

PERCORSI DI FISICA TEORICA per la laurea magistrale

Teoria dei campi e delle interazioni fondamentali

Supersimmetria, stringhe e gravita` quantistica

Astrofisica nucleare relativistica

Fisica statistica e teoria statistica dei campi

dipartimento di fisica, via Celoria, Milano

12 giugno 2019

Di cosa è fatta la materia? Quali sono le forze fondamentali e le leggi che le governano? Qual'è l'origine dell'universo, e come esso evolve? Come si spiegano i fenomeni macroscopici a partire dai costituenti microscopici?

La FT è un'architettura di teorie, che inquadrano in leggi e modelli coerenti i fenomeni conosciuti.

Lo sviluppo delle conseguenze concettuali delle teorie è un'attività importante della FT, che può portare lontano e indirizza la ricerca sperimentale.

Così la FT avanza, allarga i confini, si ramifica ma aspira a grandi sintesi (eqz. Maxwell, termodinamica, meccanica quantistica, modello standard, modello cosmologico, ...)

Ogni volta è una conquistata bellezza formale e concettuale.

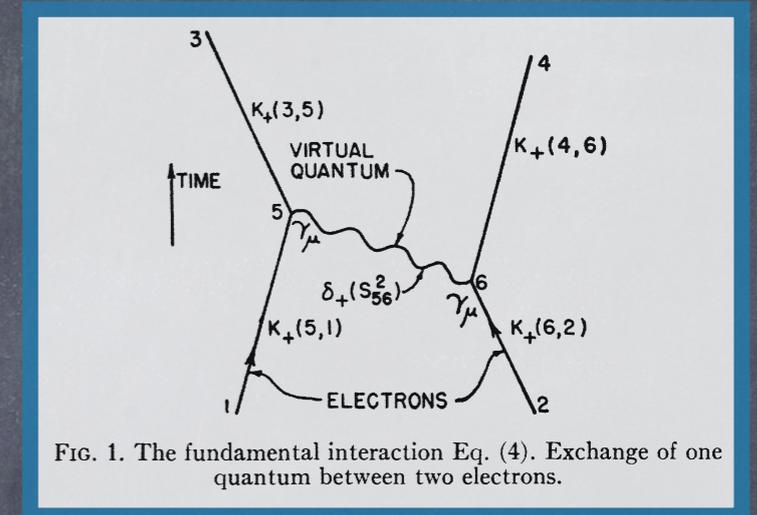
La teoria quantistica dei campi

1927 quantizzazione campo e.m. (Dirac)

$X, P, S \rightarrow$ operatori di creaz e distruz

1946-49: QED (Nobel 1965)

Path-integral: interaz. fondam,
many-body, mecc. stat.



Sin Itiro Tomonaga



Richard Feynman



Julien Schwinger

QFT e interazioni fondamentali

keywords: Fisica di LHC, modello standard e oltre (fisica di precisione, metodi perturbativi e risommazioni a tutti gli ordini, metodi montecarlo e reti neurali, machine learning), teoria perturbativa QCD, teoria elettro-debole.

people: prof. Stefano Forte, prof. Alessandro Vicini, prof. Giancarlo Ferrera, dr. Stefano Carrazza (+postDoc e dottorandi).

Teoria quantistica dei campi e interazioni fondamentali

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/Appl	Fisica Teorica I	Teorico/fond
Metodi Matem. 2 Geometria e Gruppi	Teorico/fond	Metodi computazionali della fisica	Affine e Integrativo
3 corsi a scelta		2 corsi a scelta	
		Teoria interazioni fondamentali I	
Abilita` informatiche e telematiche	3 CFU	Inglese B2	3 CFU
totale CFU	33	totale CFU	33

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Fisica Teorica 2	Teorico/fond	Stage e tirocini obbl.	6 CFU
Teoria delle Interazioni Fondamentali 2	Teorico/fond	Tesi di Laurea	36 cfu
totale CFU	12	totale CFU	42

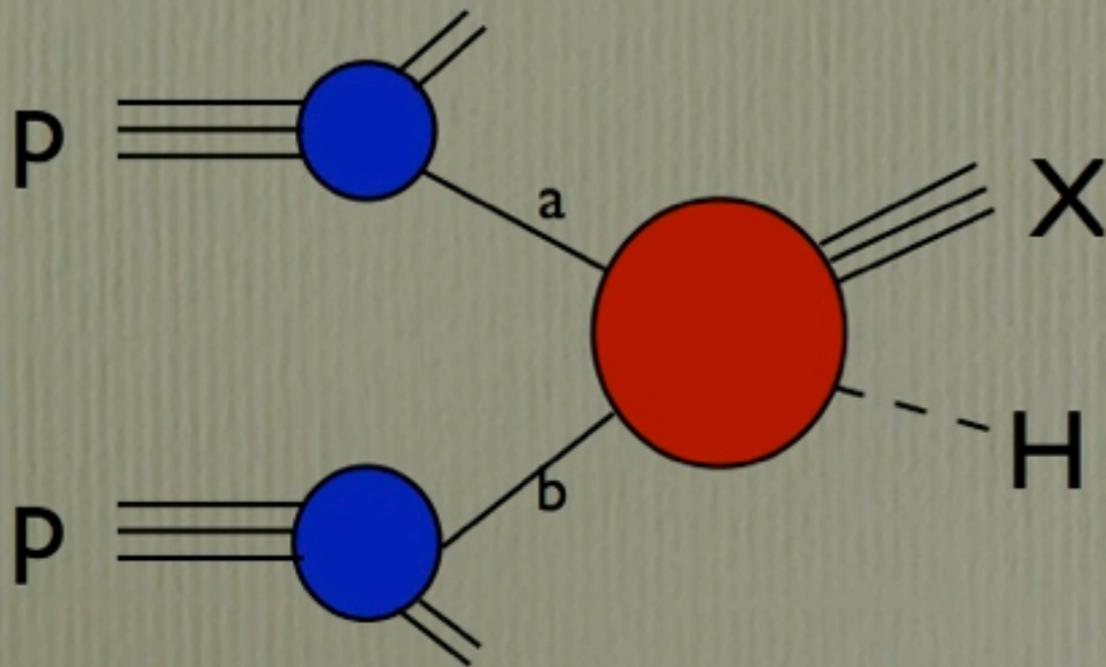
Altro corso consigliato: Introduzione alla Relativita` Generale (affine e integrativo)

Q.F.T. e Interazioni fondamentali

TIF-Lab: Stefano Forte, Alessandro Vicini, Giancarlo Ferrera, S. Carrazza

- Fisica Teorica delle particelle elementari (teoria dei campi quantistica relativistica)
- Fenomenologia e test di precisione del Modello Standard delle interazioni Elettrodebole e Forte
- Studio di processi di scattering di particelle, principalmente ai colliders di altissima energia (LHC, Tevatron, ILC, FCC)

$$\sigma(P_1, P_2; m_H) = \sum_{a,b} \int_0^1 dx_1 dx_2 f_{h_1,a}(x_1, M_F) f_{h_2,b}(x_2, M_F) \hat{\sigma}_{ab}(x_1 P_1, x_2 P_2, \alpha_s(\mu), M_F)$$



- Descrizione accurata del **protone** con Parton Distribution Functions (PDFs)
- Calcolo delle **sezioni d'urto partoniche** per la produzione di un certo stato finale
- Produzione del bosone di Higgs di bosoni di gauge W e Z

Q.F.T. e Interazioni fondamentali

- Determinazione delle **PDF del protone**, analizzando i dati con reti neurali (NNPDF, Forte)
- Sezioni d'urto di produzione del **bosone di Higgs** e dei **bosoni W e Z** includendo correzioni quantistiche (QCD e EW) di ordine superiore per diversi meccanismi di produzione (gluon fusion, produzione associata; DY) e diversi stati finali. (Forte, Vicini, Ferrera)
- Risommazione analitica a tutti gli ordini di correzioni radiative caratterizzate da grandi fattori logaritmici che si sviluppano in certe regioni dello spazio delle fasi (Forte, Ferrera)
- Sviluppo di codici di simulazione Monte Carlo che includono il calcolo esatto di correzioni radiative e la risommazione tramite Parton Shower (Vicini)
- Misura di alta precisione ai colliders adronici dei parametri elettrodeboli: sviluppo di nuove strategie, studio dell'impatto delle PDF; studio di possibili deviazioni dovute a fisica BSM (Vicini)

Q.F.T. e Interazioni fondamentali

- Competenze di Teoria Quantistica dei Campi:
problemi di rinormalizzazione, di trattazione delle divergenze infrarosse;
generazione efficiente delle ampiezze di scattering
- Competenze matematiche:
calcolo di integrali di loop e loro rappresentazione in termini di funzioni analitiche;
calcolo di trasformate (Fourier, Mellin)
- Competenze numeriche:
utilizzo/sviluppo di codici di simulazione Monte Carlo
di reti neurali
- Competenze statistiche:
tecniche di fit, rappresentazione statistica di insiemi di dati

Supersimmetria, stringhe e gravita` quantistica

keywords: supergravita`, teorie di gauge supersimmetriche, buchi neri, olografia, cosmologia.

people: prof. Silke Klemm, Alberto Santambrogio, dr. Antonio Amariti, F. Faedo, G. Salvatori, M.Azzola

<http://www.mi.infn.it/~strings/index.php>

Supersimm, stringhe e gravita` quantistica

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/applic	Fisica Teorica I	Teorico/fondam
Introduzione alla Relativita` Generale	Affine/integr	Gravita` e Superstringhe I	Teorico/fondam
Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi I	Teorico/fondam	Gravita` e Superstringhe 2	Affine/integr
2 corsi a scelta		2 corsi a scelta	
Abilita` informatiche e telematiche	3 CFU	INGLESE B2	3 CFU`
totale CFU	33	totale CFU	33

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Fisica Teorica 2	Teorico/fondam	Stage e tirocini obbligatori	6 CFU
Corso a scelta		Tesi di laurea	36 CFU
totale CFU	12	totale CFU	42

Altri corsi consigliati. Affini e Integrativi: Geometria 2; Metodi Computazionali della Fisica.
Ambito "Microfisico e della Struttura della Materia": Fisica Statistica Avanzata; Fisica delle Particelle.
Ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale": Cosmologia; Elementi di Fisica dei Continui.

Astrofisica nucleare relativistica

keywords: stella di neutroni, pulsar, superfluidita`,
vortici magnetici, fluidodinamica relativistica

people: prof. Pierre Pizzochero, dr. E. Giliberti,
A. Montoli; **collab:** dr. B. Haskell, M. Antonelli,
L. Gavassino (Warsaw)

Alessandro.Montoli@unimi.it

Astrofisica Nucleare Relativistica

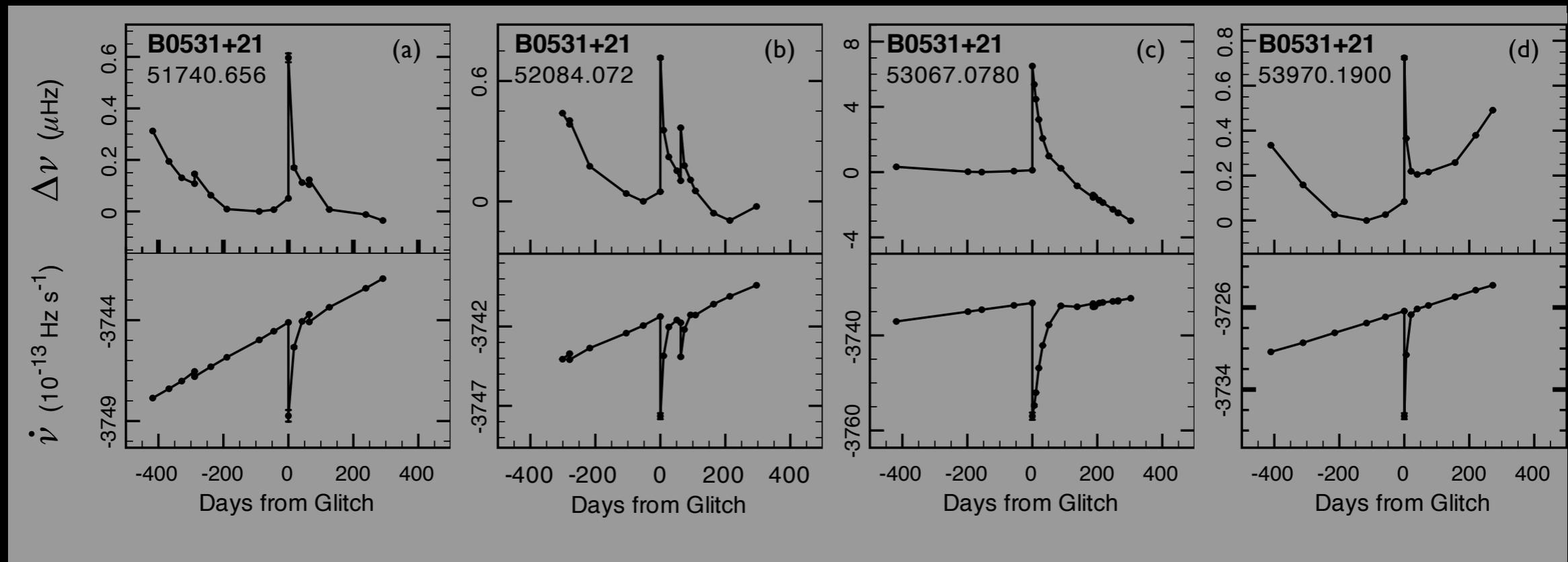
Astrofisica degli oggetti compatti: non basta più la fisica classica per descriverli, ma è necessaria la meccanica quantistica

- ▶ Fisica nucleare a densità superiori a quella di saturazione
- ▶ Campi magnetici estremi
- ▶ Intensi campi gravitazionali



I laboratori per questo tipo di fisica sono le stelle di neutroni: i dati non si ottengono da acceleratori di particelle, ma da telescopi (astronomia multimessaggera!)

Astrofisica Nucleare Relativistica



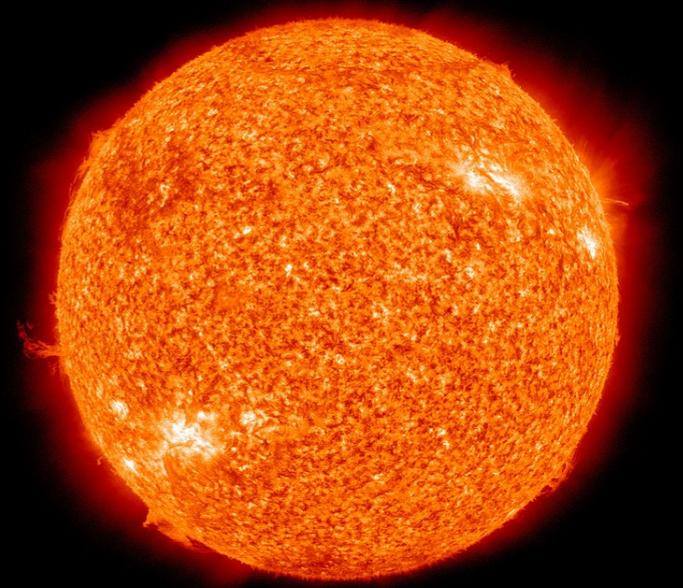
Pulsar glitches:

- ▶ Due componenti nella stella, di cui una superfluida
- ▶ La componente superfluida non decelera come quella normale
- ▶ Scambio di momento angolare tra le componenti \Rightarrow glitch!
- ▶ Modellizzando il fenomeno si possono ottenere dettagli sulla struttura delle stelle di neutroni

Astrofisica Nucleare Relativistica

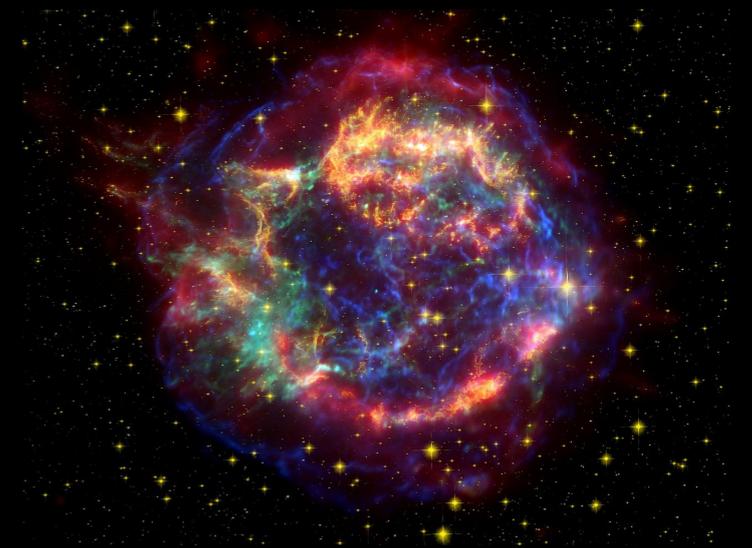
Modulo 1 (Astrofisica delle stelle estese):

- ▶ Struttura ed evoluzione stellare
- ▶ Trasporto di energia
- ▶ Stabilità della stella



Modulo 2 (Astrofisica delle stelle compatte):

- ▶ Nane bianche
- ▶ Supernovae
- ▶ Stelle di neutroni



Astrofisica nucleare relativistica

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/applic	5 corsi a scelta	
Teoria delle Interazioni Fondamentali I	Teorico/fondam		
Teoria dei sistemi a molti corpi I	Teorico/Fondam		
Teoria dei sistemi a molti corpi 2	Teorico/Fondam		
corso a scelta		INGLESE B2	3 CFU
Abilita informat e telemat	3 cfu		
totale CFU	33	totale CFU	33

I semestre	tipo	II semestre	
Astrofisica Nucl. Relativ. I	Astrof/geof/spaz	Tesi di Laurea	36 CFU
Astrofisica Nucl. Relativ. 2	Astrof/geof/spaz	Stage e tirocini obbligatori	6 CFU
totale CFU	12	totale CFU	42

Altri corsi consigliati:

Affini e Integrativi: Introduzione alla Relatività Generale; Metodi Computaz. della Fisica.
Ambito "microfisico e struttura della materia": Fisica statistica avanzata, Fisica nucleare.

Fisica statistica e teoria statistica dei campi

Keywords: meccanica statistica, fisica teorica interdiscipl, biologia quantitativa, data science. **people:** prof M.

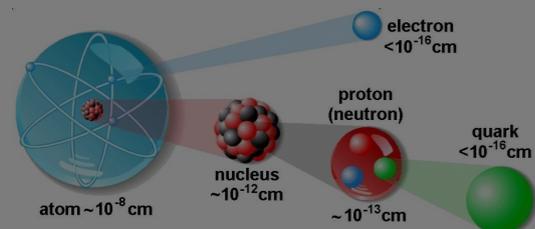
Cosentino Lagomarsino, dr. M. Gherardi, O.M.Romano e L. Calabrese (IFOM), V. Erba, P. Rotondo (Nottingh.)

Keywords: optimal matching problem, vetri di spin, matrici random, teoria di Bogoliubov e stati legati in QCD.

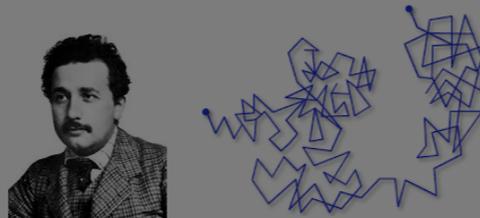
people: prof S. Caracciolo, L. G. Molinari, dr P. Rotondo, A. Di Gioacchino, V. Erba, M. Pastore, R. Fabbricatore, M. Cardella

Keywords: liquidi di Luttinger, grafene e liquidi di Dirac, isolanti topologici, many-body localization. **people:** prof. V. Mastropietro (matematica)

MODELS guide experiments and inspire THEORIES



STATISTICAL PHYSICS



Brownian Motion

(Einstein 1905,
... but also Bachelier 1900, Pearson 1905,
Rayleigh 1880)

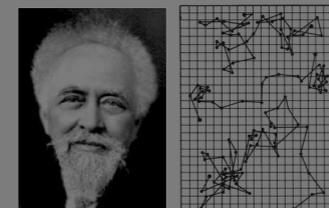
Modern Probability Theory

Central Limit Theorem:
(Feller/Levy 1935
but Lindeberg 1925, Lyapunov 1901 ...
De Moivre 1735)



Atoms, Molecules

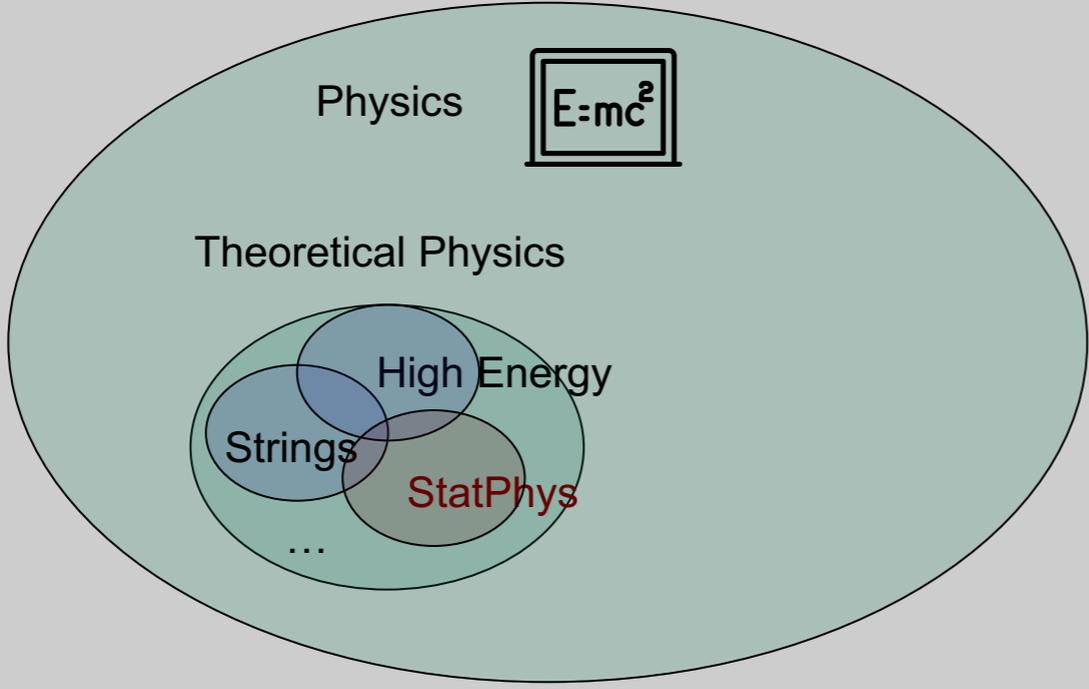
(Perrin 1909 \rightarrow Rutherford, Bohr etc.)



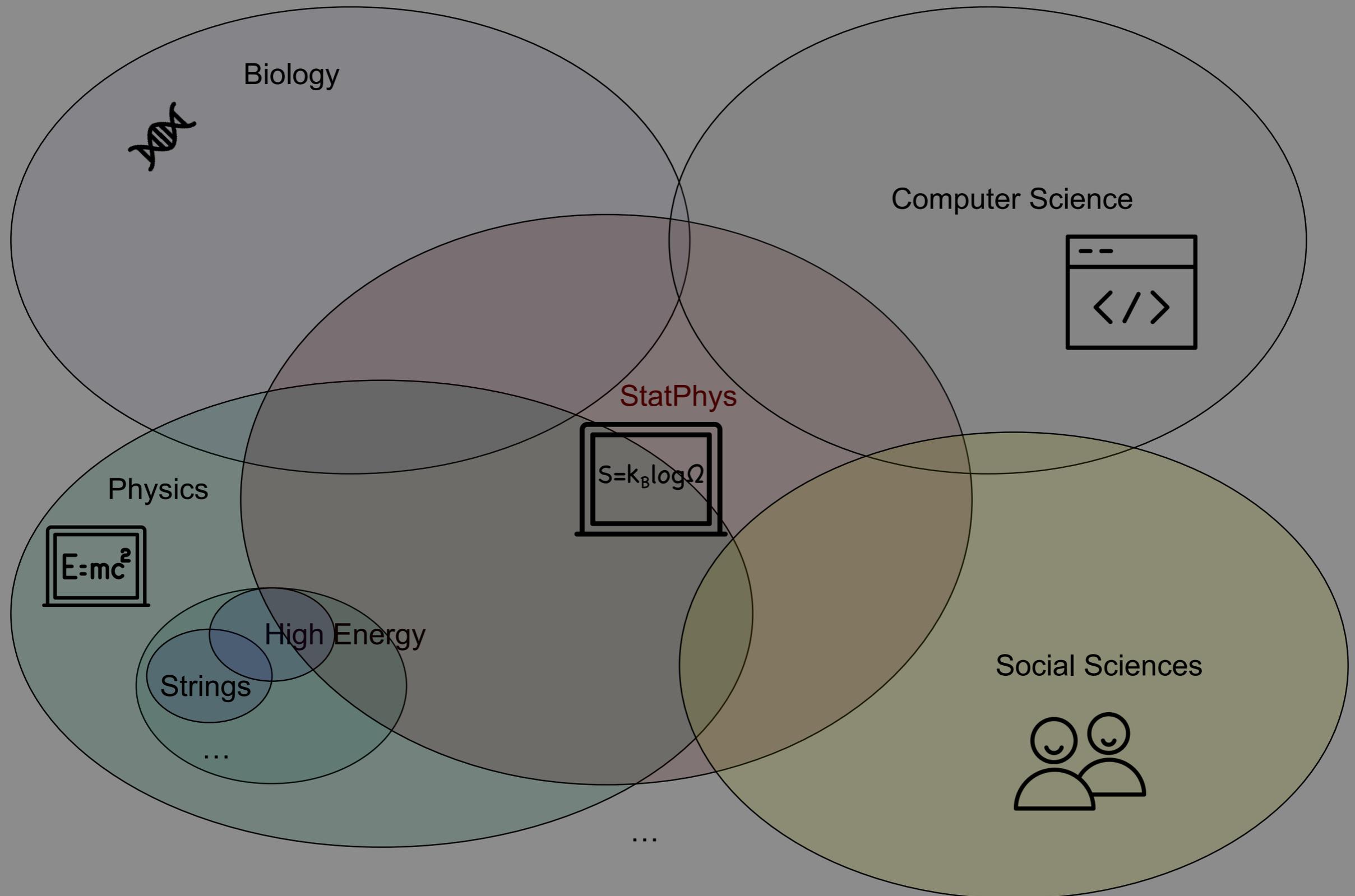
Path Integrals

(Wiener 1921, Dirac 1933
 \rightarrow Feynman 1948)





statistical physics is INTERDISCIPLINARY





AREAS:

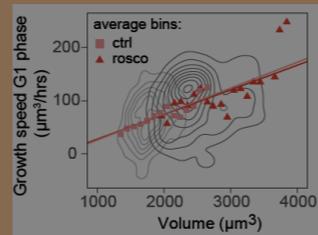
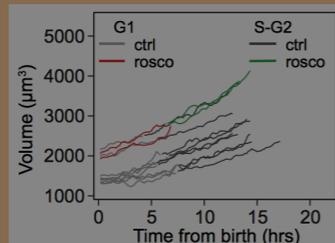
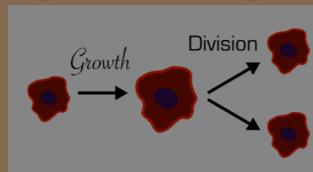
Biological Physics and Quantitative Biology
Modeling with Statistical/Soft-Matter Physics tools

Based on **statistical physics** expertise
Tight cross-disciplinary **collaborations**

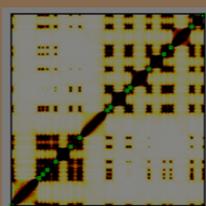
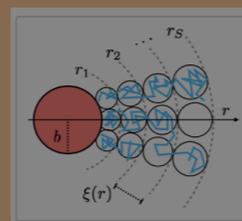
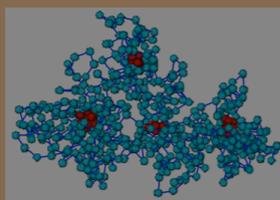
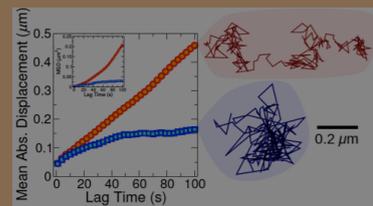
SPCG Research Lines

(1) Single-cell physiology

- cell cycle/cell growth



- chromosome dynamical organization

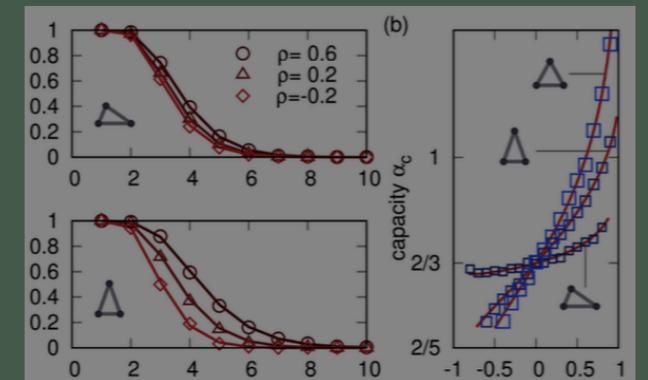
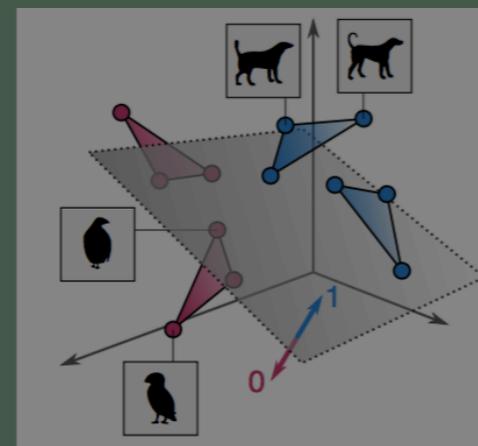


AREAS:

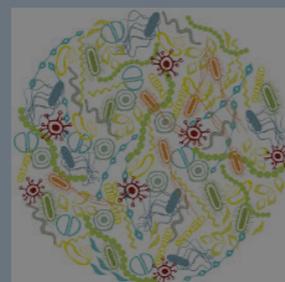
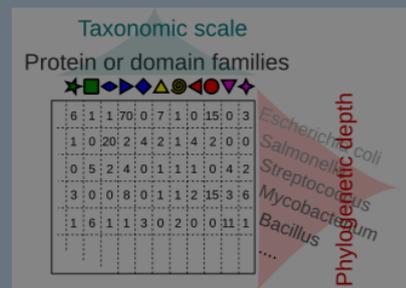
Statistical Physics of Machine Learning
Multidisciplinary Data Science / Complex Systems

TIP Research Lines

(1) Data structure ↔ machine learning algorithms

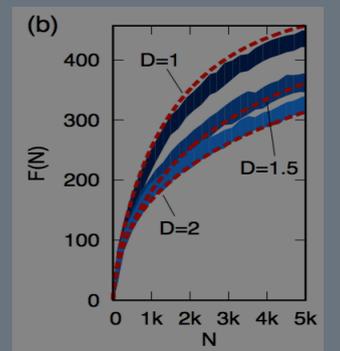
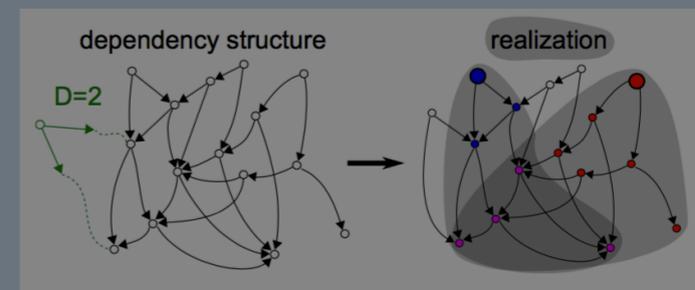


(2) Eco-evolutionary genomics of
species and communities



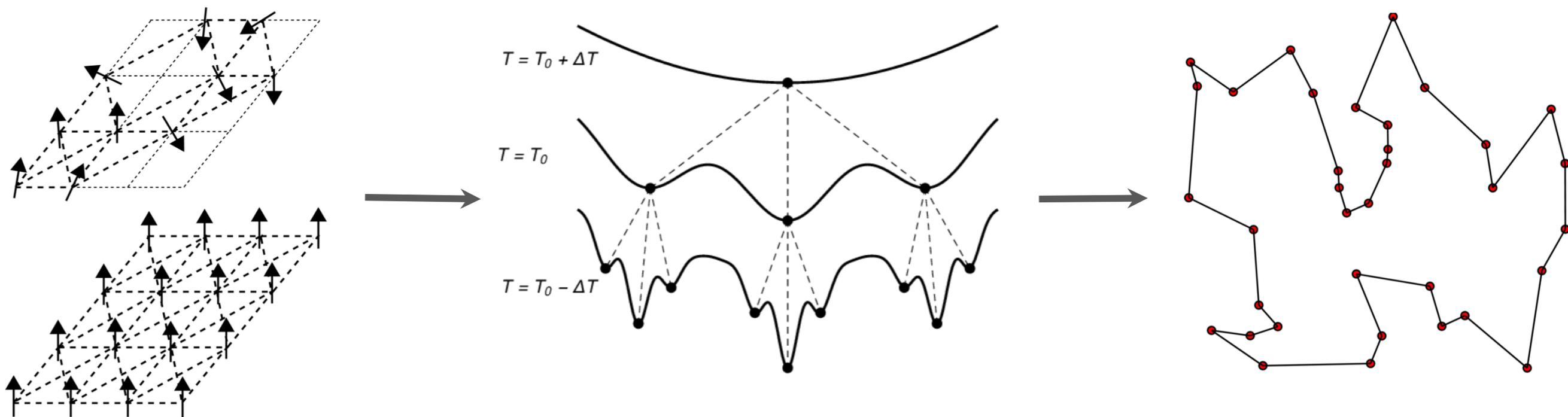
Common framework:
"component systems"

(2) Quantitative laws of technology and innovation



Sistemi disordinati - cosa facciamo?

- **Sistemi disordinati** (spin glasses) e **problemi di ottimizzazione combinatoria** (matching problem, traveling salesman problem, ...);
- Teoria della **complessità computazionale & algoritmi**;
- **Matrici Random** (e applicazioni);
- Ma anche: **quantum computing** (algoritmi), **large deviation theory**, **tecniche many-body per QFT**....



Fisica statistica e teoria statistica dei campi

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/applic	Fisica Teorica I (C)	Teorico/fondam
4 corsi a scelta		Meccanica statistica 2	Teorico/fondam
Inglese B2	3 cfu	Fisica Statistica avanzata (Galli)	microfisico/ str della mat
Abilita` informatiche e telematiche	3 cfu	2 corsi a scelta	
Totale CFU	36	Totale CFU	30
I semestre	tipo	II semestre	tipo
Fisica Teorica 2 (C)	Teorico/fond	Tesi di Laurea	36 CFU
Corso a scelta		Stage e tirocini obbligatori	6 CFU
totale CFU	12	totale CFU	42

Metodi Computaz della Fisica (II sem) / Lab Simulazione numerica (II sem)

Nella laurea triennale: Introduzione alla Fisica Statistica (oppure Meccanica Statistica 1, nella LM)

Affini e Integrativi: Biofisica, Teoria Statistica dei Campi 2, Biofisica computazionale

Ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica": Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1, Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 2, Teoria Statistica dei Campi 1,

Ambito "Microfisico e di struttura della materia": Fisica delle Proteine 1.

La scelta dei corsi

7 corsi dagli ambiti disciplinari:

- speriment/applic: Elettrodinamica
- teorico/fondamenti della fisica
- microfisica/struttura della materia
- astrof/geof/spaziale
- 3 liberi

3 corsi affini/integrativi

2 a scelta libera = 72 cfu

+3ing+3ab.inf+6tiroc+36tesi = 120 cfu

Indicazione generale per il fisico teorico:

Fisica teorica 1 e 2 oppure multi-corpi 1 e 2

(Introduzione alla Relativita` Generale)

Metodi Matematici della Fisica 2 (Geom e Gruppi 1)

Metodi Computazionali della Fisica