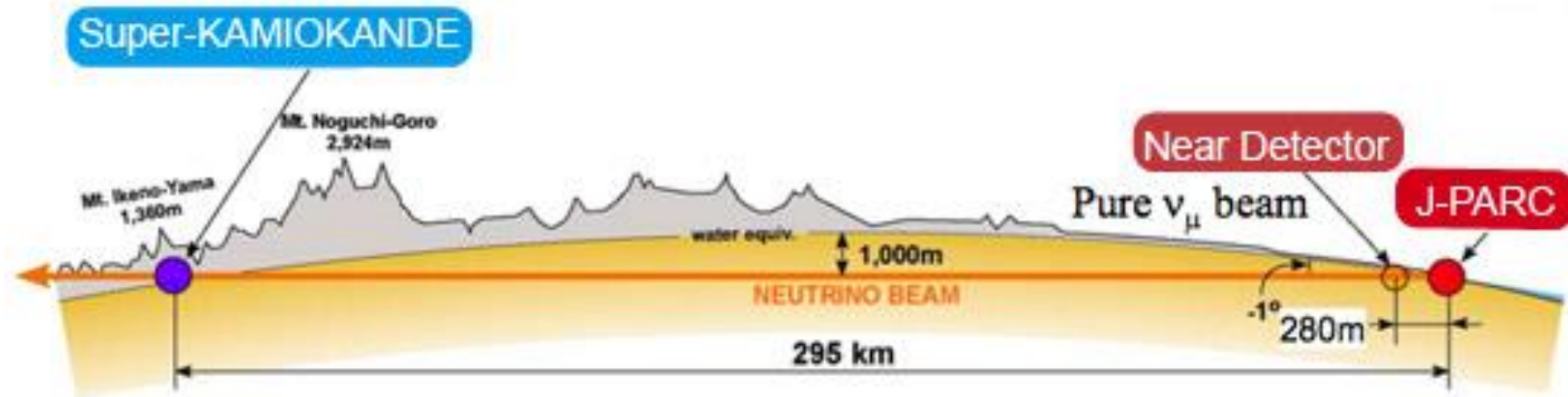
27 км



При чем здесь Вселенная?

➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– потенциальных



нейтринный пучок эксперимента T2K, Япония

295 км

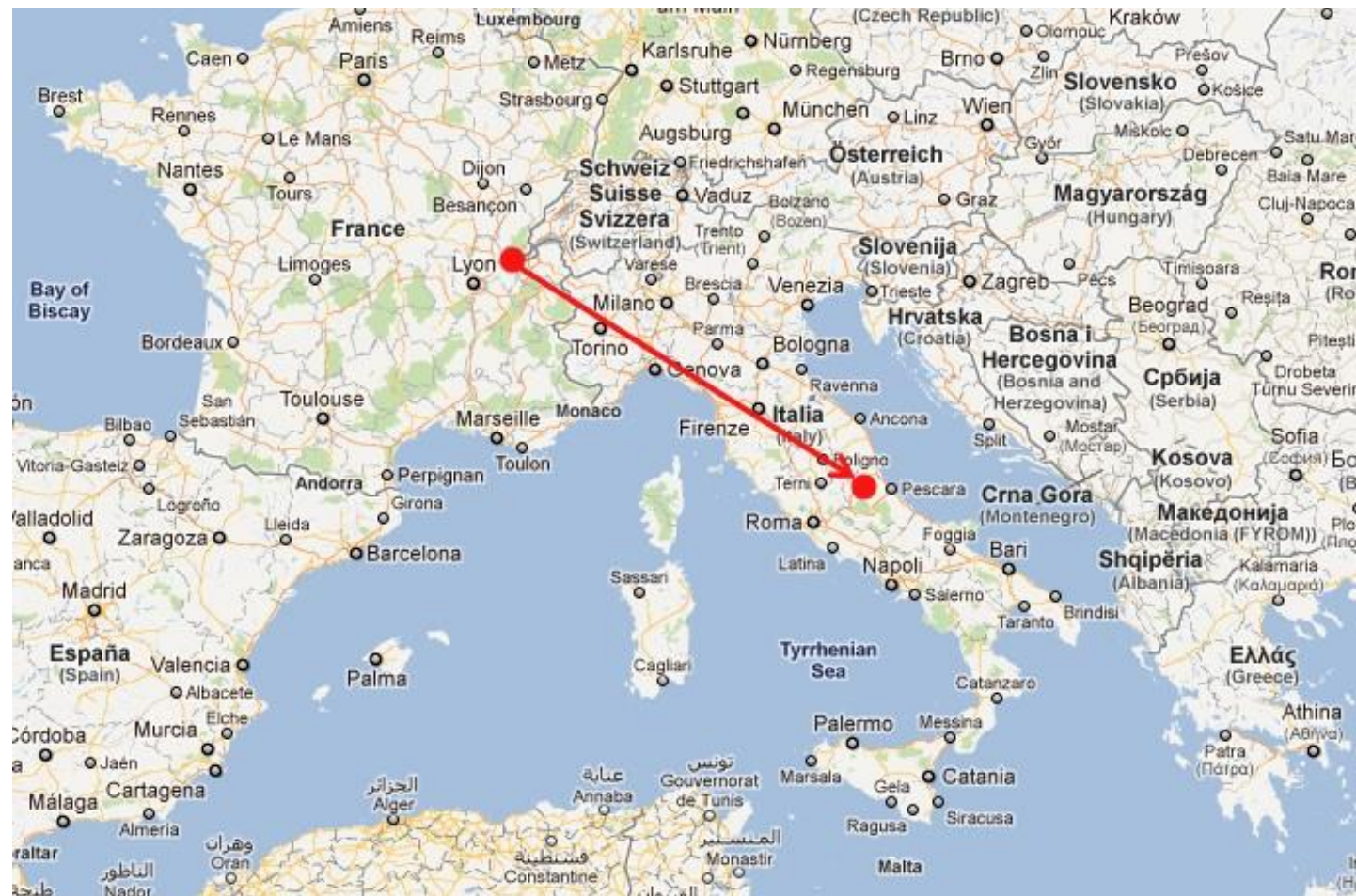
При чем здесь Вселенная?

➤ фундаментальная физика = исследования на пределе возможностей человечества

– потенциальных

нейтринный пучок ЦЕРН – Гран Сассо

732 км



При чем здесь Вселенная?

➤ фундаментальная физика = исследования **за пределами** возможностей человечества

– потенциальных

АСТРОФИЗИКА ЧАСТИЦ:

Вселенная как
лаборатория для изучения
фундаментальной физики

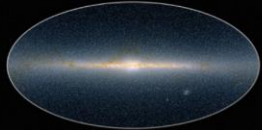


При чем здесь Вселенная?

Вселенная ранняя и поздняя

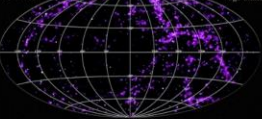
- ранняя Вселенная была плотная и горячая, ее устройство и эволюция определялись законами мира элементарных частиц
- теперь всё не так, но всё, что мы видим во Вселенной, было определено той горячей фазой
- астрономия научилась находить «отпечатки» ранней Вселенной, а космология – наука о строении и эволюции Вселенной в целом – объяснять их и делать выводы для физики частиц

Milky Way & Magellanic Clouds (2MASS FSC)

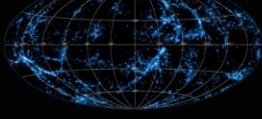


Local Universe

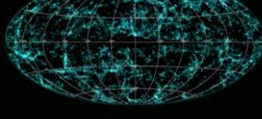
Local Supercluster
 $z < 0.01$



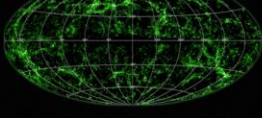
Fornax-Pisces
"Local Attractor"
 $0.01 < z < 0.02$



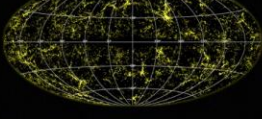
Coma Cluster
"Local Blob"
 $0.02 < z < 0.03$



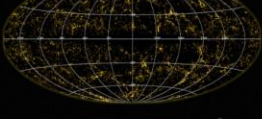
Virgo Supercluster
 $0.03 < z < 0.04$



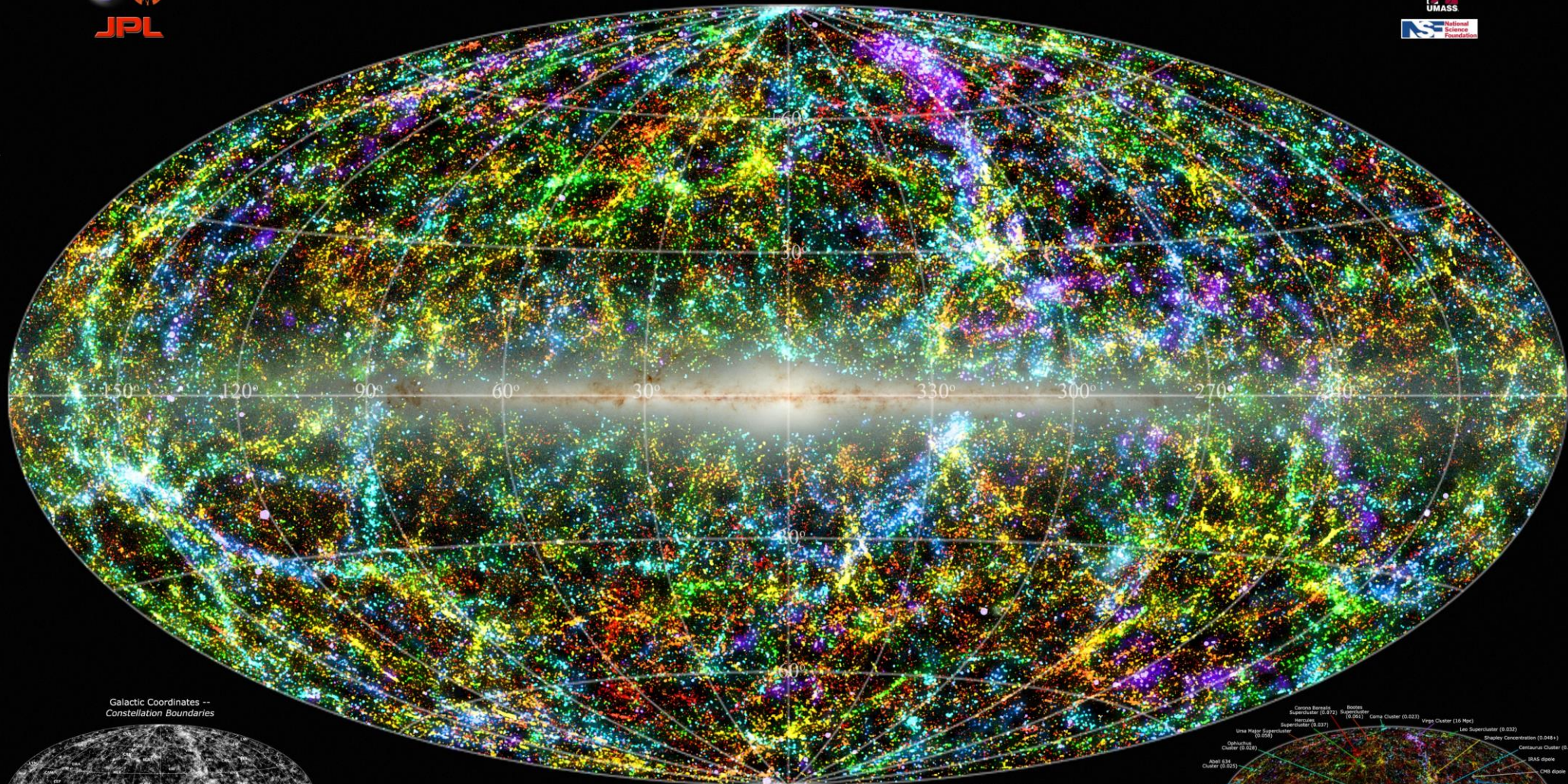
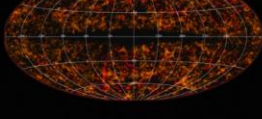
Shapley Concentration
 $0.04 < z < 0.05$



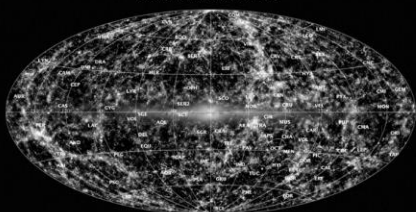
Scutum Supercluster
 $0.05 < z < 0.06$



Bootes
"Magellanic Corridor"
 $z > 0.06$



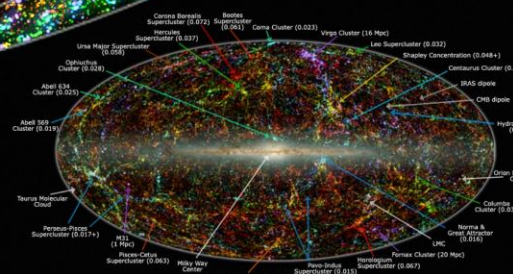
Galactic Coordinates --
Constellation Boundaries



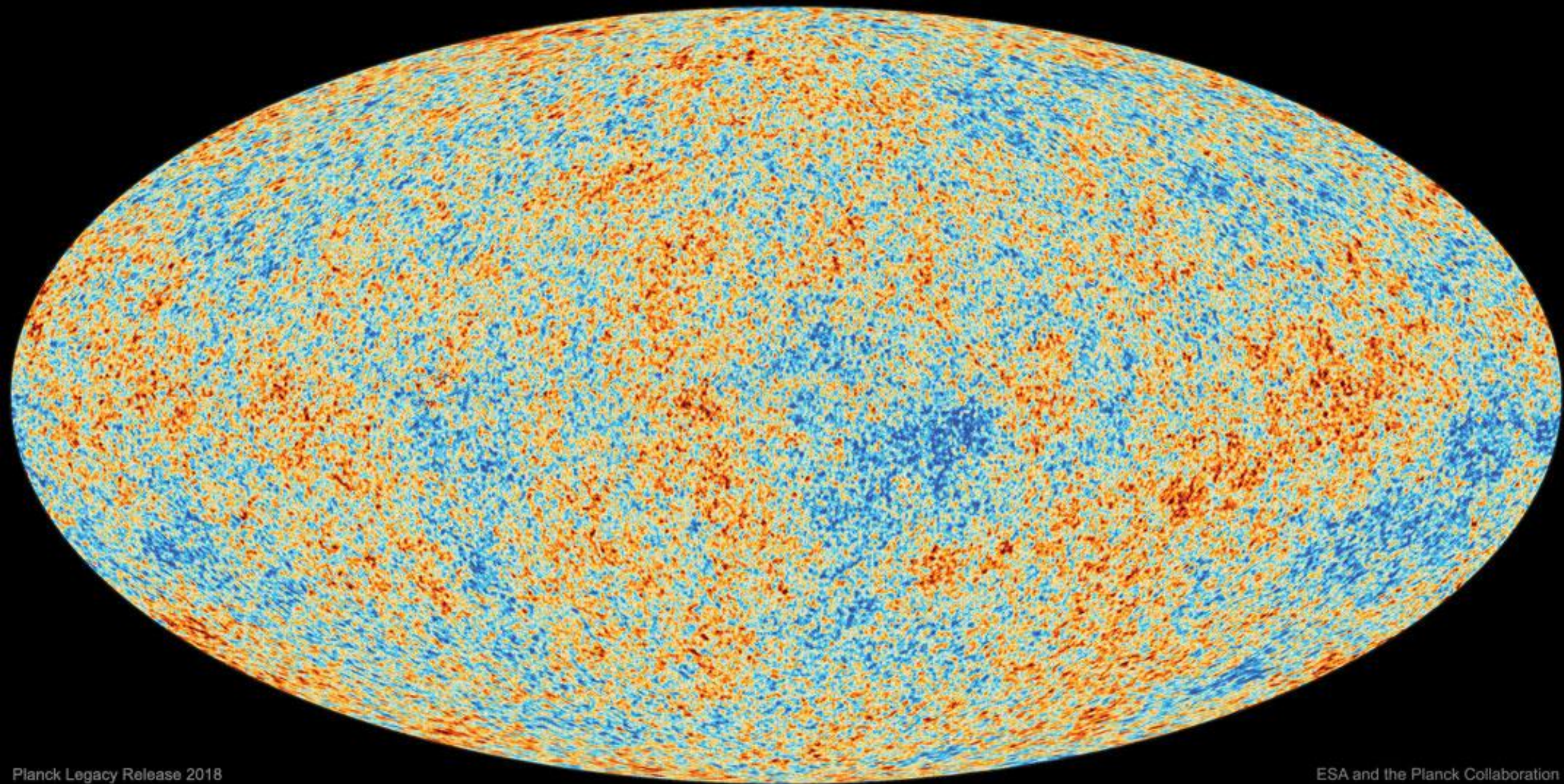
Panorama of the Local Universe
constructed from the 2MASS Galaxy Catalog (XSCz),
roughly ~1.5 million galaxies. Each galaxy is color-
coded by its location (or redshift) from the Sun.
blue sources are nearby, green sources are
moderately distant, and red sources
are the most distant.



Redshifts are provided by: 6dF Galaxy Redshift Survey,
Two Micron Redshift Survey, 2dF Redshift Survey,
Sloan Digital Sky Survey, CfA Redshift Survey,
RC3 and the NASA Extragalactic Database



The map is equal-area projected with the Milky Way at the center. Image created by T.H. Jarrett (IPAC/Caltech)



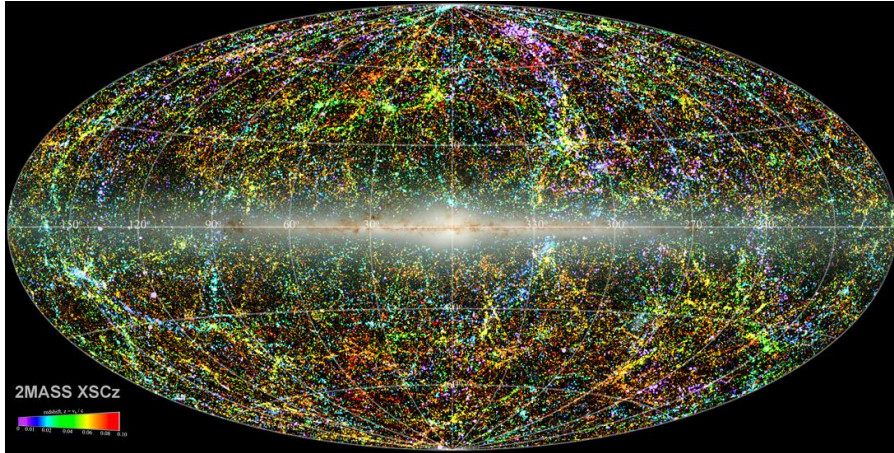
При чем здесь Вселенная?

устройство галактик, скоплений галактик и темная материя

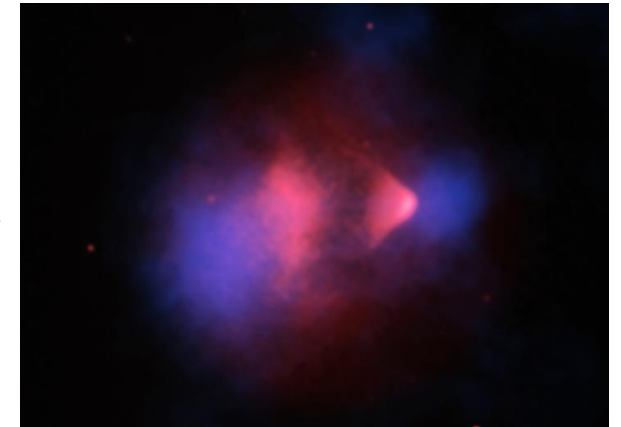
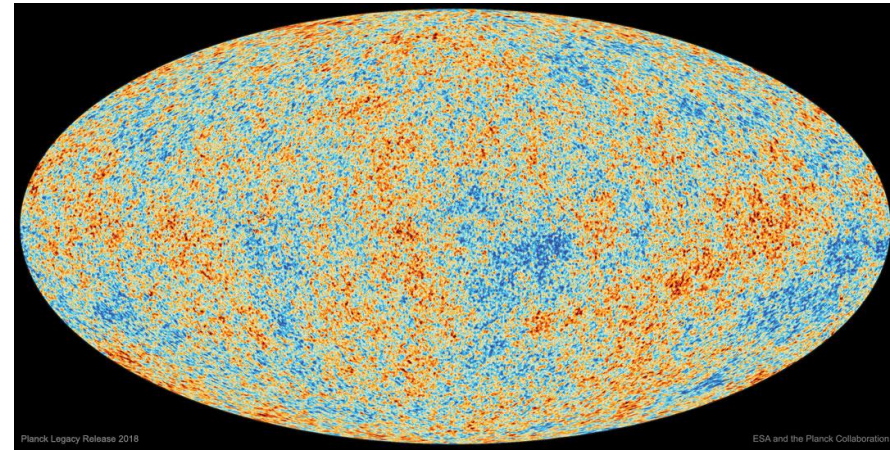


сталкивающиеся скопления галактик

При чем здесь Вселенная? космология – точная наука!



...



детальное
количественное
описание
ранней
Вселенной

законы физики частиц, его определившие

Основные разделы курса:

- понятия и принципы квантовой физики;
- квантовые физические системы в макро- и микромире;
- квантовая логика, квантовые вычисления, квантовая телепортация;
- релятивистские квантовые поля как универсальная форма существования материи;
- элементарные частицы и типы их взаимодействий;
- свойства современной Вселенной;
- асимметрия между веществом и антивеществом во Вселенной;
- тёмная материя и тёмная энергия;
- основные этапы космологической эволюции;
- инфляционная космология;
- астрофизика высоких и сверхвысоких энергий