

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



Preliminary parts of Advanced Statistical Mechanics I

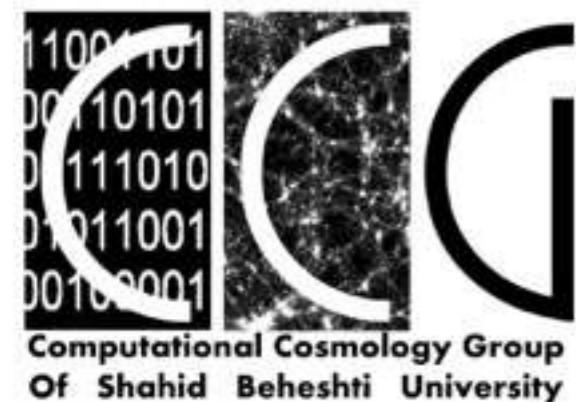
مقدمات درس مکانیک آماری پیشرفته ۱

سید محمد صادق موحد

دانشکده فیزیک دانشگاه شهید بهشتی

گروه کیهانشناسی محاسباتی و آزمایشگاه میان رشته ای ابن سینا

سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴



Course website

SHAHID BEHESHTI UNIVERSITY
Department of Physics


Department of Physics
Shahid Beheshti University

MAIN MENU

- Home
- Awards
- About Me
- Contact me
- Research Interests
- Publications
- **Students**
- **Courses**
- Talks, Presentations & Notes
- Useful Stuff
- Group Meetings
- My CV
- Collaborations
- Other Activities
- Photo
- Login
- ... (Persian)

Seyed Mohammad Sadegh Movahed Academic Homepage

News

 My program in the Fall-Winter semester (1403-1404 (2024-2025)) ([Download](#))

The CCG-SBU website including the group activities <http://ccg.sbu.ac.ir/>

My weekly meeting will be found in <http://ccg.sbu.ac.ir/weekly-meetings/>

General Information regarding scientific projects in my group (نظام موضوعات پژوهشی در گروه علمی من) ([Download](#))

Current topics in my group (Complex systems part & Cosmology part)


Some proposed Books for the relation between Physics and Philosophy.

Ibn-Sina Lab (COMPLEX SYSTEMS LAB) needs your helps and your scientific contributions (see also Extra news 24): There are some Undergraduate and graduate projects to do, Those who are interested in collaborating on this project call me and send CV for further investigation.


For more: ([Home](#))

For those:

About Me



Tomb of Cyrus the great (Pasargadae, IRAN)



<http://facultymembers.sbu.ac.ir/movahed/>

Course website


SHAHID BEHESHTI UNIVERSITY
Department of Physics

Department of Physics
Shahid Beheshti University

MAIN MENU

- Home
- Awards
- About Me
- Contact me
- Research Interests
- Publications
- Students
- **Courses**
- Talks, Presentations & Notes
- Useful Stuff
- Group Meetings
- My CV
- Collaborations
- Other Activities
- Photo
- Login


Article successfully saved.


 **Advanced Statistical Mechanics (Winter 2025)**

Friday, 07 February 2025 00:00

Advanced course on statistical Mechanics I (Winter 2025)

This course is devoted to advanced topics in statistical mechanics.


 [Link for class ***](#)

 [Link for my previous lectures on Statistical Mechanics 2 \(Khajeh Nasir Digital Library, SBU VPN needed\)](#)


Some topics to teach are as follows:

- **Thermodynamic Limit**
- **Thermodynamical equilibrium**
- **Observable quantities**
- **Statistical ensembles**
- **Classical statistical mechanics**
- **Maxwell Boltzmann distribution**

About Me



Tomb of Cyrus the great (Pasargadae, IRAN)



<http://facultymembers.sbu.ac.ir/movahed/>

Course program and Timetable

<http://facultymembers.sbu.ac.ir/movahed/>

Part 1: Scientific Methodology

روش شناسی علمی

جلد یک مجله علمی در دوران طلایی اسلام



بحار الانوار، ج ۱، ص ۱۸.

بحار الانوار، ج ۱، ص ۱۷۷

بحار الانوار، ج ۱، ص ۹۷.

نهج الفصاحة، ج ۲، ص ۶۶۵.

Example 3:

Inspired by a cover of Scientific Journal published during Islamic Golden age (~8th- ~14th a.c.)

Hadiths by Holy Prophet Muhammad (peace be upon him)

Learning science even from long distant place such as China (geographical distance does not matter)

بحار الانوار، ج ١، ص ١٨.

The women and men should try to learning the science (Gender does not matter)

بحار الانوار، ج ١، ص ١٧٧

Ideology must not restrict our from learning (Collaboration)

بحار الانوار، ج ١، ص ٩٧.

Learning science from childhood to old age (age doesn't matter)

نهج الفصاحة، ج ٢، ص ٦٦٥.



Islamic Golden Age (~8th- ~14th a.c.): A strategy



What I've done is obligatory upon every human and mankind that
apply to own desired art and techniques.

i.e. we should gratefully accept, all efforts of our predecessors to
improve the technologies that have suffered.

And if we find mistakes from the past efforts try to correct them
confidently ...

Finally what you found during your researches should be recorded in
order to be kept for posterity forever.

Never confine ourselves to what explained before us, and try to
complete them as much as we can

استراتژی علمی در دوران طلایی اسلام

(~8th- ~14th a.c.)

آنچه که من انجام داده ام چیزی است که بر هر انسانی واجب است آن را در فن خود عمل کند. یعنی کوششهایی را که پیشینیان وی برای پیشرفت آن فن متحمل شده اند را با سپاسگزاری بپذیرد و اگر متوجه لغزشها و اشتباهاتی از گذشتگان شود آنها را بی پروا تصحیح کند ... و آنچه را در آن صناعت بر او آشکار می شود ثبت و ضبط کند تا برای آیندگان جاودان بماند.

ابداً خویشتن را محدود به آنچه قدمای ما به آن پرداختند نکنیم و سعی نماییم آنچه را که می توان تکمیل کرد تکمیل کنیم

از مقدمه تحدید نهایات الاماکن

ابوریحان بیرونی

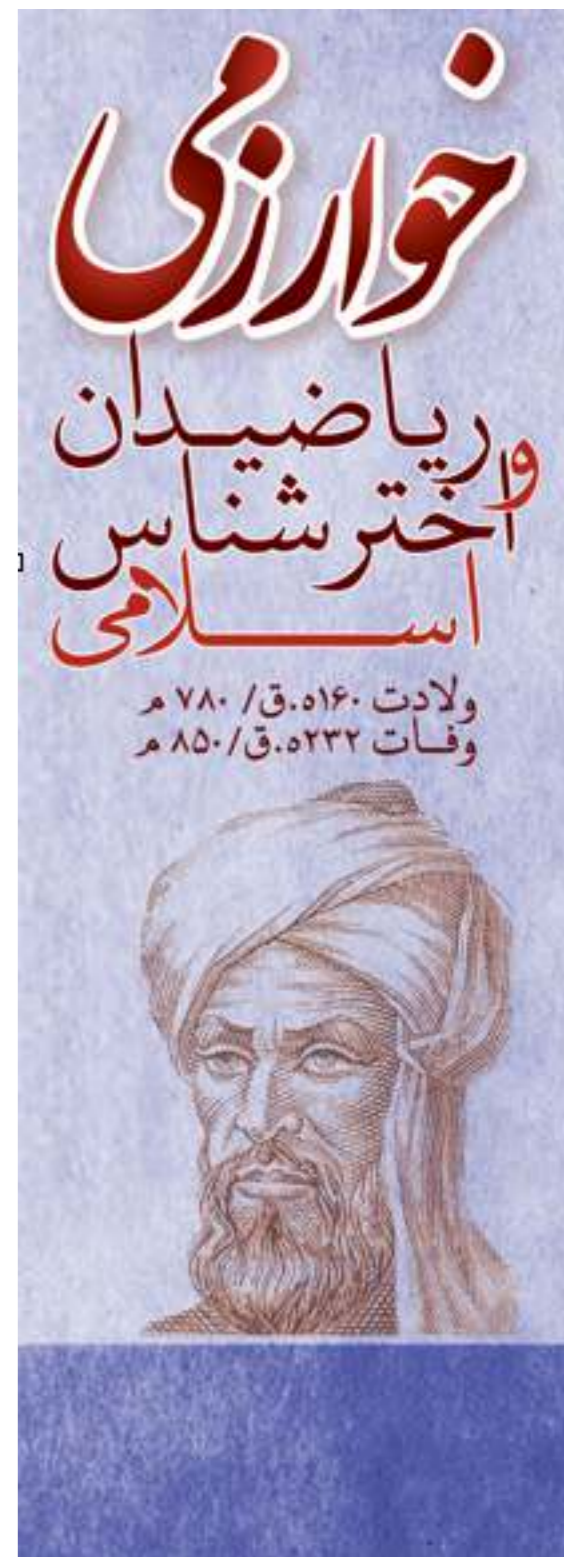
۱۳ شهریور ۳۵۲ خورشیدی

۹۵۶ میلادی

استراتژی علمی در دوران طلایی اسلام

مردم دانشور کسانی هستند که اشکالات و آشفتگی های آثار پیشینیان خود را در می یابند. پس این اشکالات را برطرف می کنند و آشفتگی ها را سامان می بخشند. آنان با خوش بینی به کار پدیدآورندگان این آثار می نگرند و بر آنان خرده نمی گیرند و از اینکه متوجه اشتباه دیگران شده اند بر خویش نمی بالند.

از مقدمه کتاب الجبر و المقابله



Islamic Golden Age (~8th- ~14th a.c.): A strategy

Intellectual people who find bugs and problems in the works of their predecessors. Therefore, they try to modify mentioned problems and inconsistencies as much as they can. They look with hopefulness and optimism to works done by predecessors, and they don't make them disappointment and they never reproach and blame them. Since they could realize mistakes of former researches, they never be imperious due to this finding and success.

From the introduction part of
Algebra (al-jabr wal-muqābala) Book

Muḥammad ibn Mūsā al-Khwārizmī

780- 850 Working in Mathematics, Astronomy and natural Sciences



**It is not surprising that the
Muslims were Flagship
~8th- ~14th a.c.**

**It is not surprising that the
Muslims were Flagship
~8th- ~14th a.c.**

**why aren't they now
the flagship?**

**It is not surprising that the
Muslims were Flagship
~8th- ~14th a.c.**

**why aren't they now
the Flagship?**

Take home for you!

چند کلیدواژه

Some keywords

- علم (Science): کشف روابط میان پدیده ها در جهان طبیعت،
Exploring the relation between phenomena in Nature
مجموعه ای از یافته های منسجم و نظام یافته شامل مشاهده؛ بررسی
و طبقه بندی واقعیات ذهنی و عینی و ارتباطات بین پدیده ها که منجر به
شناخت و درک طبیعت می شود. (چیستی و چرایی) What and why
A set of systematic findings including observation;
examination and classification of subjective and objective
facts and the relationships between phenomena that lead to
.understanding of the Nature

چند کلیدواژه Some keywords

- دانش فنی (Technology): دارای ماهیتی علمی و با هدف بکارگیری مستقیم اصول و قوانین علمی به منظور دستیابی به ثروت و ارزش افزوده است. (چگونگی) How?
- It is scientific nature and aims to directly apply scientific principles and laws in order to achieve wealth and added value
- علم بزرگ (کلان) (Big Science)
- همگرایی علم و فناوری (Convergence of Science & Technology)

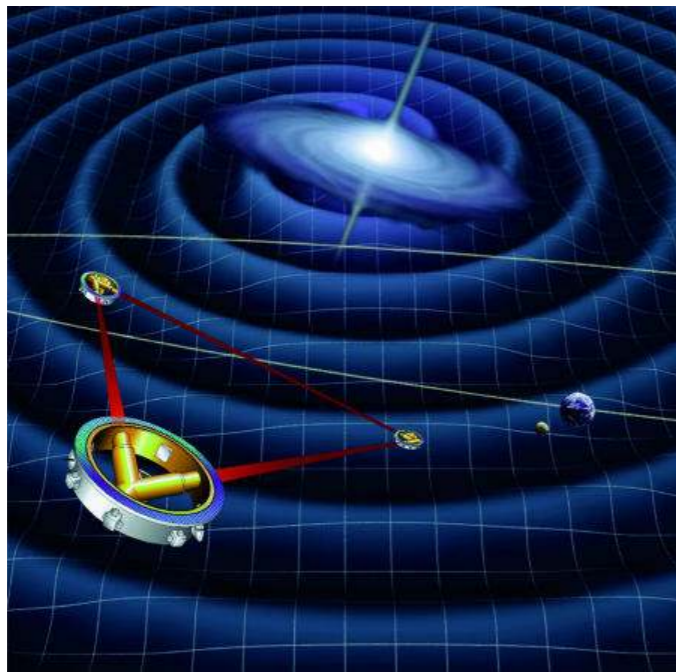
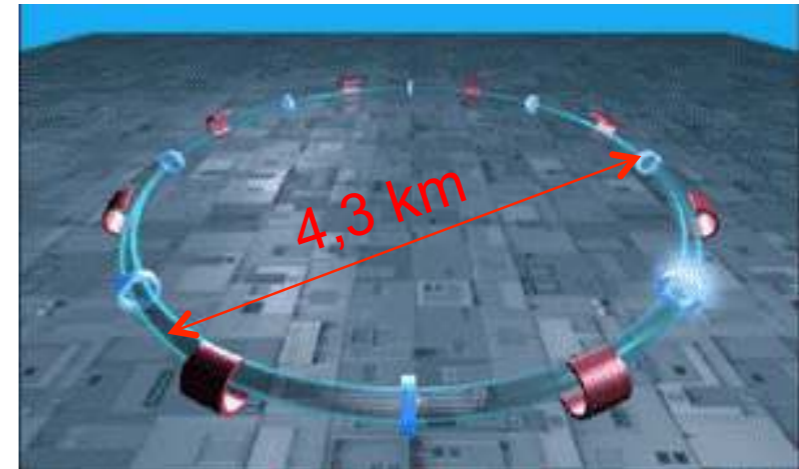
BIG Science

cost: $\sim \$10^{10}$

time: \sim decade

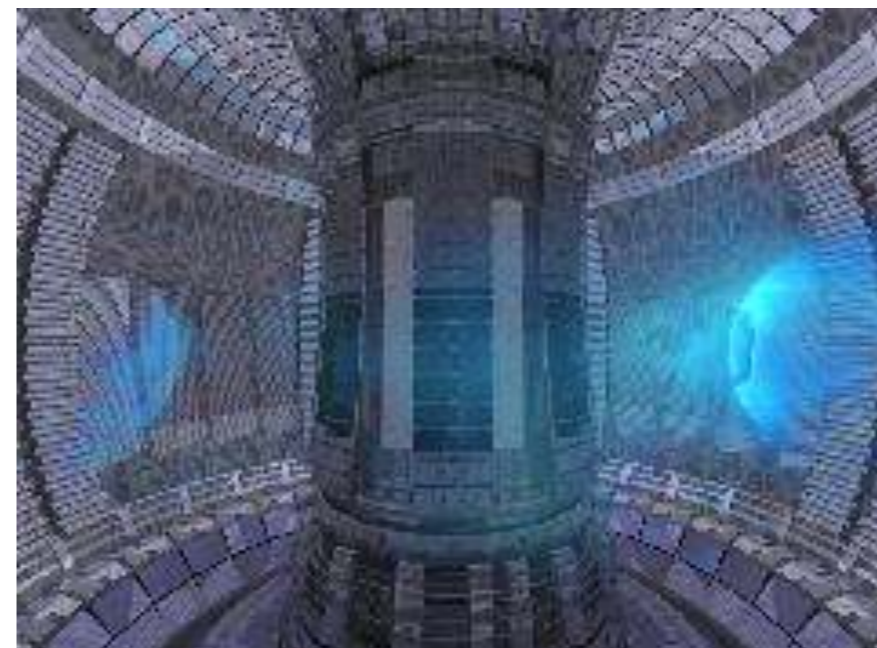
scientists: 1000s

LHC: Large Hadron Collider
to search for Higgs particle



LISA: 3 satellites
to detect gravity waves

ITER: international
tokamak (fusion power)



Hands-on table-top science

cost: ~\$1000

time: ~year(s)

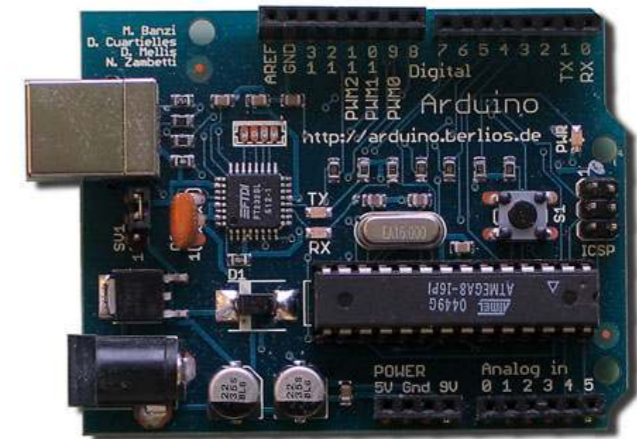
scientists: ~few

- ***Inexpensive instrumentation***

webcam
\$60



Arduino
\$30



- ***Inexpensive computation***



1 TB
\$100

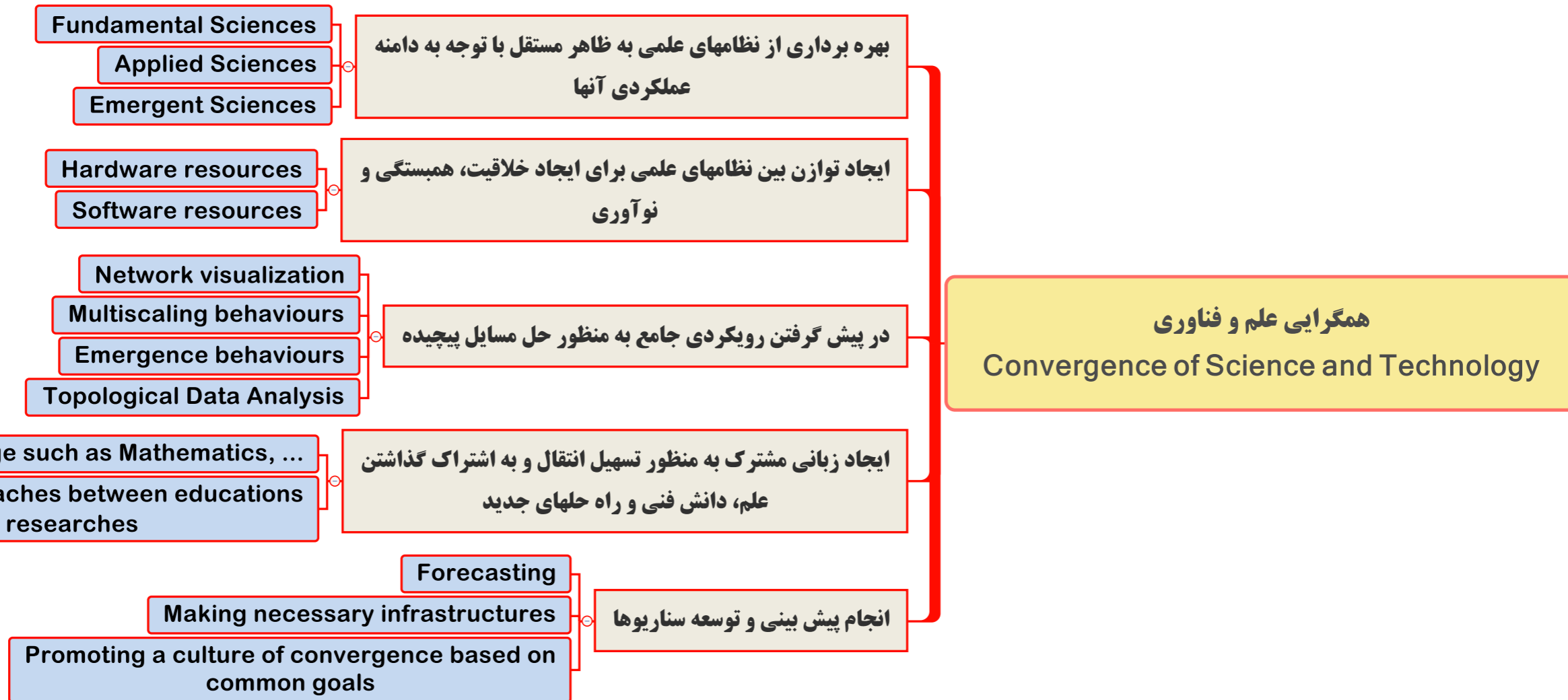


MATLAB®



همگرایی علم و فناوری

Convergence of Science and Technology



علم فیزیک

- علم شناخت و مطالعه کمی جهان طبیعت (نه جهان خلقت) با کمک زبان ریاضی (زبان علم و تجهیزات)

The science of knowing and quantitatively studying the natural world (not the created world) with the help of mathematical language (the language of science and equipment).

- به بیانی دیگر شناخت فرآیندها و سازوکارهای موجود در طبیعت

برخی از شاخصهای خروجی

برونداها (فرآیندی پویا و خلاق)

علم فیزیک

اثرات

دستاوردها

مطالعهٔ بزرگترین بازه مقیاس زمانی که تصور می شود

$$t \in (t_{\text{Planck}} - t_{\text{Universe}}) \text{ sec}$$

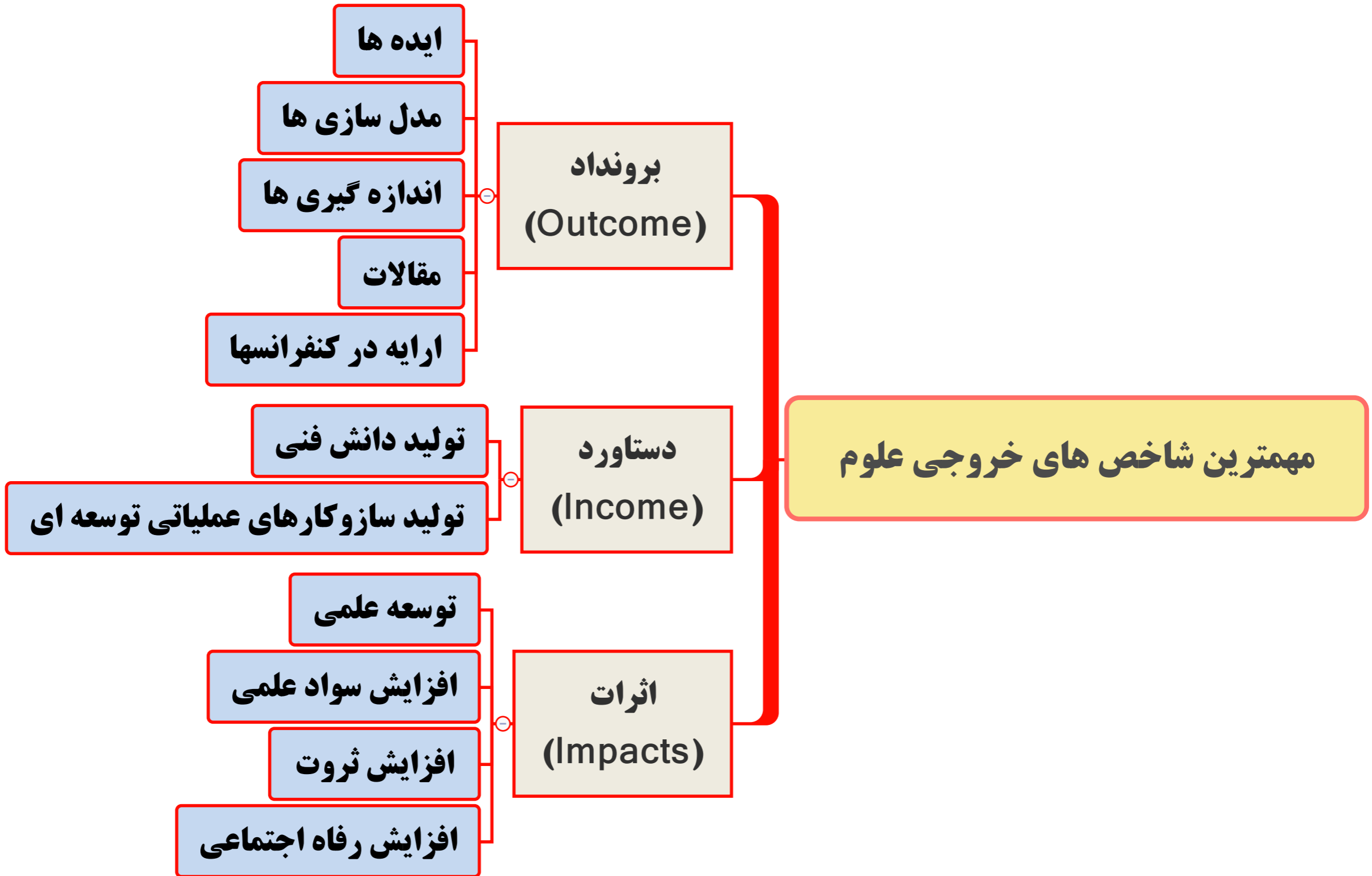
$$t \in (10^{-43} - 10^{17}) \sim \mathcal{O}(10^{60}) \text{ sec}$$

مطالعهٔ بزرگترین بازه مقیاس فضایی که تصور می شود

$$\ell \in (\ell_{\text{Planck}} - \ell_{\text{Universe}}) \text{ m}$$

$$\ell \in (10^{-35} - 10^{27}) \sim \mathcal{O}(10^{62}) \text{ m}$$

شاخص های خروجی



Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



Theoretical Models

Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



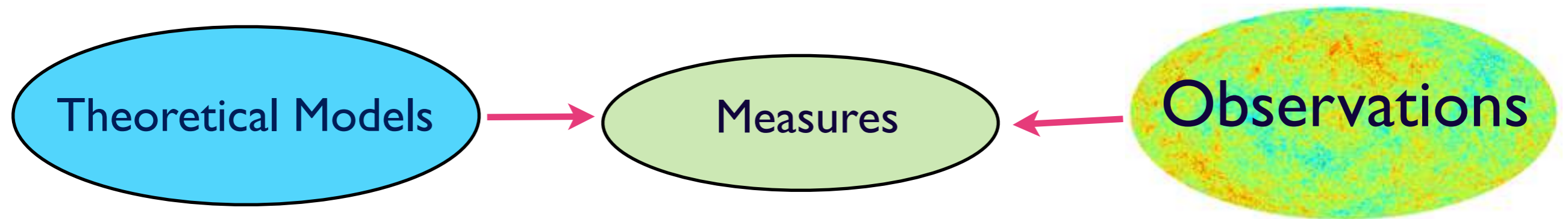
Theoretical Models



Observations

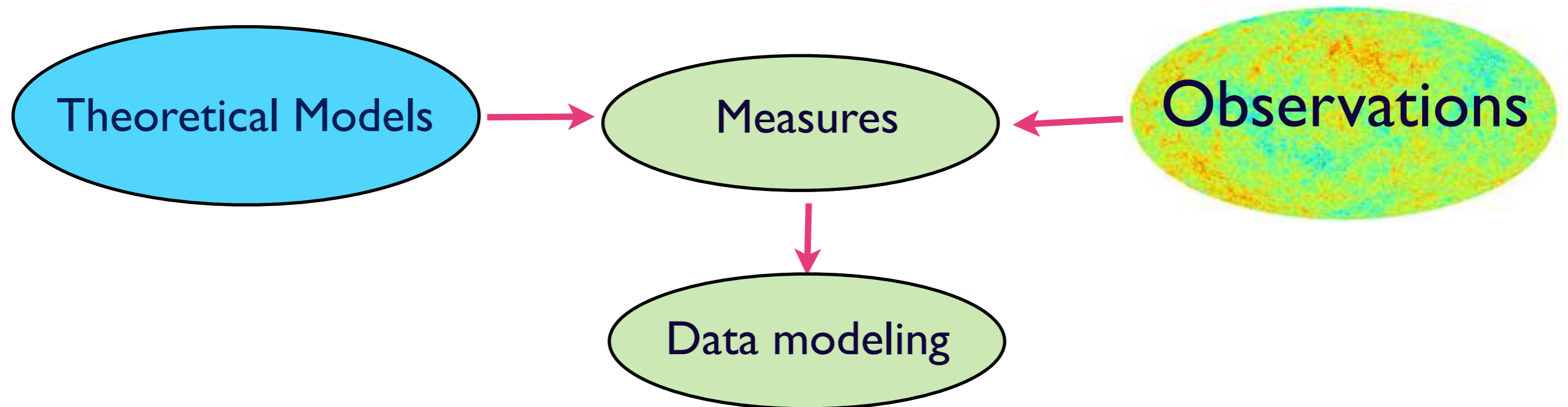
Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



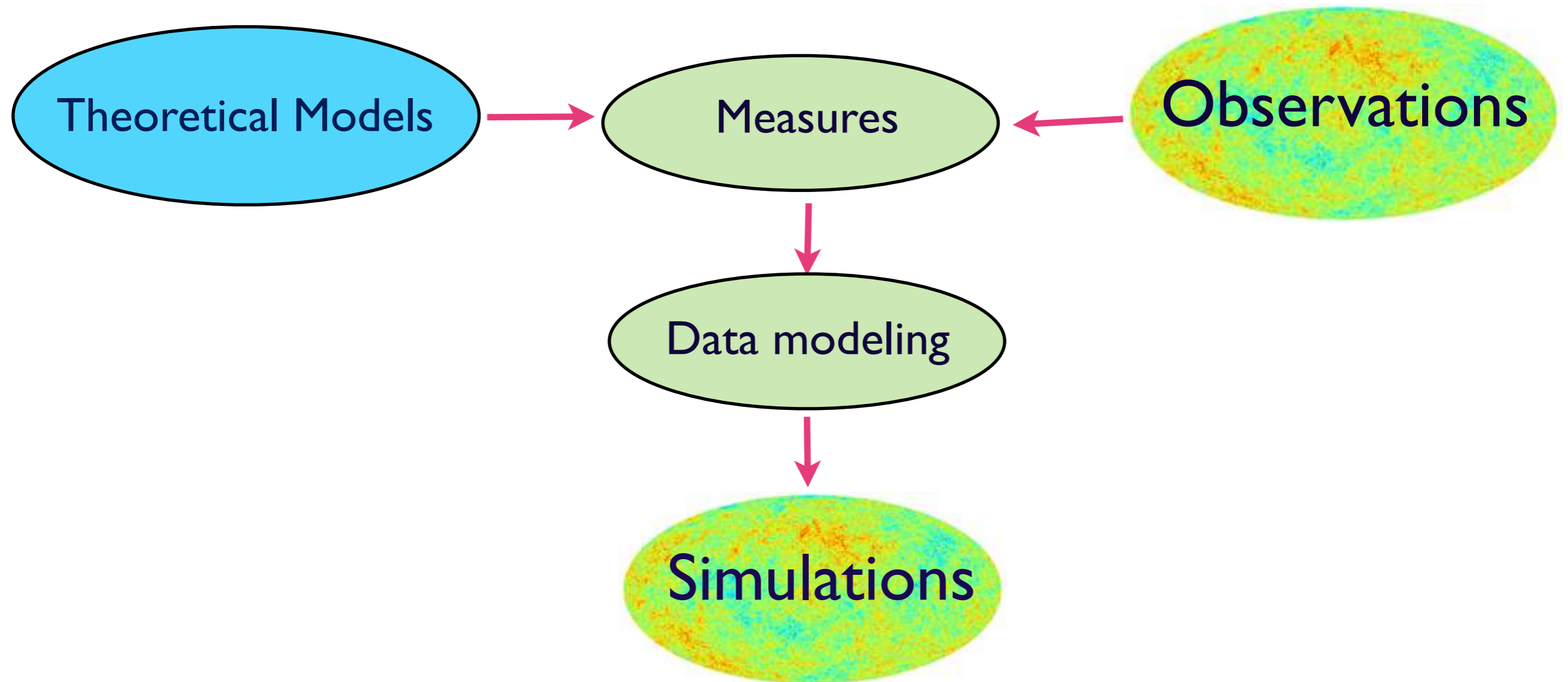
Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



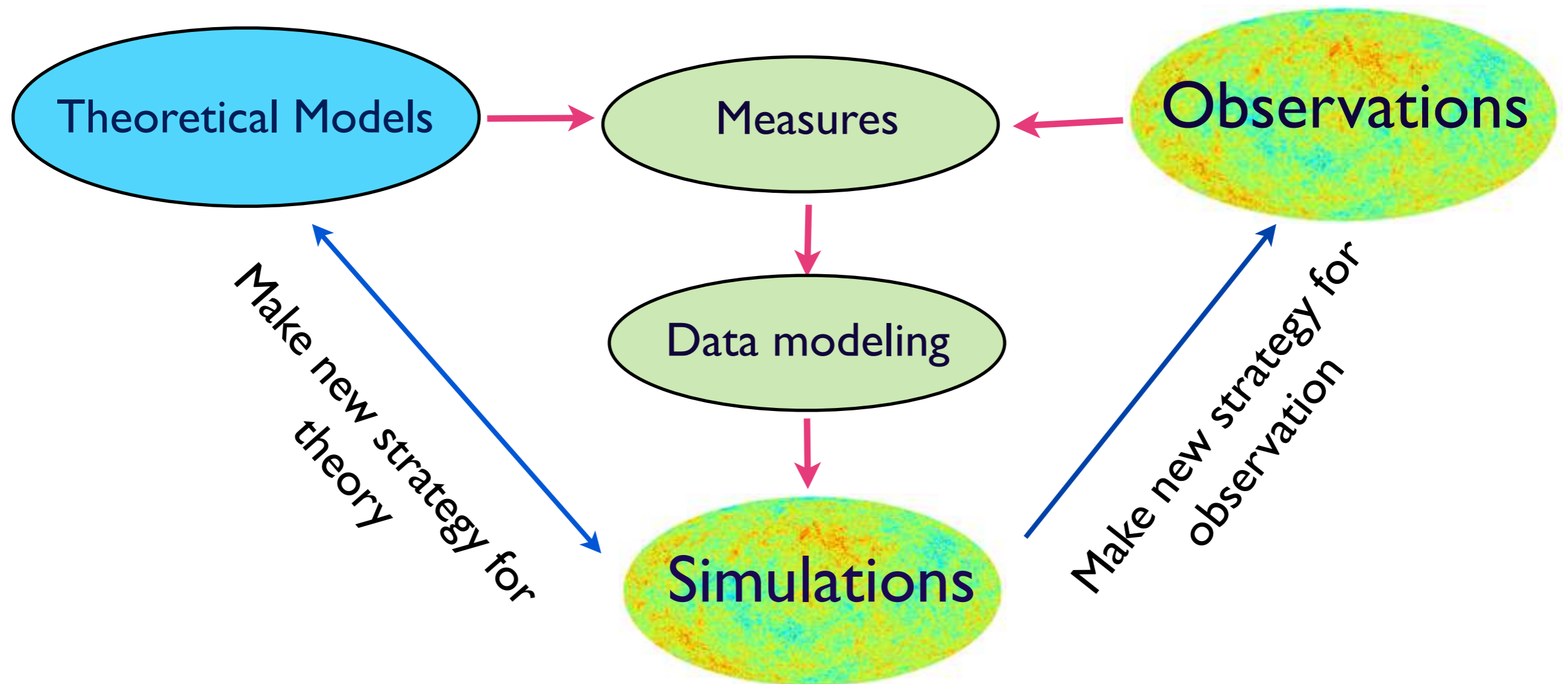
Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



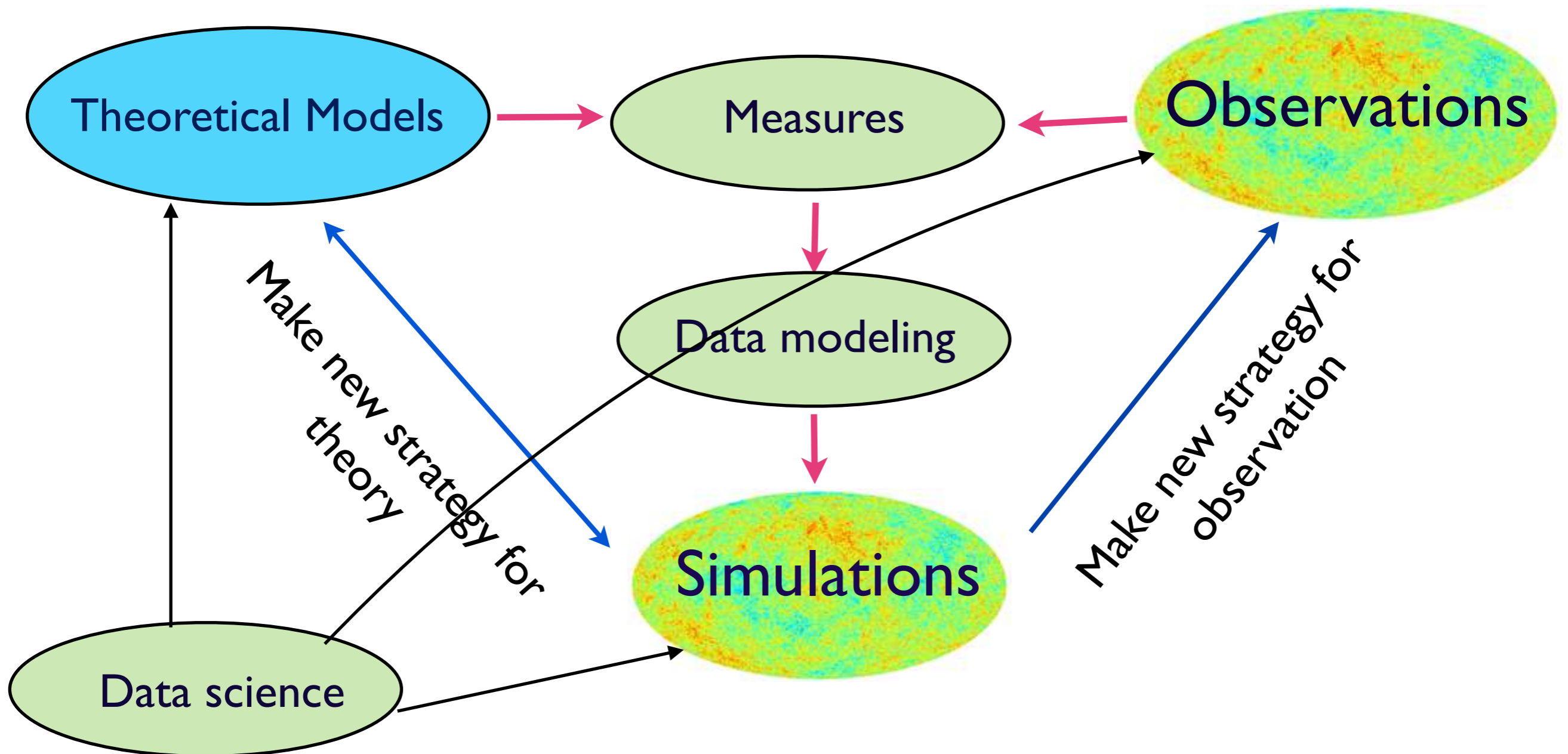
Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



Scientific Methodology

Model - Observation & Experiments - Statistical analysis



کلان داده Big Data (3V-model)

به نظر می رسد که از جمله اولین مراکزی که عبارت Big Data را بکار برده است NASA است (سال ۱۹۹۷)

- (۱) کلان بودن از حیث کمیت (Volume)
- (۲) آهنگ تولید چشمگیر (Velocity or Production rate)
- (۳) تنوع زیاد (Variaty)

برخی از منابع تولید کلان داده

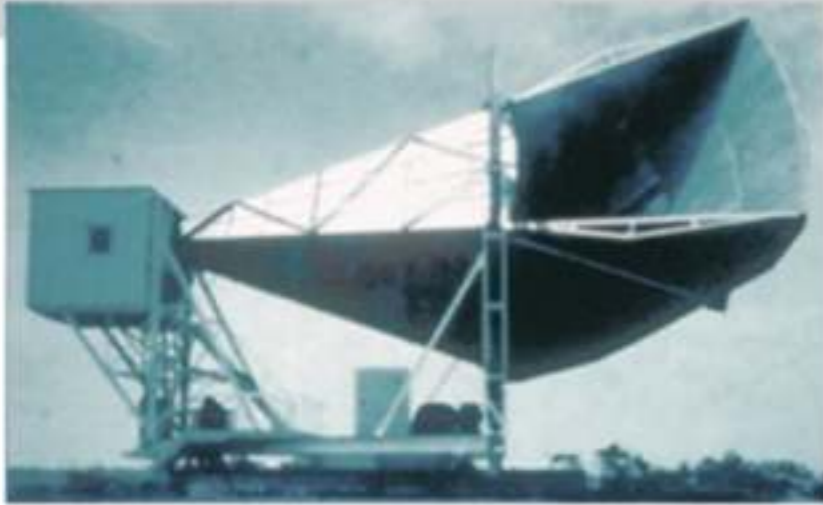
- (۱) رسانه های اجتماعی و تولیدات مربوطه
- (۲) منابع علمی برخط
- (۳) تراکنش های مالی و سایر داده های مالی
- (۴) ارتباطات مشتریان و درخواست های آنها
- (۵) داده های تولید شده از حسگرهای مختلف در حوزه های مختلف
- (۶) داده های تولید شده حاصل از اندازه گیری های مختلف توسط ابزارهای آزمایشگاهی
- (۷) داده های حوزه پزشکی و سلامت
- (۸) حمل و نقل
- (۹) اینترنت
- و ...

برخی از منابع تولید کلان داده (3V model)

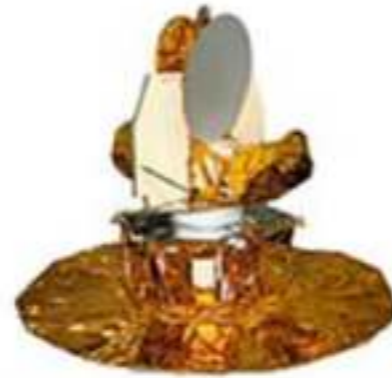
- (۱) گوگل هر حدود ۴ ثانیه در حدود **یک پتابایت** معادل حدود ۱/۵ میلیون دیسک داده تحلیل می کند. (معادل یک درصد حجم ترافیک اینترنت سال ۱۹۹۳)
- (۲) در یوتیوب هر دقیقه بالغ بر ۳۰۰ ساعت فیلم تولید می شود.
- (۳) داده های ساختارمند و بدون ساختار (Structured and Unstructured) و ...

1965

Penzias and Wilson



۱۹۶۵ (۱۳۴۴)



۱۹۹۲ (۱۳۷۱)

دقت زاویه در حدود ۷ درجه یعنی در حدود ۱۲ برابر اندازه زاویه ای ماه در حدود ۸۶۰۰ داده

COBE

۲۰۰۳ (۱۳۸۲)

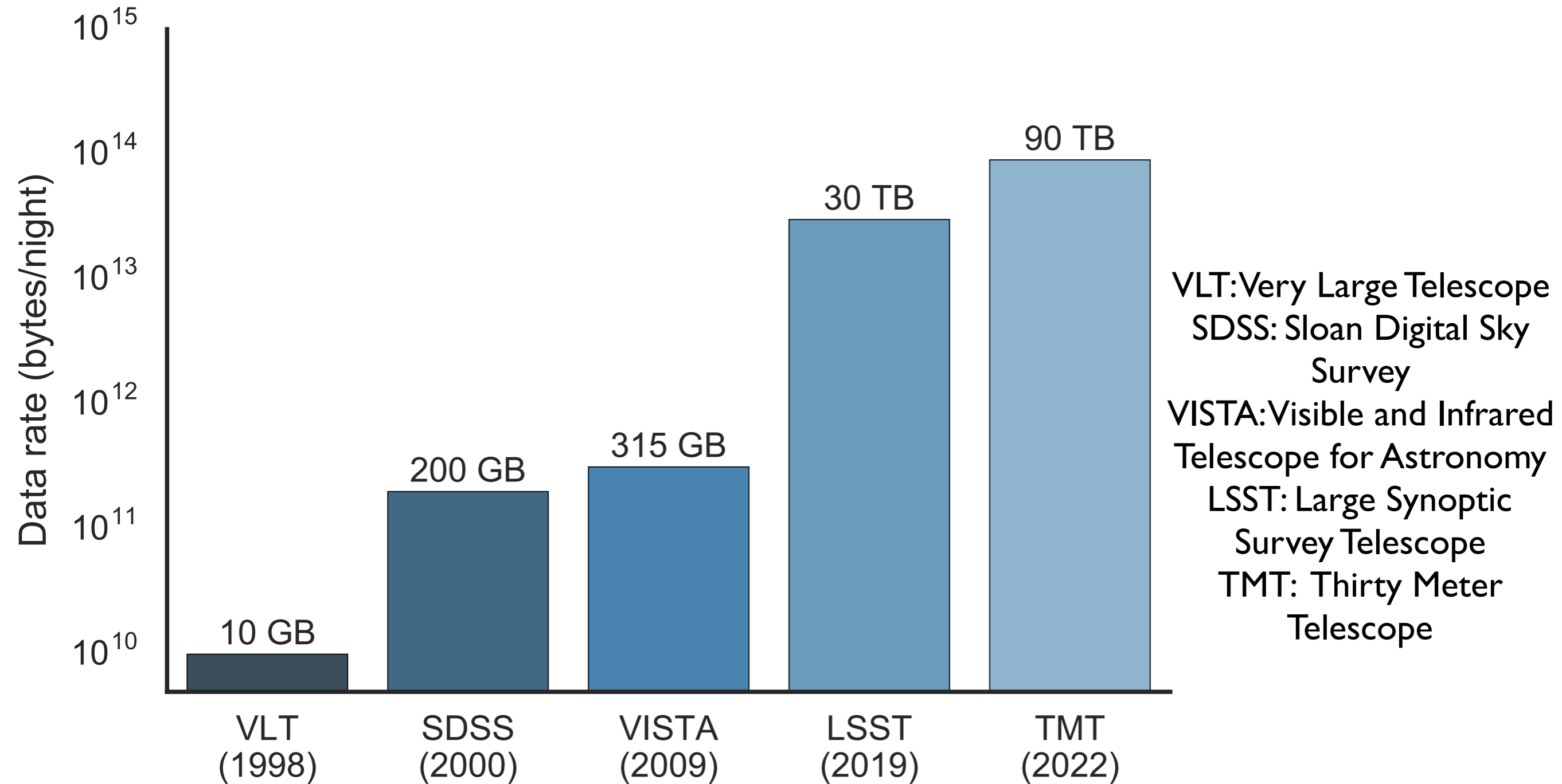
دقت زاویه ای در حدود ۱۳ دقیقه قوسی در حدود نصف اندازه زاویه ای ماه داده ۳۱۴۵۷۲۸

WMAP

۲۰۱۳ (۱۳۹۲)

دقت زاویه ای در حدود ۵ دقیقه قوسی داده ۵۰۳۳۱۶۴۸

Planck



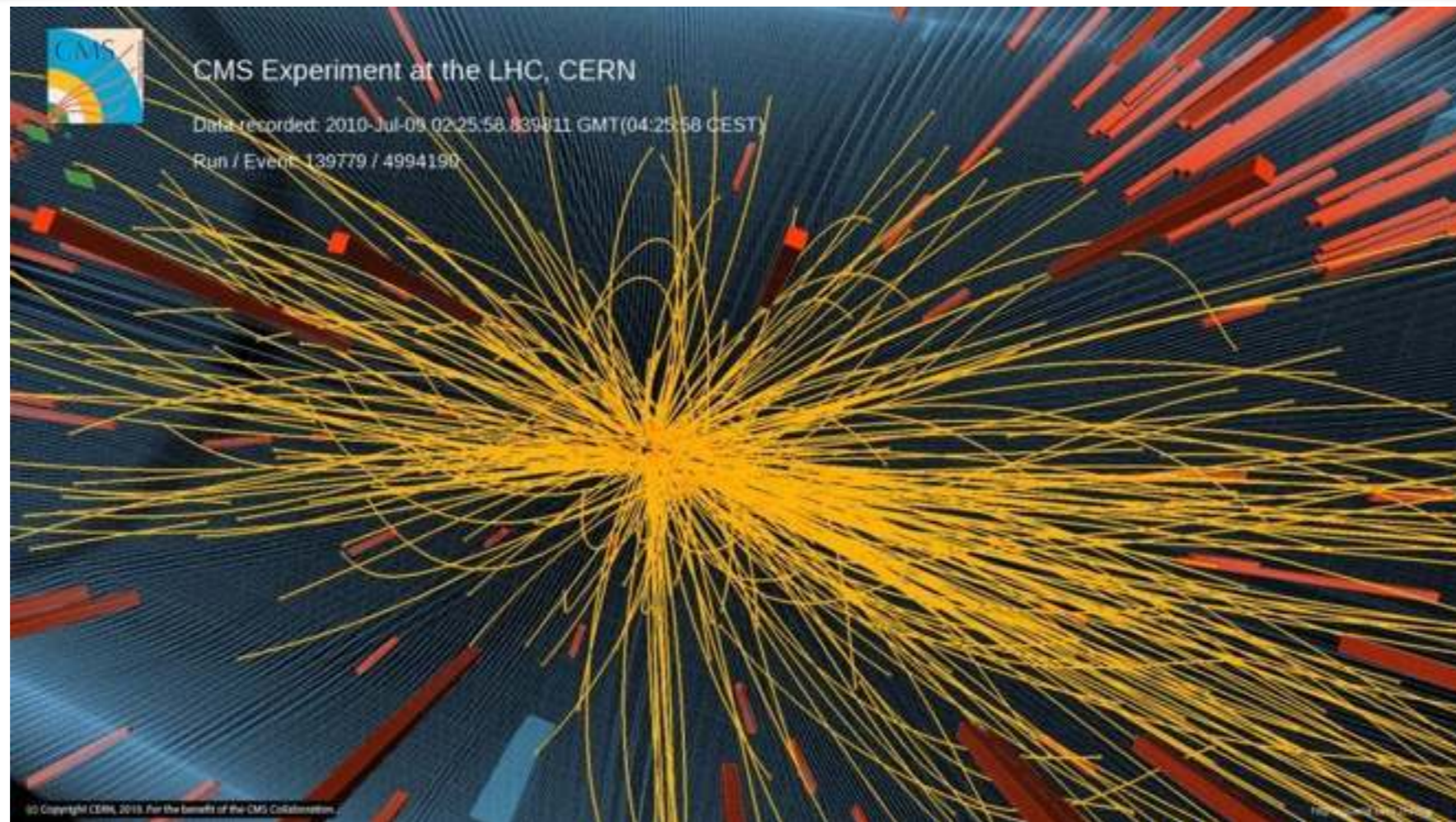
Kremer, Jan, et al. "Big universe, big data: machine learning and image analysis for astronomy." *IEEE Intelligent Systems* 32.2 (2017): 16-22.

CERN:

جهان از چه چیزی ساخته شده و چگونه کار می کند؟
(از سال ۱۹۵۴ (۱۳۳۳ هجری شمسی))

What is the universe made of and how does it work?

تولید ۲۵ گیگابایت داده در هر ثانیه



Square Kilometer Array (SKA) Radio Telescope

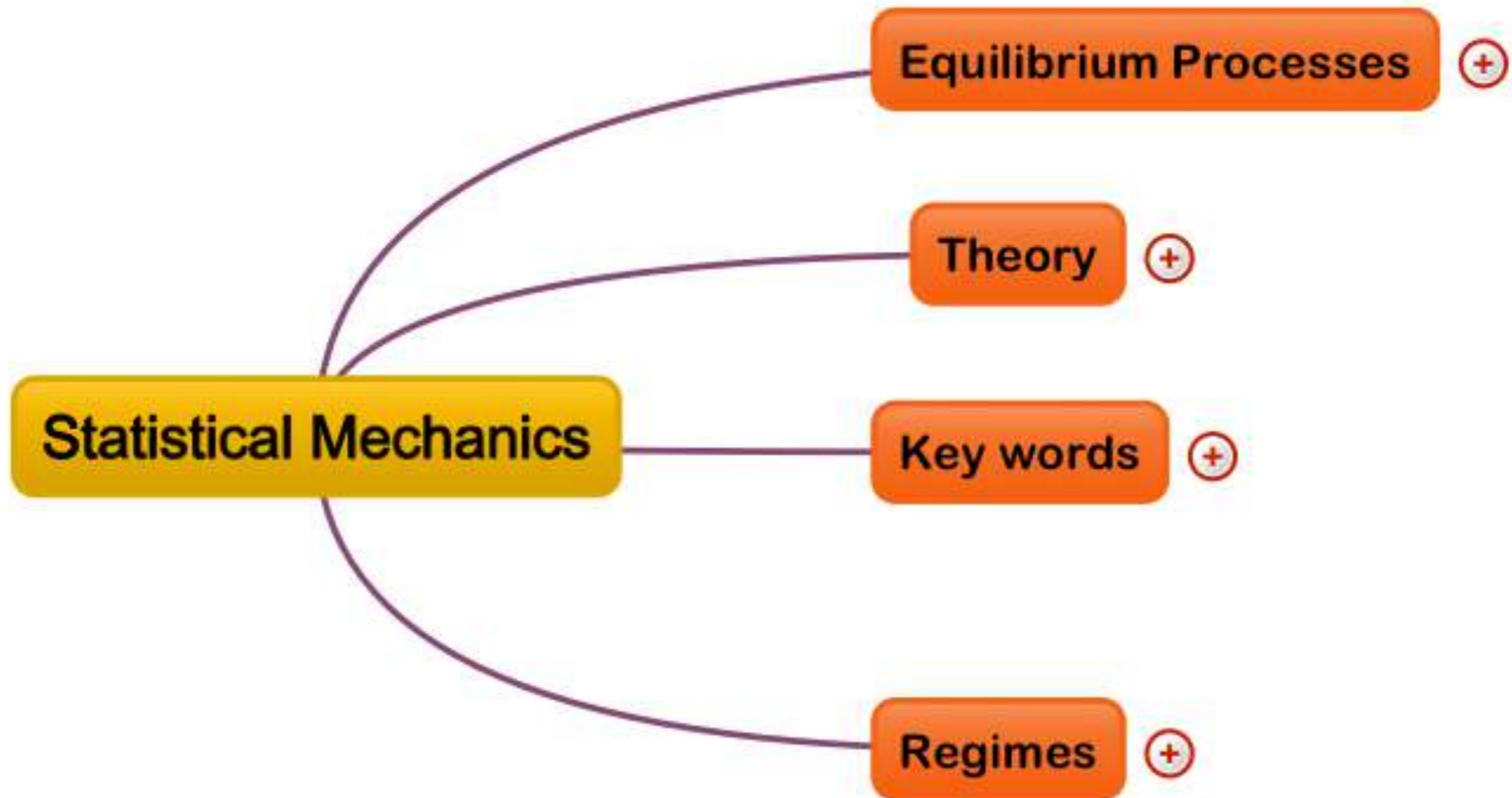
پروژه یک میلیارد دلاری

تولید و بررسی ۴۰۰ گیگابایت داده در هر ثانیه

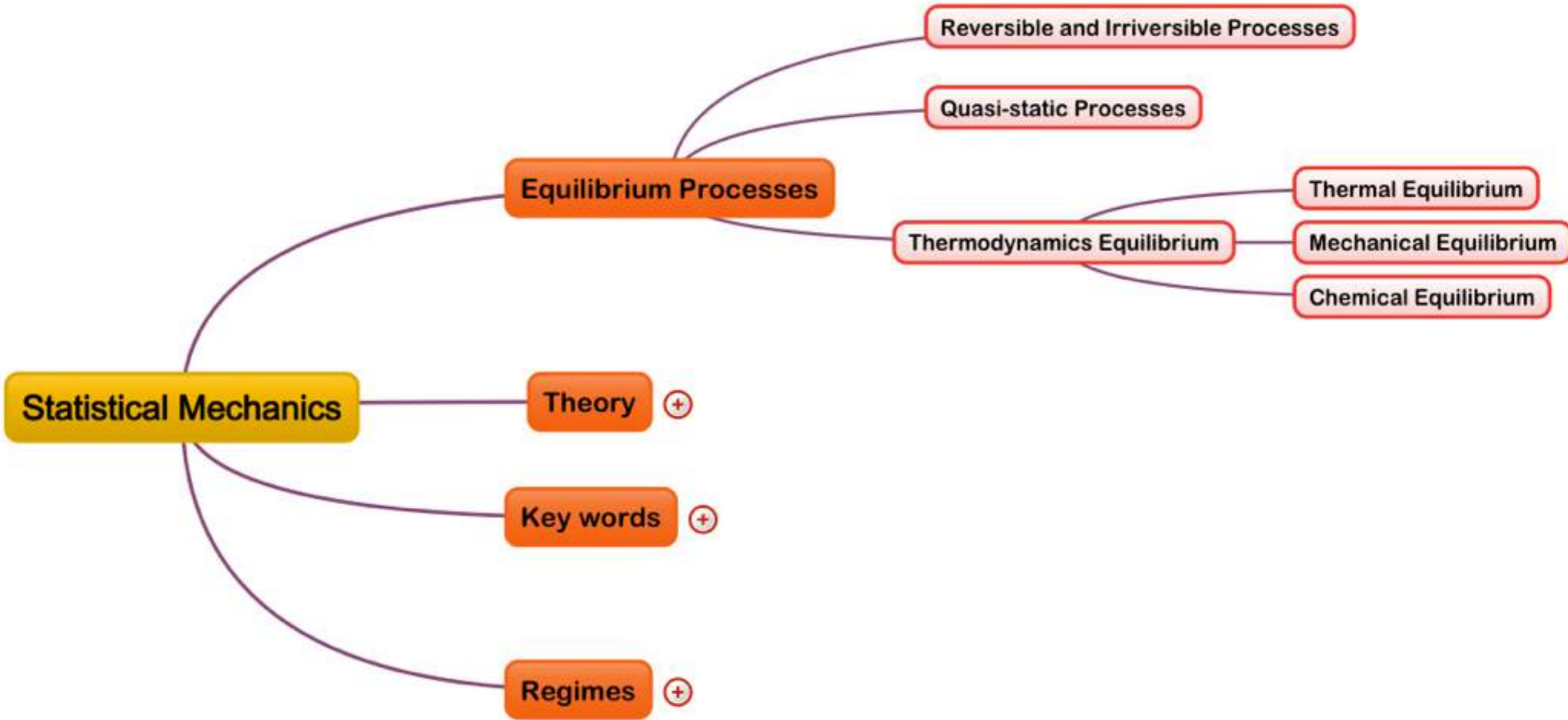


Part 2:
**The roadmap of the
statistical mechanics**
نقشه راه درس فیزیک (مکانیک) آماری

roadmap I



roadmap 2



roadmap 3

Statistical Mechanics

Equilibrium Processes ⊕

Theory

Thermodynamics

Statistical mechanics

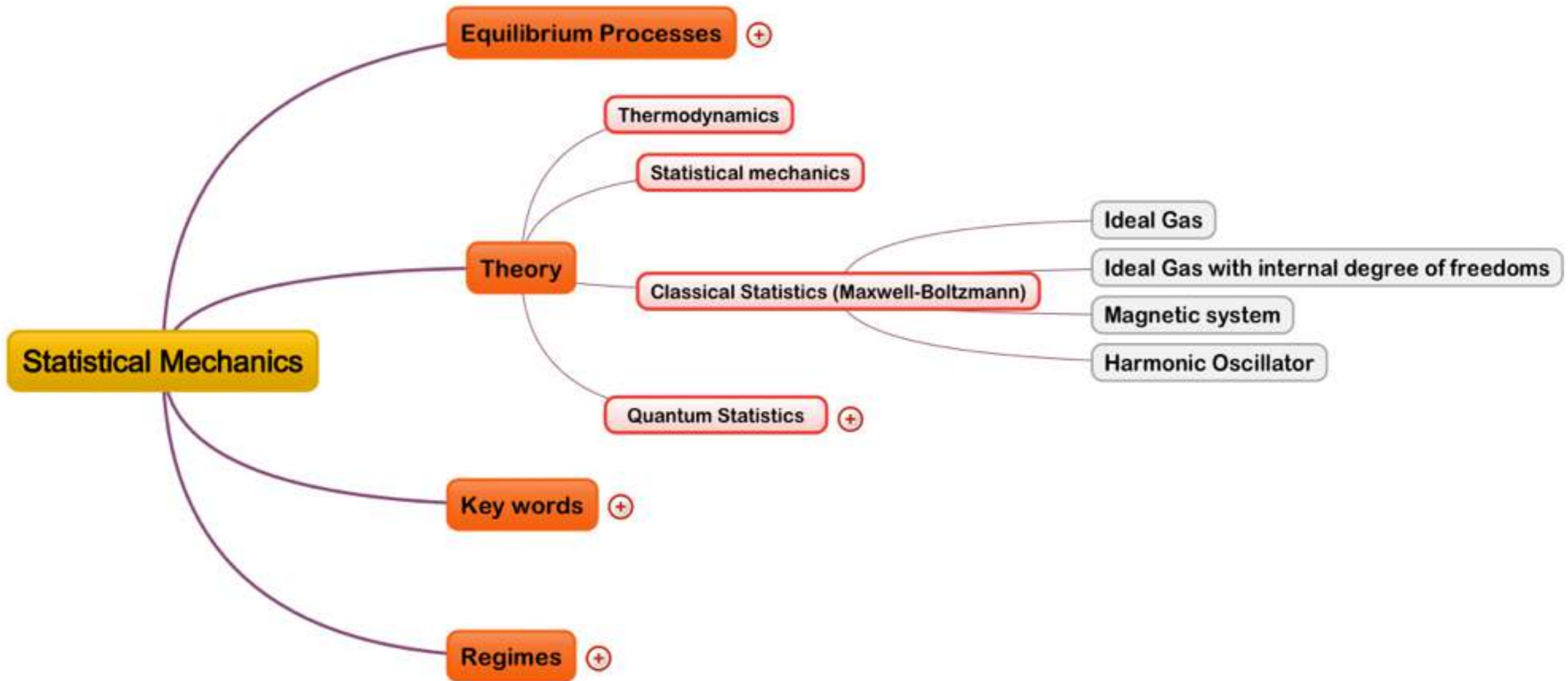
Classical Statistics (Maxwell-Boltzmann) ⊕

Quantum Statistics ⊕

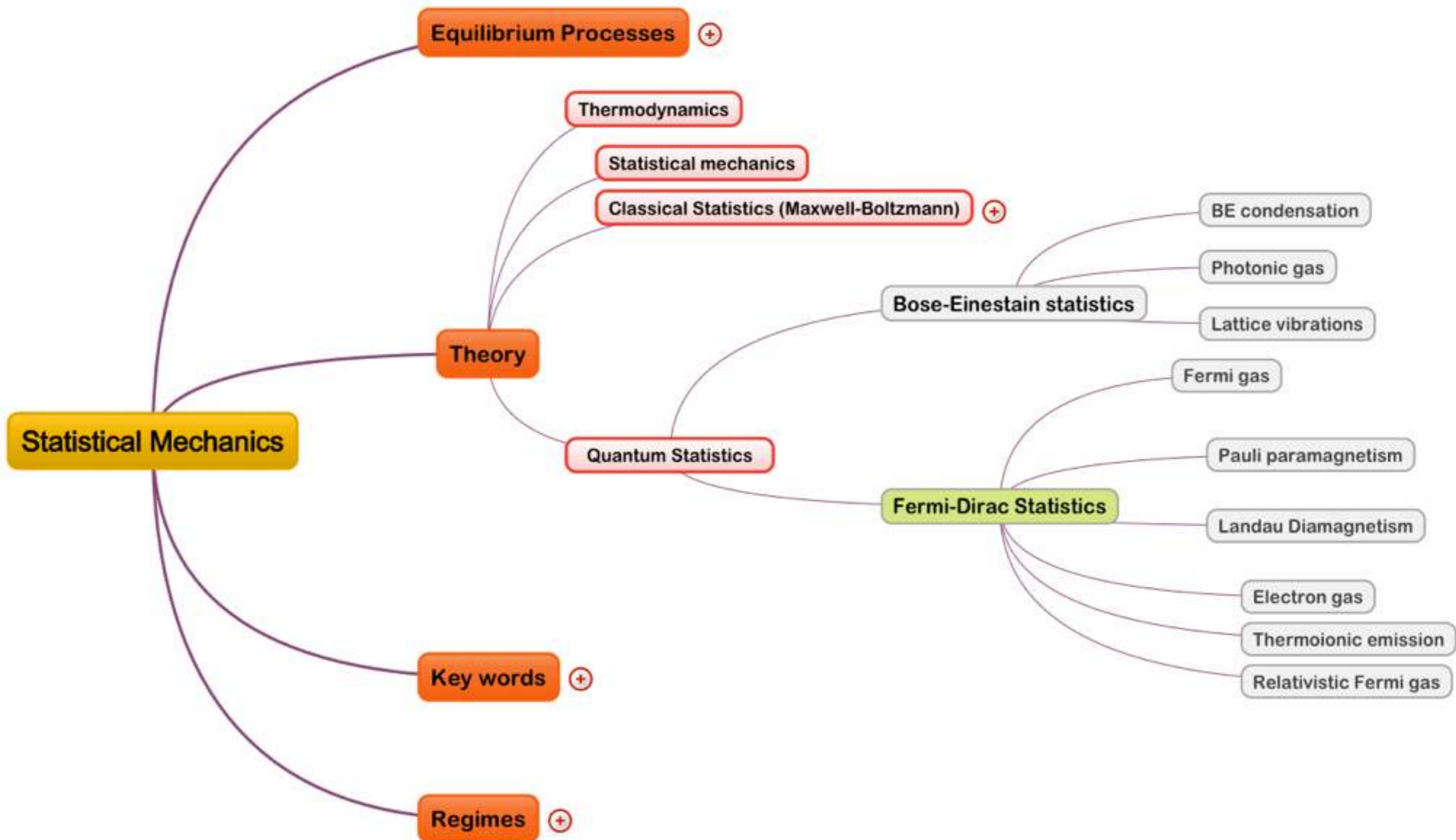
Key words ⊕

Regimes ⊕

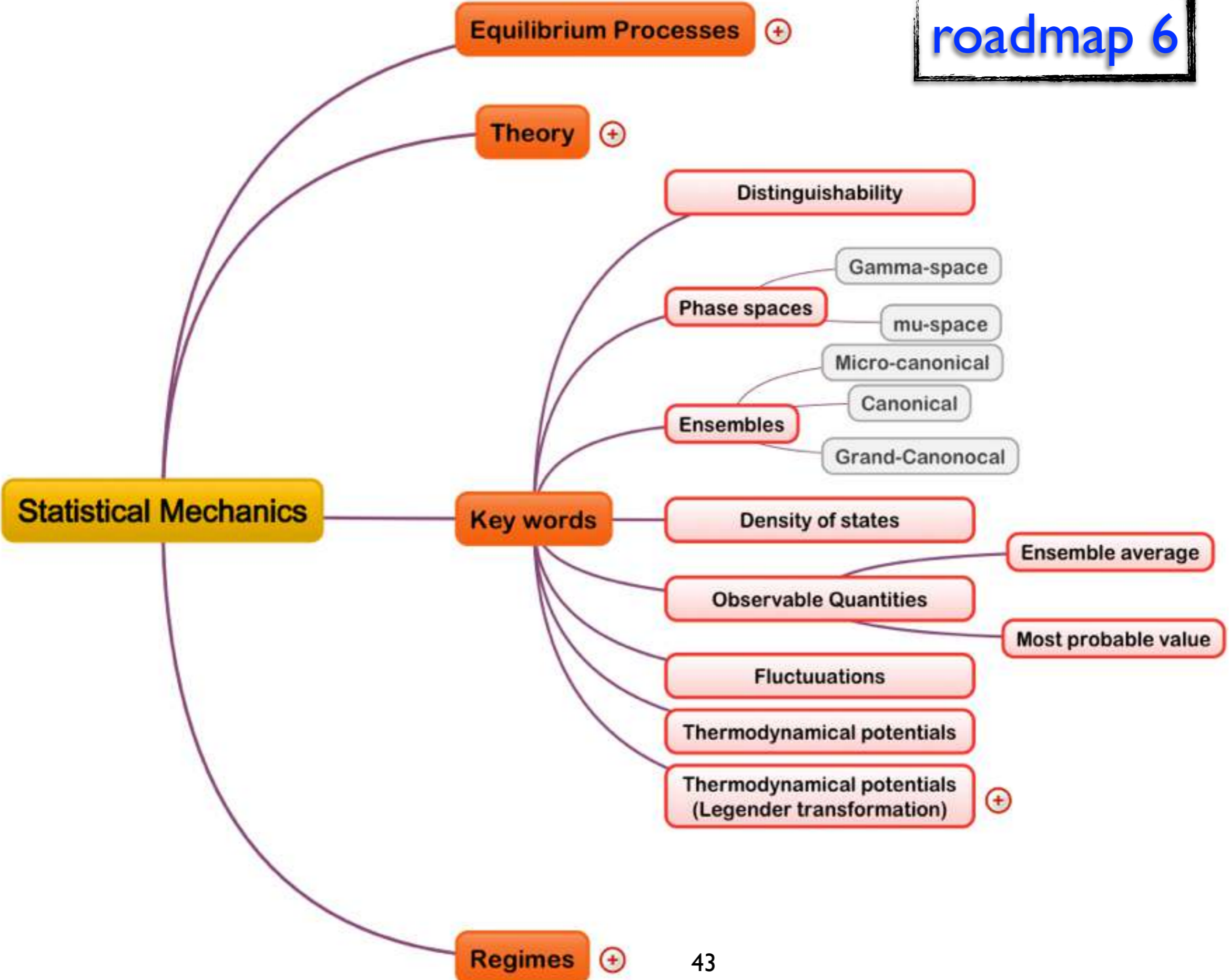
roadmap 4



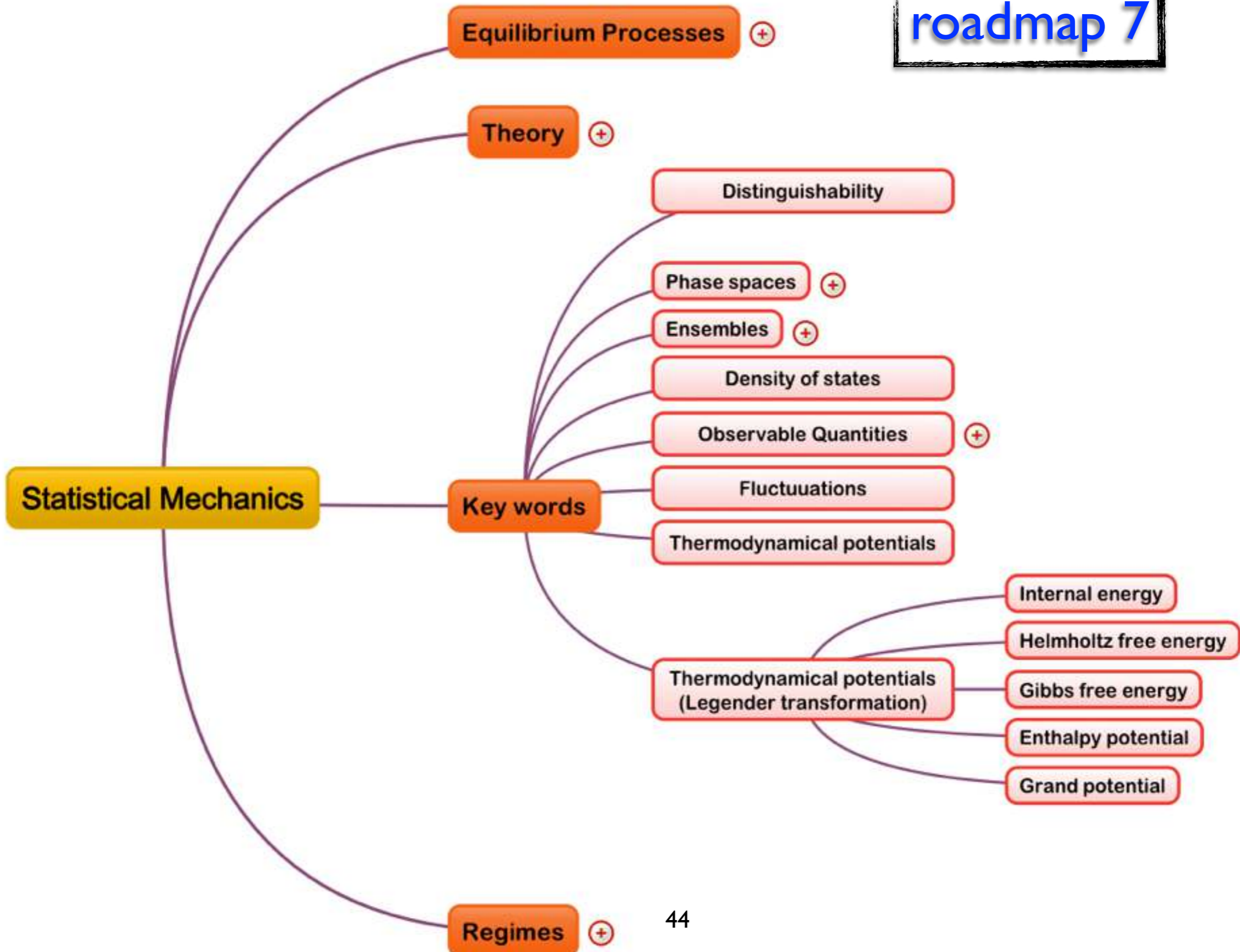
roadmap 5



roadmap 6



roadmap 7



roadmap 8

Statistical Mechanics

Equilibrium Processes



Theory



Key words



Regimes

Non-interacting systems

Interacting systems

Classic vs. Quantum

Relativistic vs. Non-relativistic (ultra-relativistic)

Collisional vs. non-collisional

Degenerate vs. non-degenerate

**What questions can we
answer by learning
statistical physics?**

چه سؤالاتی را می توانیم با یادگرفتن

فیزیک (مکانیک) آماری پاسخ دهیم؟

(نگاه توسعه ای به یادگیری)

**What questions would
be answered?
(Statistical Mechanics)**

**Therodynamics (How?)
but what about (What? and Why?)** ⊕

**Many-Body systems
(10^{23} coupled motion equations)** ⊕

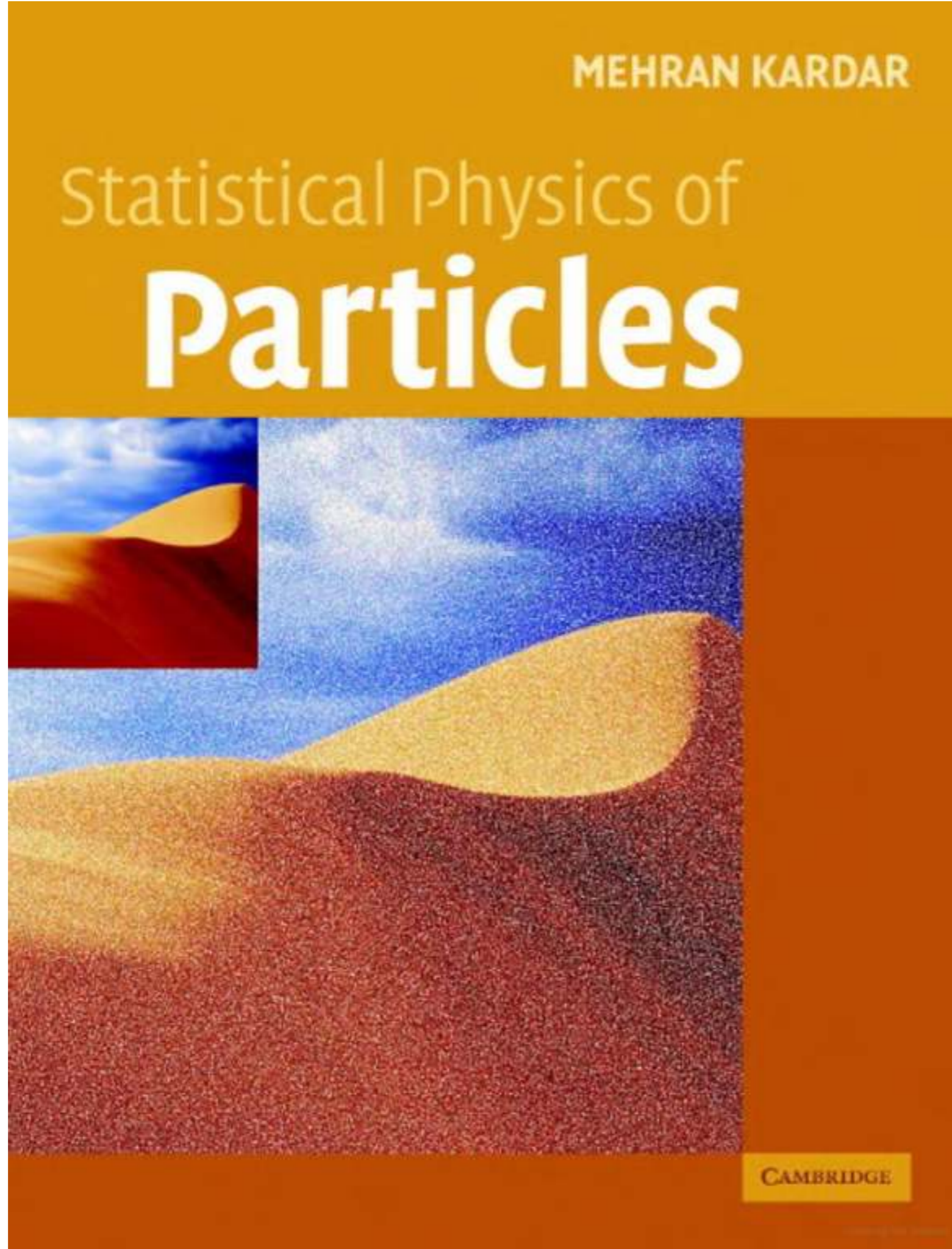
Effective theory and marginalization ⊕

Phase transitions ⊕

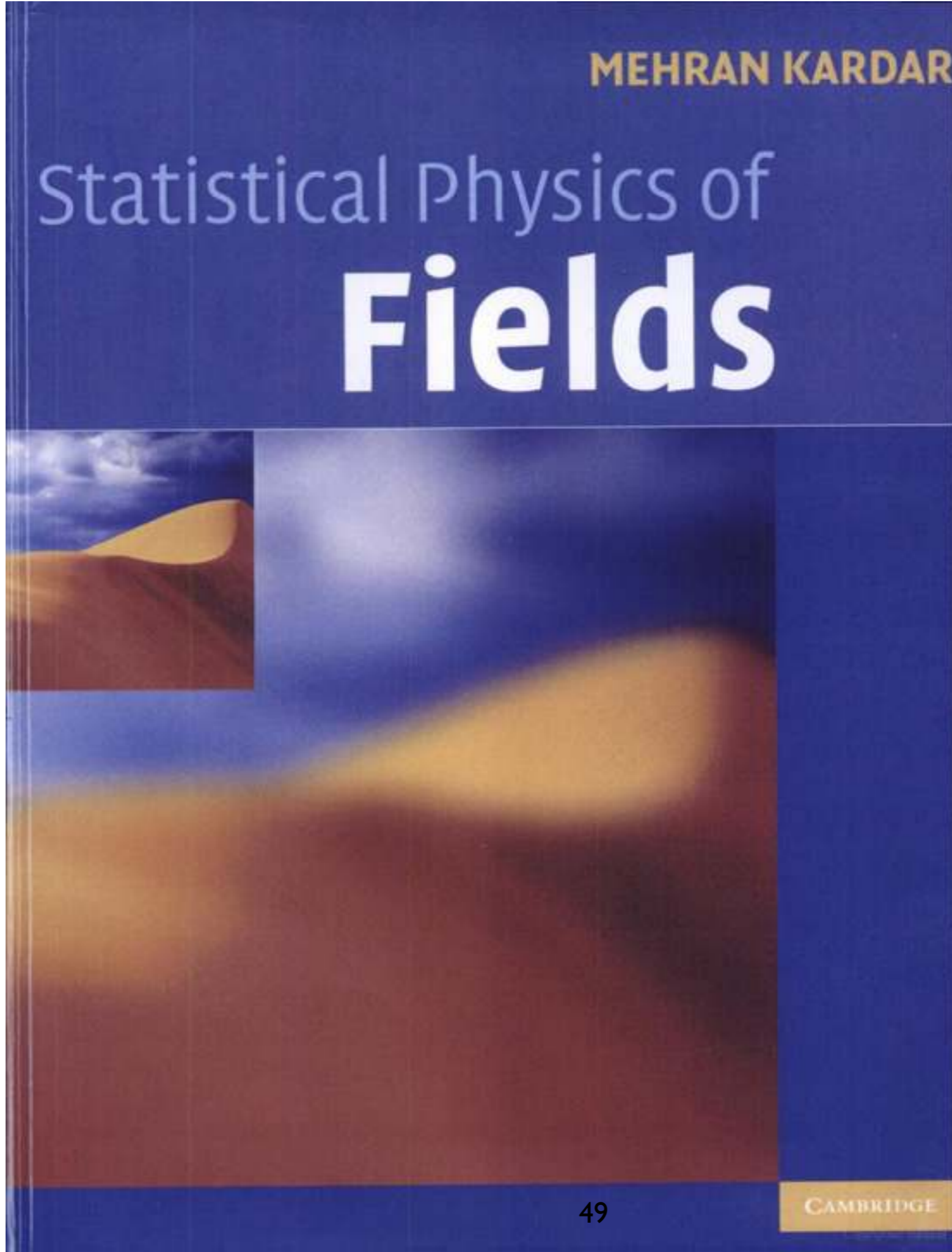
**Starting with similar particles (sub atomic scales)
with completely different behaviours at macroscopic scales!** ⊕

**Non-equilibrium processes
(Probabilistic and stochastic notions)** ⊕

Kardar, Mehran. Statistical physics of particles. Cambridge University
.Press, 2007



Kardar, Mehran. Statistical physics of fields. Cambridge University
.Press, 2007



From discrete to continuous fields

از حالت گسسته به حالت پیوسته

Pointillism technique

ژانر نقاشی نقطه ای



L

From discrete to continuous fields

از حالت گسسته به حالت پیوسته

Pointillism technique

ژانر نقاشی نقطه ای



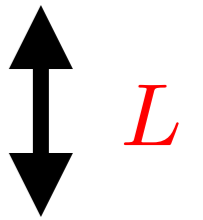
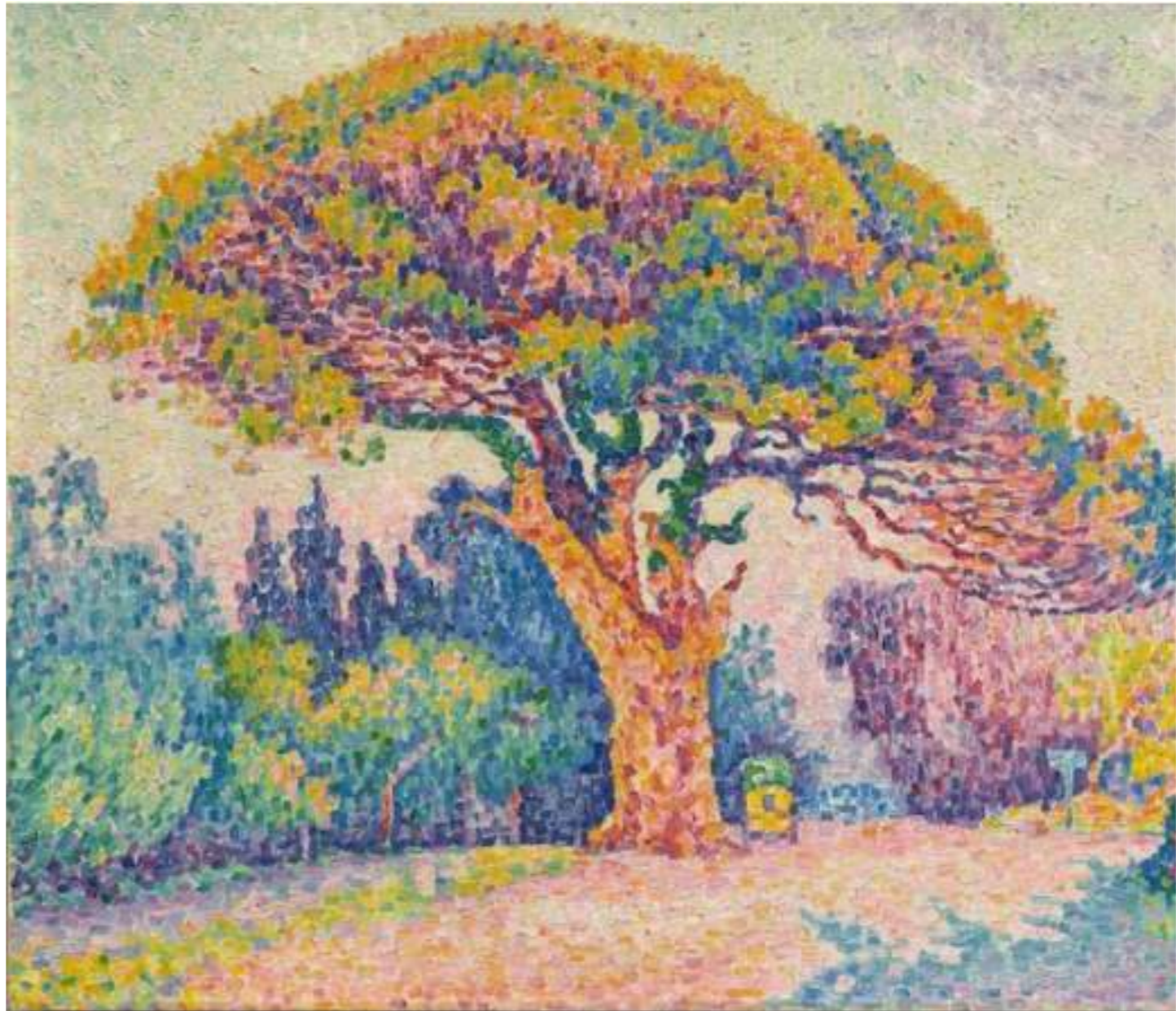
From discrete to continuous fields

از حالت گسسته به حالت پیوسته

Pointillism technique

ژانر نقاشی نقطه ای

painting technique in which small, discrete dots work together to create a concept.



Paul Signac, "The Pine Tree at Saint-Tropez," 1909 (Photo: Wikimedia Commons Public Domain)

Your brain has already played as a role of TDA machine

گذار فاز Phase transition

(۱) حد ترمودینامیک

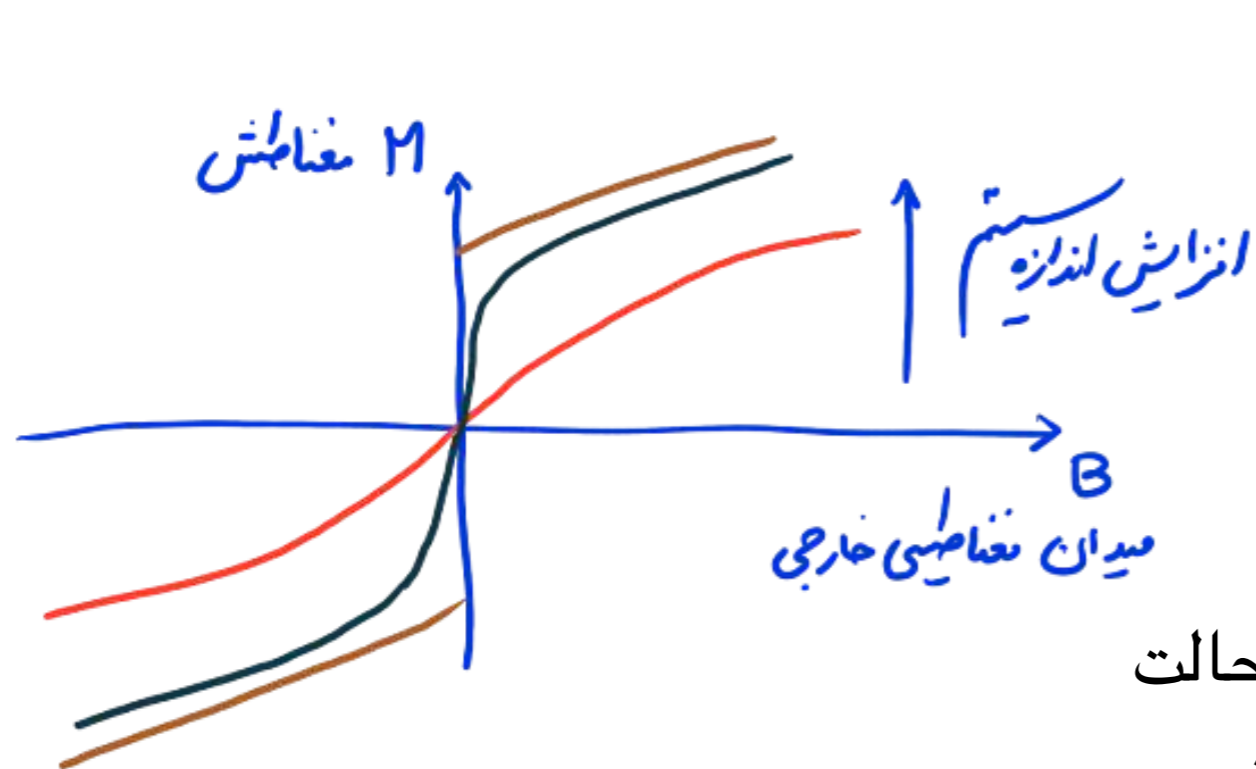
(۲) شکست نظریه ارگودیک

(۳) ظهور رفتارهای جدید

(۴) گذار فاز

$$N \rightarrow \infty$$

$$V \rightarrow \infty$$



$$\langle A \rangle = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t dt' A\{\eta(t')\}$$

$$\langle A \rangle = \int d\eta P(\eta) A\{\eta\}$$

اهنگ شکل گیری یک حالت

طول عمر یک حالت

$$\mathcal{R} \sim e^{-\beta \Delta F}$$

$$\tau \sim e^{N^{2/3}}$$

Effective theory

نظریه لاندائو-گینزبورگ

$$Z = \int D\Phi e^{-\mathcal{L}}, \quad \mathcal{L} = \int d^d r L[\Phi]$$

از توجه شما سپاسگزارم