

Curriculum di Fisica Teorica

Referente: giampiero.esposito@unina.it

<http://www.fisica.unina.it/documents/12375590/13051689/cvTeorico.pdf>

Cosa studia la Fisica Teorica?

- Lo scopo della fisica teorica è di fornire un chiaro quadro concettuale per l'ampia varietà di fenomeni naturali, così che non solo siamo in grado di fare predizioni accurate da verificare su base osservativa (Galileo), ma anche le strutture matematiche del mondo in cui viviamo (ancora Galileo, e Newton) vengano ben comprese dalla comunità scientifica. Quali sono dunque gli elementi basilari di una descrizione teorica del mondo della fisica? Possiamo derivare tutte le equazioni di base della fisica teorica da principi di simmetria? Cosa ci dicono circa l'origine e l'evoluzione dell'universo fisico a tutte le scale?

Esempi

- La fisica teorica studia in maniera più astratta dei problemi di interesse corrente in altri rami della fisica. Ad esempio, come comprendere le interazioni radiazione-materia; come descrivere una particella carica che irraggia, dato che l'elettrodinamica classica condurrebbe a delle equazioni del moto le cui soluzioni violano la causalità.
- La fisica teorica permette di rispondere, tra l'altro, alle domande: come collegare le descrizioni della fisica a scale diverse? Cosa è una particella elementare? Cosa intendiamo per «campo classico»? E cosa è invece un «campo quantistico»?

Come scoprire nuova fisica?

- Da un lato, le macchine acceleratrici nei laboratori terrestri, in primis LHC al CERN di Ginevra.
- Ma il più grande laboratorio della fisica è ormai l'intero universo: il fondo cosmico a microonde che pervade l'intero universo, i neutrini, i raggi cosmici, le onde gravitazionali, i buchi neri, le lenti gravitazionali.
- Il modello standard della fisica delle particelle è ben verificato al CERN, ma dobbiamo ancora capire se esistono o siano esistite particelle supersimmetriche, o se stiamo cominciando a scorgere effetti non previsti dal Modello Standard.

Ricerche teoriche a Napoli in fisica delle particelle.

- Marco Chianese, «Fabio Iocco, Gianpiero Mangano, Gennaro Miele, Stefano Morisi, Ofelia Pisanti»: Fisica Astroparticellare Teorica. Cosmologia ed Astrofisica del Neutrino, Nucleosintesi Primordiale e Raggi Cosmici, Materia Oscura.
- «Pietro Santorelli, Francesco Sannino»: Fisica dei quark pesanti: decadimenti semileptonici, nonleptonici e rari di mesoni e barioni nel Modello Standard ed oltre. Violazione della simmetria CP. Fisica delle interazioni fondamentali (Higgs, fisica del sapore, materia oscura e cosmologia). Teoria dei campi quantistici: interazioni forti, teoria dei campi su reticolo, teorie di campo effettive, grandi numeri quantici, approcci semiclassici, risultati esatti con e senza supersimmetria. Transizioni di fase quantistiche e teorie conformi. Onde gravitazionali per testare nuove interazioni fondamentali. Teorie di corda, swampland e fisica dei buchi neri.

Gruppi teorici di fisica delle particelle

- «Luigi Rosa»: Energia delle fluttuazioni di vuoto del campo elettromagnetico e interazione col campo gravitazionale (esperimento Archimede in collaborazione col gruppo VIRGO). Confinamento dei quark.
- «Luigi Cappiello, Giancarlo D'Ambrosio, Francesco Tramontano»: Calcoli di precisione per il Modello Standard per i principali esperimenti; fenomenologia del quark top e del bosone di Higgs.
- «Giulia Ricciardi»: Fisica del sapore, violazione di CP, QCD teorica, fisica del neutrino, leptogenesi, fisica esotica ed estensioni del Modello Standard.

Campi, Stringhe, Gravitazione Quantistica

- All'inizio del ventesimo secolo, Albert Einstein comprende dapprima i limiti della teoria di Maxwell dell'elettromagnetismo, e poi i limiti della teoria di Newton della gravitazione. Einstein unifica spazio e tempo attraverso una varietà differenziabile a quattro dimensioni, lo spaziotempo. La sua teoria è, per costruzione, invariante per diffeomorfismi. Questi costituiscono un gruppo molto più ricco di struttura e potenzialità dei gruppi alla base della meccanica quantistica ordinaria (gruppo di Galilei) e della teoria quantistica relativistica (gruppi di Lorentz e Poincaré).
- Dunque la gravitazione di Einstein è una teoria classica, e i tentativi di quantizzarla possono richiedere un profondo ripensamento dei fondamenti di tutta la fisica.

Gravitazione Quantistica

- Si possono annoverare in letteratura non meno di 16 (invero ben di più) tentativi di costruire una teoria della gravitazione quantistica, ognuno con pregi e difetti.
- La teoria che cerchiamo potrebbe richiedere l'uso di strutture astratte, come la sostituzione delle particelle con strutture estese, le corde (o stringhe), o la considerazione di uno spaziotempo quantistico come avviene per la meccanica quantistica nello spazio delle fasi.

Gruppi napoletani

- «Raffaele Marotta, Wolfgang Muck, Franco Pezzella», Charlotte Sleight, «Massimo Taronna»: Teorie di stringa come strumento per una descrizione unificata delle interazioni fondamentali, inclusa la gravitazione. Modelli di gravità quantistica e fisica dei buchi neri. Analisi degli aspetti perturbativi e nonperturbativi delle Teorie di Superstringa. Aspetti geometrici delle teorie di stringa, con particolare riferimento alla T-dualità e alla formulazione della teoria completamente invariante rispetto ad essa. Limiti di bassa energia e teorie effettive: il programma swampland e sue congetture. Implicazioni fisiche delle teorie di campo conformi.
- «Giampiero Esposito», [Cosimo Stornaiolo]: Gravitazione classica e quantistica: implicazioni fisiche e strutture matematiche. Gruppo di Bondi-Metzner-Sachs e simmetrie asintotiche. Tomografia in cosmologia quantistica.

Gruppi napoletani (continuazione)

- Goffredo Chirco, Maxim Kurkov, «Fedele Lizzi, Patrizia Vitale» [Francesco D'Andrea, Gaetano Fiore]: Quantizzazione dello spaziotempo visto come una geometria non commutativa; Teorie di campo su spaziotempo noncommutativo con applicazioni al modello standard.
- «Giovanni Amelino Camelia», Michele Arzano, Giulia Gubitosi: dalla doubly-special relativity alla fenomenologia della gravitazione quantistica; dimensione spettrale e dimensione termica dello spaziotempo.

Sistemi Complessi e Biologici

- I sistemi a molti corpi ed i sistemi viventi, anche se scomposti nei loro costituenti elementari, restano «sistemi complessi». Gli strumenti per studiarli sono la fisica statistica, le teorie di campo e tecniche di calcolo avanzato.
- A Napoli abbiamo una grande tradizione di studi statistici, che si è rivolta ai sistemi biologici.

Linee di ricerca napoletane

- Simona Bianco, Andrea Maria Chiariello, «Mario Nicodemi»: Meccanica Statistica dei Sistemi Complessi e delle sue applicazioni alla Biologia Molecolare, combinando modelli di fisica teorica, simulazioni al computer, Machine Learning e lo sviluppo di nuove tecnologie (<http://people.na.infn.it/~nicodem>).
- «Antonio De Candia»: Meccanismi alla base dei fenomeni collettivi e critici nel cervello. Mobilità dei portatori di carica in semiconduttori, sistemi quantistici aperti e dissipativi. Arresto strutturale in vetri, colloidi e gel.

Linee di ricerca napoletane

- «Annalisa Fierro, Antonella Liccardo»: Modelli della diffusione di malattie infettive attraverso tecniche di meccanica statistica. Analisi dell'effetto della circolazione oceanica sulla dispersione delle specie negli ecosistemi marini, al fine di interpretare la biodiversità.
- «Fulvio Peruggi»: Studio dell'attività cerebrale spontanea e di apprendimento mediante modelli di reti neurali.
- «Francesco Sannino»: Modelli matematici e fisici per sistemi complessi, dall'epidemiologia alla virologia.

Nuove frontiere: informazione quantistica, computer, cifratura, ...

- «Paolo Aniello, Alioscia Hamma», [Giuseppe Marmo]: Studio dei sistemi quantistici aperti (semigruppì dinamici quantistici, master equation Markoviane e nonMarkoviane), dei canali di trasmissione quantistici e della decoerenza quantistica, con applicazioni alla teoria quantistica dell'informazione. Evoluzione di entropie quantistiche. Teoria quantistica della probabilità, teoria della misurazione quantistica, osservabili quantistiche e strumenti quantistici. Simmetrie quantistiche, rappresentazioni di gruppi di simmetria. Metodi di analisi funzionale, analisi armonica e geometria differenziale per la teoria quantistica dell'informazione. Meccanica quantistica basata sui gruppidi.
- «Giuseppe Bimonte»: Interazioni mediate da fluttuazioni quantistiche e classiche del campo elettromagnetico; effetto Casimir, trasporto radiativo di calore, emissione termica di nanostrutture.

Nuove frontiere

- «Fedele Lizzi, Patrizia Vitale»: Deformazione della geometria (transizione classico-quantistico), teorie di campo con prodotti alternativi.
- «Vincenzo Ferone», [Guido Trombetti]: Problemi di ottimizzazione su classi di funzioni con assegnato riordinamento; risultati di confronto per soluzioni di equazioni alle derivate parziali; minimizzazione di funzionali; esistenza e regolarità per soluzioni di equazioni ellittiche non lineari; disequaglianze isoperimetriche.

Didattica della fisica

- L'insegnamento nelle scuole di ogni ordine e grado resta una delle missioni più importanti. Qui a Napoli non solo prepariamo insegnanti, ma facciamo anche ricerca sull'insegnamento.
- «Emilio Balzano»: Strategie per l'insegnamento e apprendimento, e modelli per la formazione degli insegnanti.
- «Italo Testa»: Progettazione e validazione di sequenze didattiche per la scuola secondaria superiore e per la formazione degli insegnanti.

Obiettivi del Curriculum Teorico

- Formare studenti che abbiano una conoscenza approfondita delle principali tematiche della Fisica Teorica moderna e padronanza di moderne tecniche per la soluzione dei problemi ad esse relativi.
- Far acquisire particolari capacità di utilizzare le conoscenze per l'interpretazione e la previsione del comportamento di sistemi complessi.

Percorsi post laurea

- Dottorato di Ricerca in Italia o all'Estero
- Ricerca in enti pubblici e privati
- Insegnamento nella scuola
- Inserimento in realtà lavorative che abbiano necessità di personale capace di creare modelli e risolvere problemi complessi (economia, finanza, banche, compagnie assicurative)

Corsi della laurea magistrale

- La laurea magistrale si articola su 2 anni, come segue:
- PRIMO ANNO:
- Elettrodinamica classica (9 CFU)
- Laboratorio di Fisica (10 CFU)
- Meccanica Quantistica (9 CFU)
- Meccanica Statistica (9 CFU)
- Teoria Quantistica dei Campi (8 CFU)
- Insegnamento a scelta nell'elenco A (8 CFU)
- Totale: 53 CFU e 6 esami

Corsi della laurea magistrale

- SECONDO ANNO:
- Insegnamento a scelta nell'elenco A (8 CFU)
- Insegnamento a scelta autonomo (8 CFU)
- Insegnamento a scelta autonomo (8 CFU)
- Altre attività (2 CFU)
- Esame finale (41 CFU)
- Totale: 67 CFU, 3 esami

Esami teorici nell'elenco A (qui solo quelli tra i quali si possono indicare i 2+2 esami a scelta)

- 1. Fisica teorica delle interazioni fondamentali (8 CFU)
- 2. Cromodinamica perturbativa applicata (8 CFU)
- 3. Fisica astroparticellare teorica (8 CFU)
- 4. Relatività generale e gravitazione (8 CFU)
- 5. Introduzione alla gravità quantistica (8 CFU)
- 6. Teoria delle stringhe (8 CFU)
- 7. Teoria classica dei campi (8 CFU)

Corsi della laurea magistrale

- 8. Teoria dei gruppi e applicazioni (8 CFU)
- 9. Complementi di metodi matematici per la fisica (8 CFU)
- 10. Teoria statistica dei campi (8 CFU)
- 11. Sistemi complessi (8 CFU)
- 12. Modellizzazione dei sistemi biologici (8 CFU)
- 13. Metodi numerici per la fisica (8 CFU)
- N.B.: i 2 insegnamenti a scelta autonoma possono attingere all'elenco A ora sintetizzato, oppure ai corsi di Matematica, oppure ad un qualunque corso di laurea della Federico II.

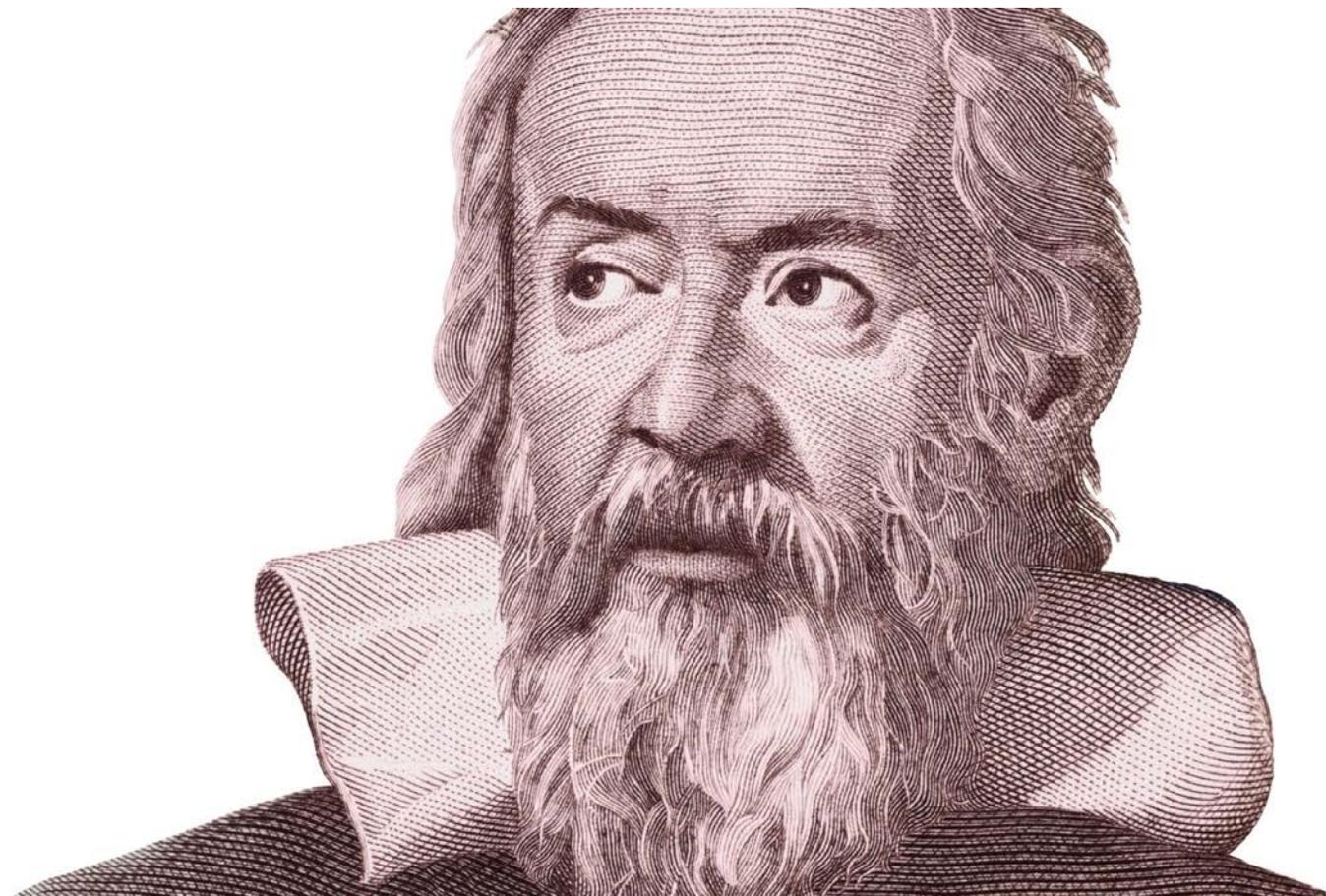
Possibili criteri per selezionare gli esami a scelta

- Affinità agli interessi di ricerca primari, che sfociano nella tesi (questo vi rende molto competenti in tutte le tematiche inerenti alla tesi).
- Complementarità: scegliere di apprendere anche argomenti molto diversi, onde acquisire una visione a 360 gradi della fisica teorica. Questa scelta può ripagare nel lungo termine.

Esempi di percorsi (le associazioni possibili sono molte di più)

- Esami 1. & 2. & 13. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 3. & 1. & 13. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 4. & 5. & 6. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 7. & 8. & 9. & a Matematica/opp. altro CL
- Esamo 7. & 4. & 5. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 10. & 11. & 12. & a Matematica/opp. altro CL
- Esempi di corsi di Matematica: Analisi funzionale, Calcolo delle variazioni, Equazioni differenziali alle derivate parziali, Geometria algebrica.

Scienziati ai quali ispirarci: Galileo Galilei



Isaac Newton



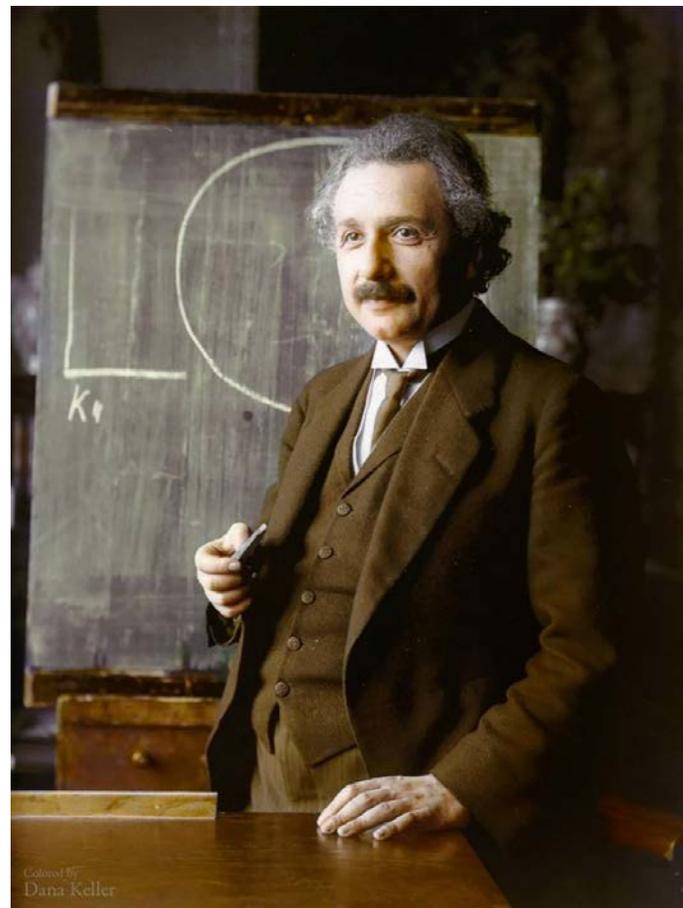
James Clerk Maxwell



Max Planck



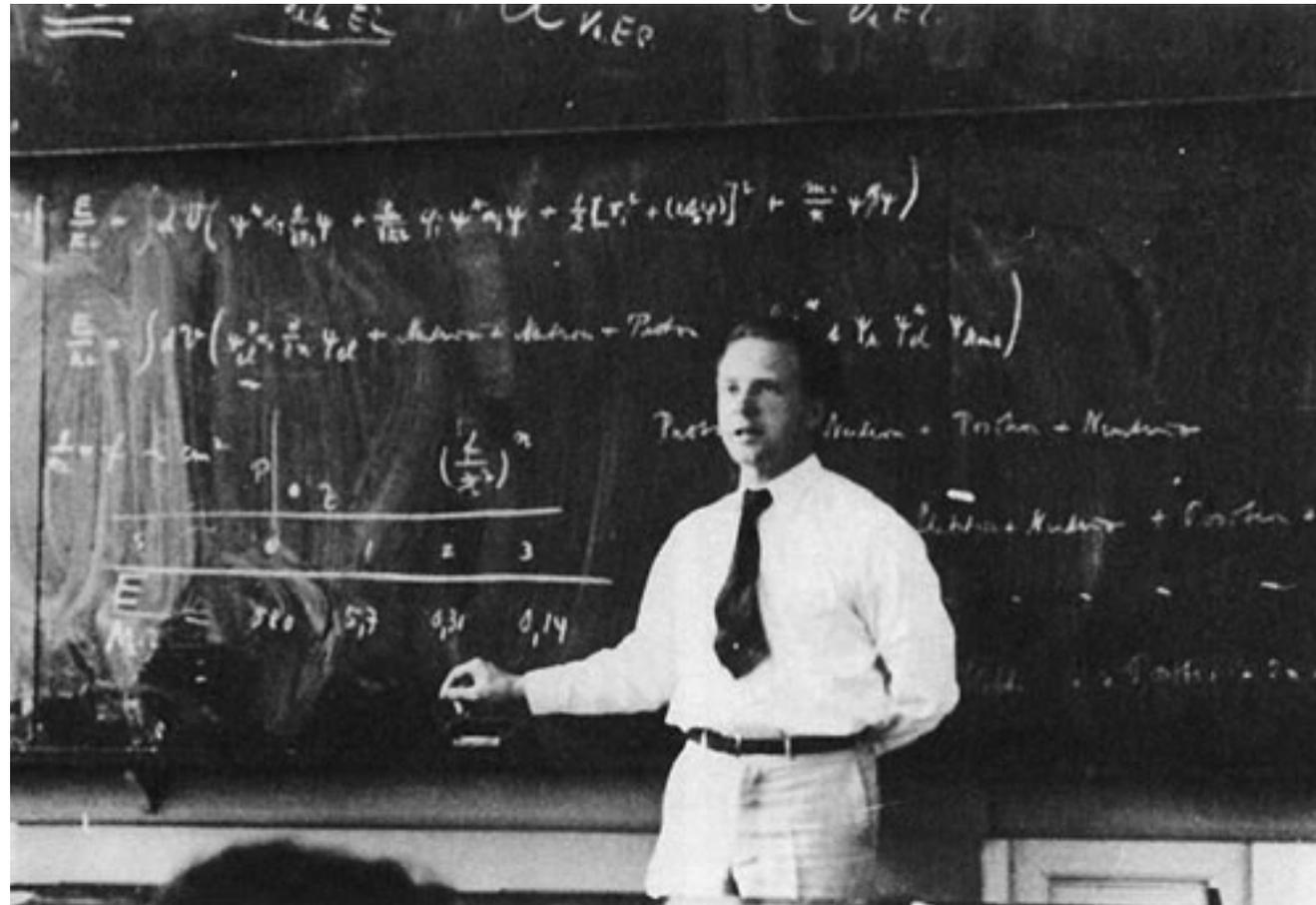
Albert Einstein



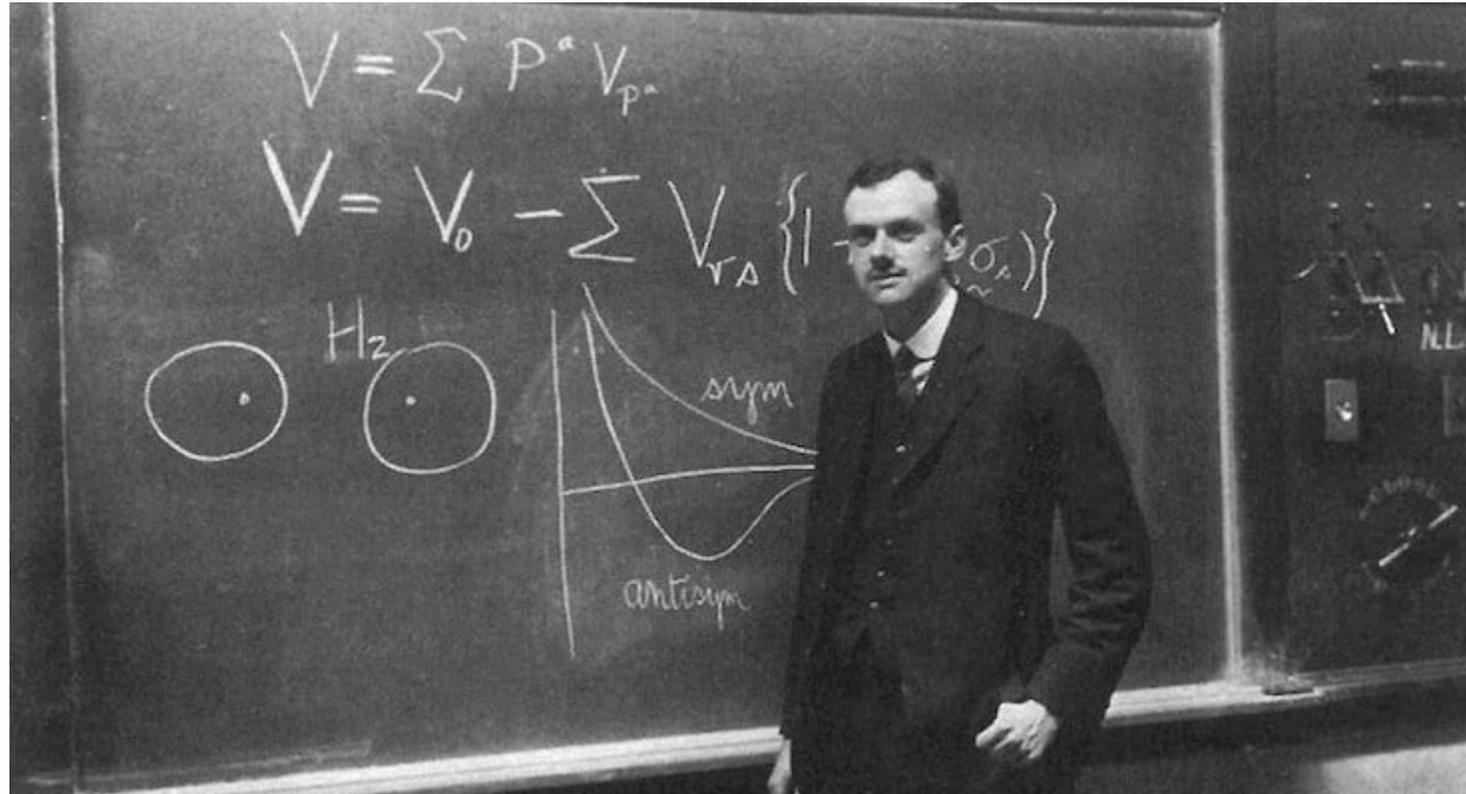
Erwin Schrodinger



Werner Heisenberg



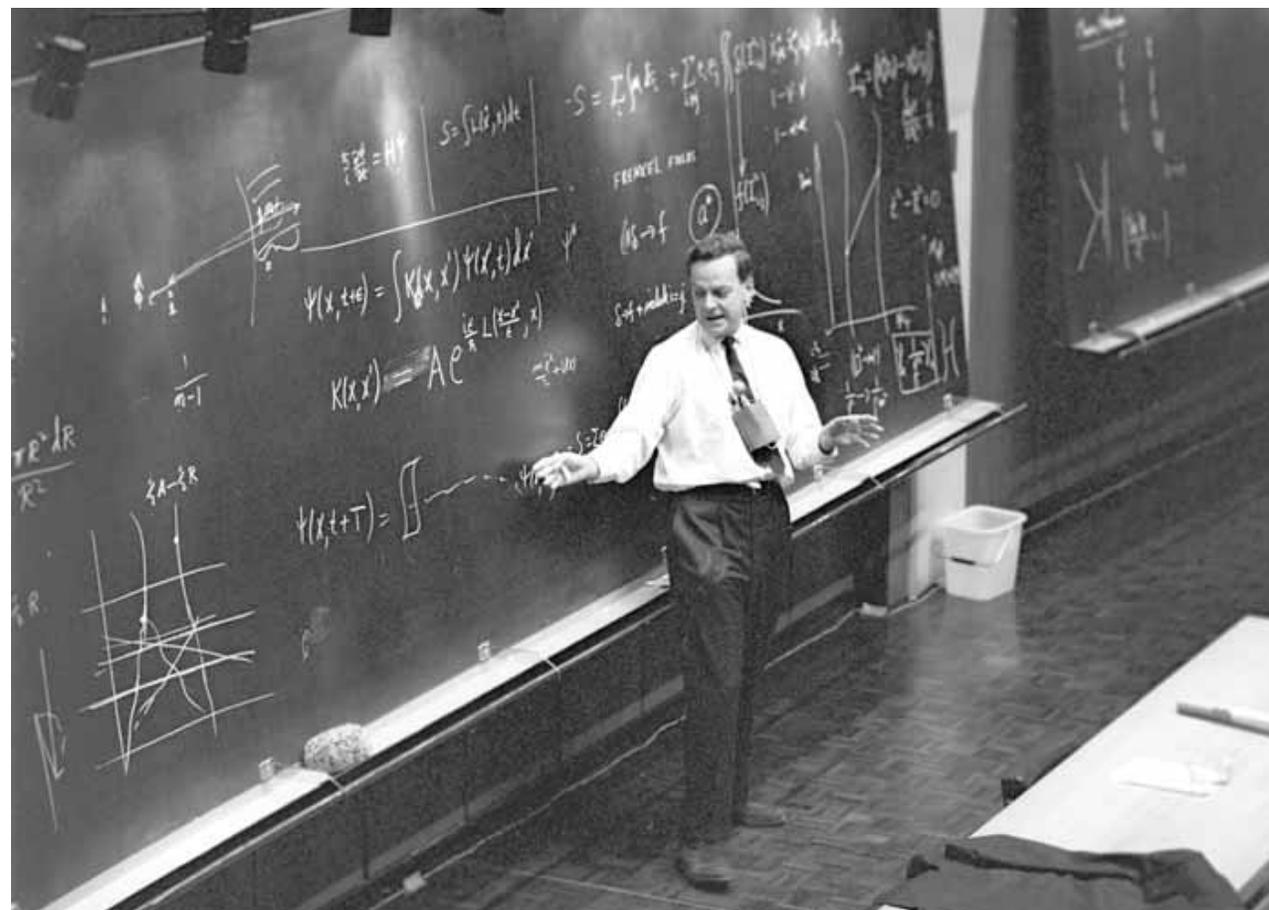
Paul Adrien Maurice Dirac



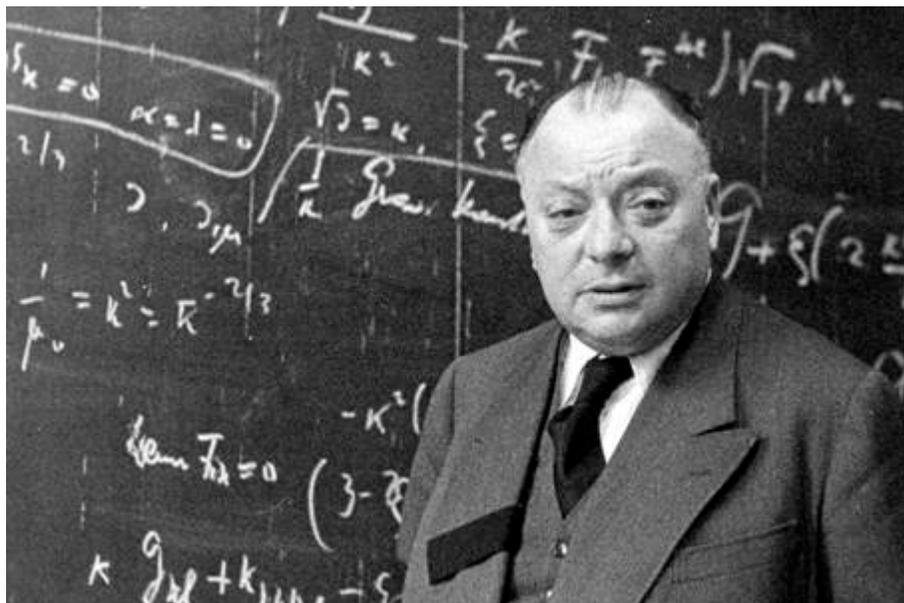
Hermann Weyl



Richard Feynman



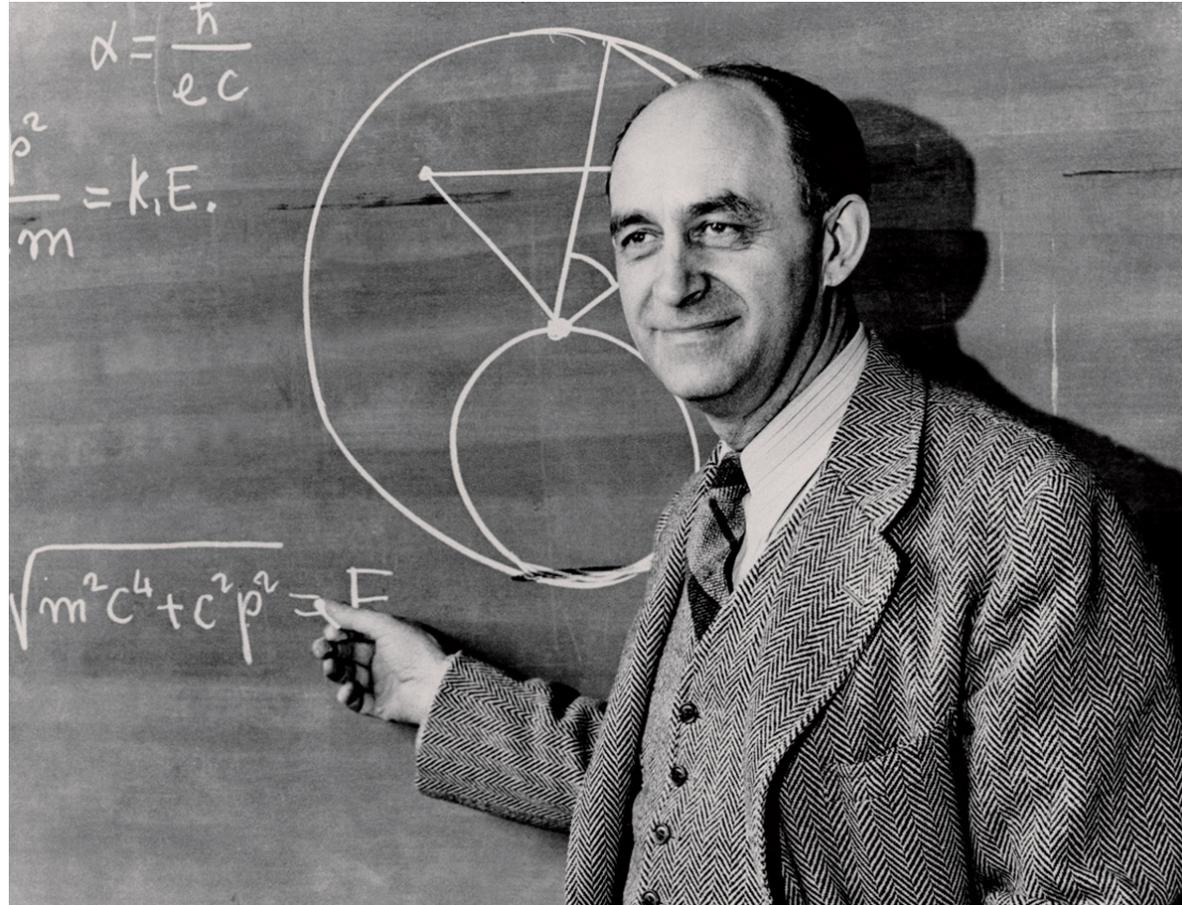
Wolfgang Pauli



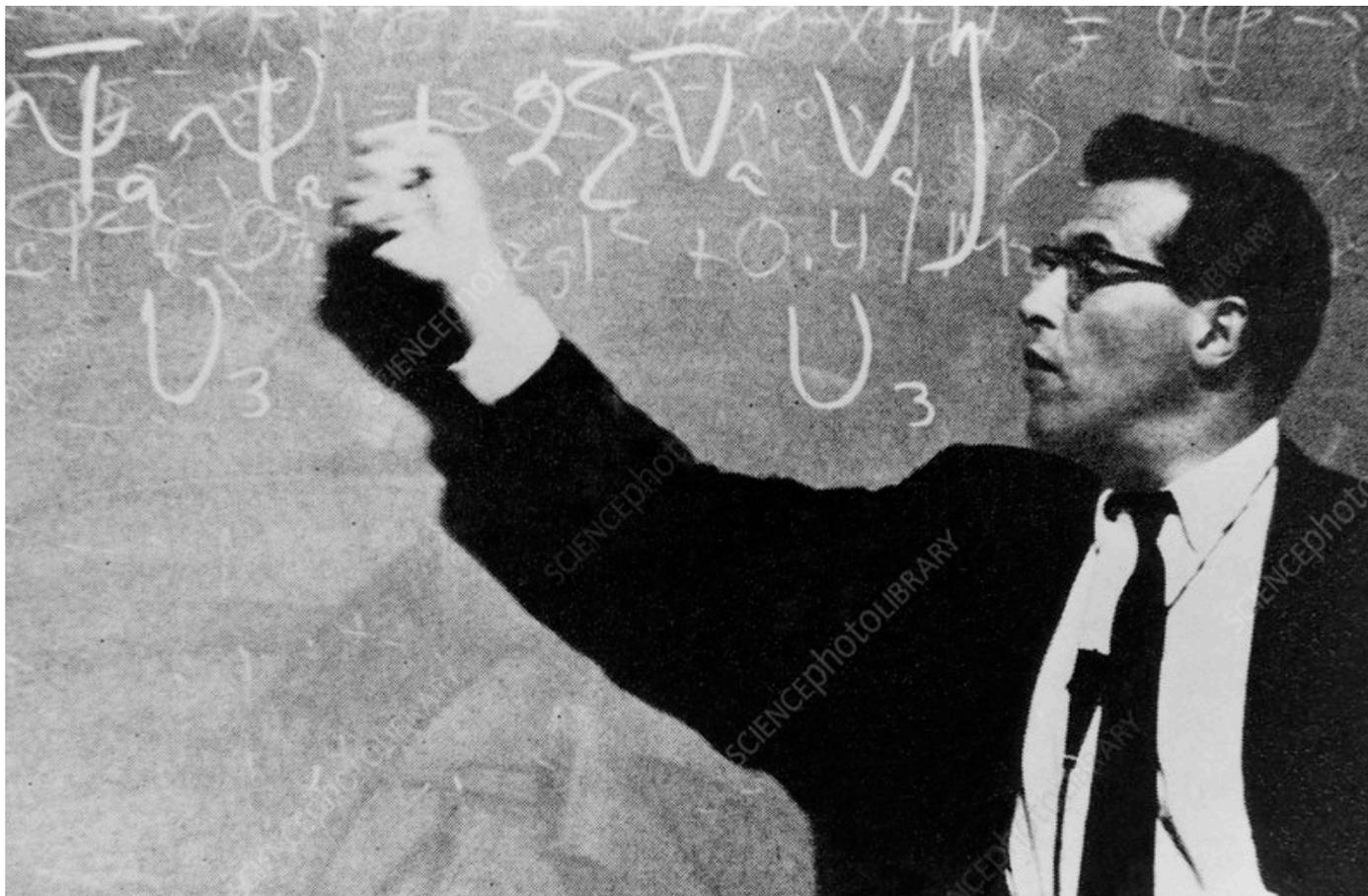
Ludwig Boltzmann



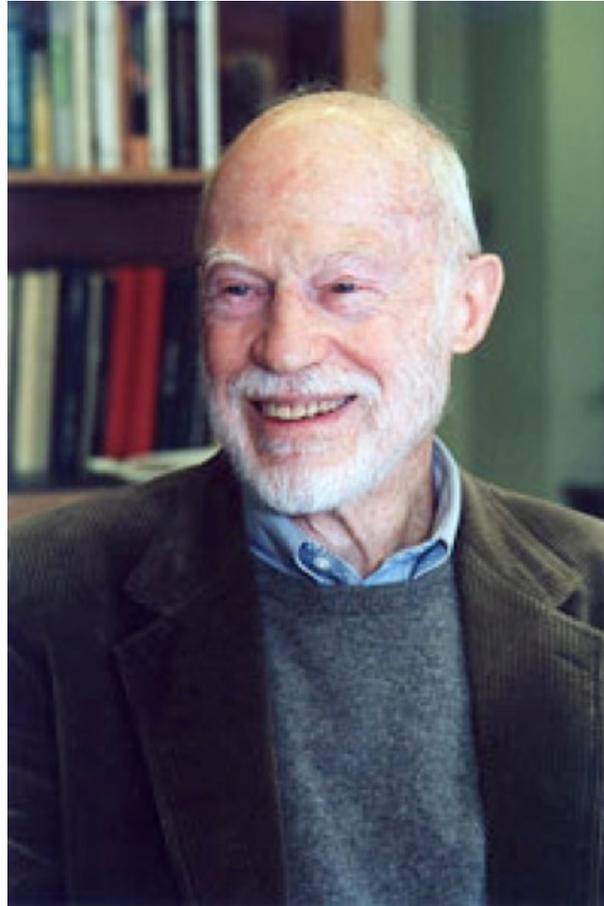
Enrico Fermi



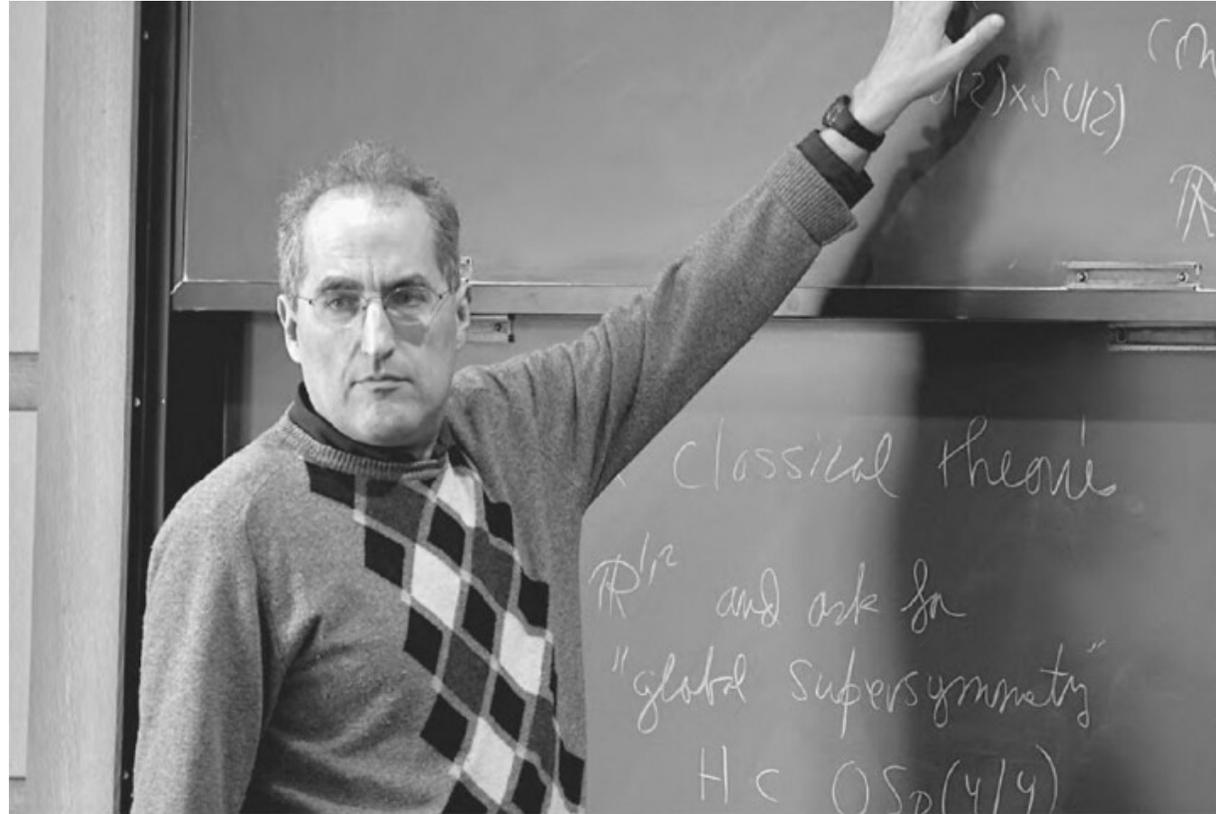
Julian Schwinger



Bryce Seligman DeWitt

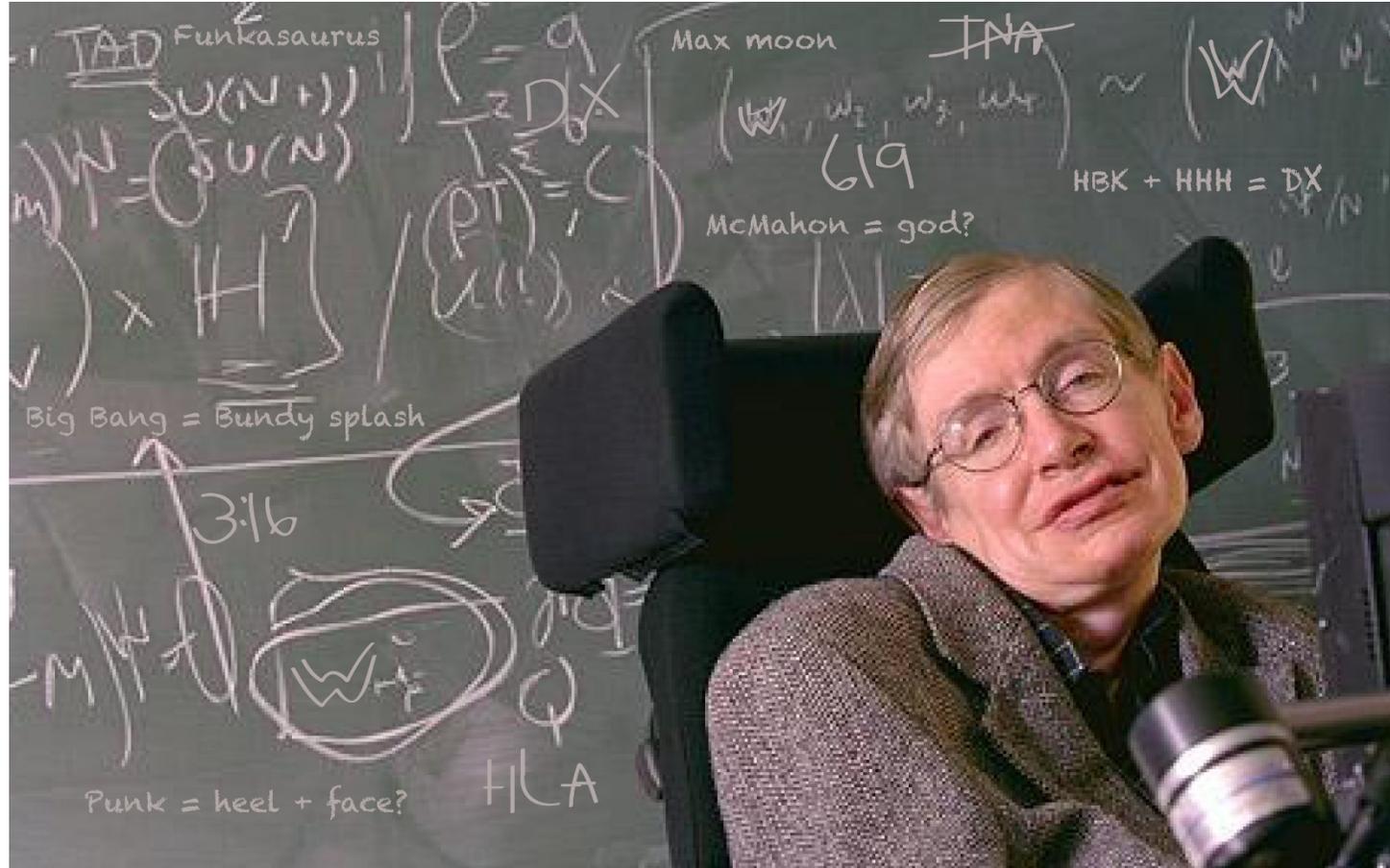


Edward Witten



Edward Witten at the Institute for Advanced Study (Photo by Cliff Moore)

Stephen Hawking



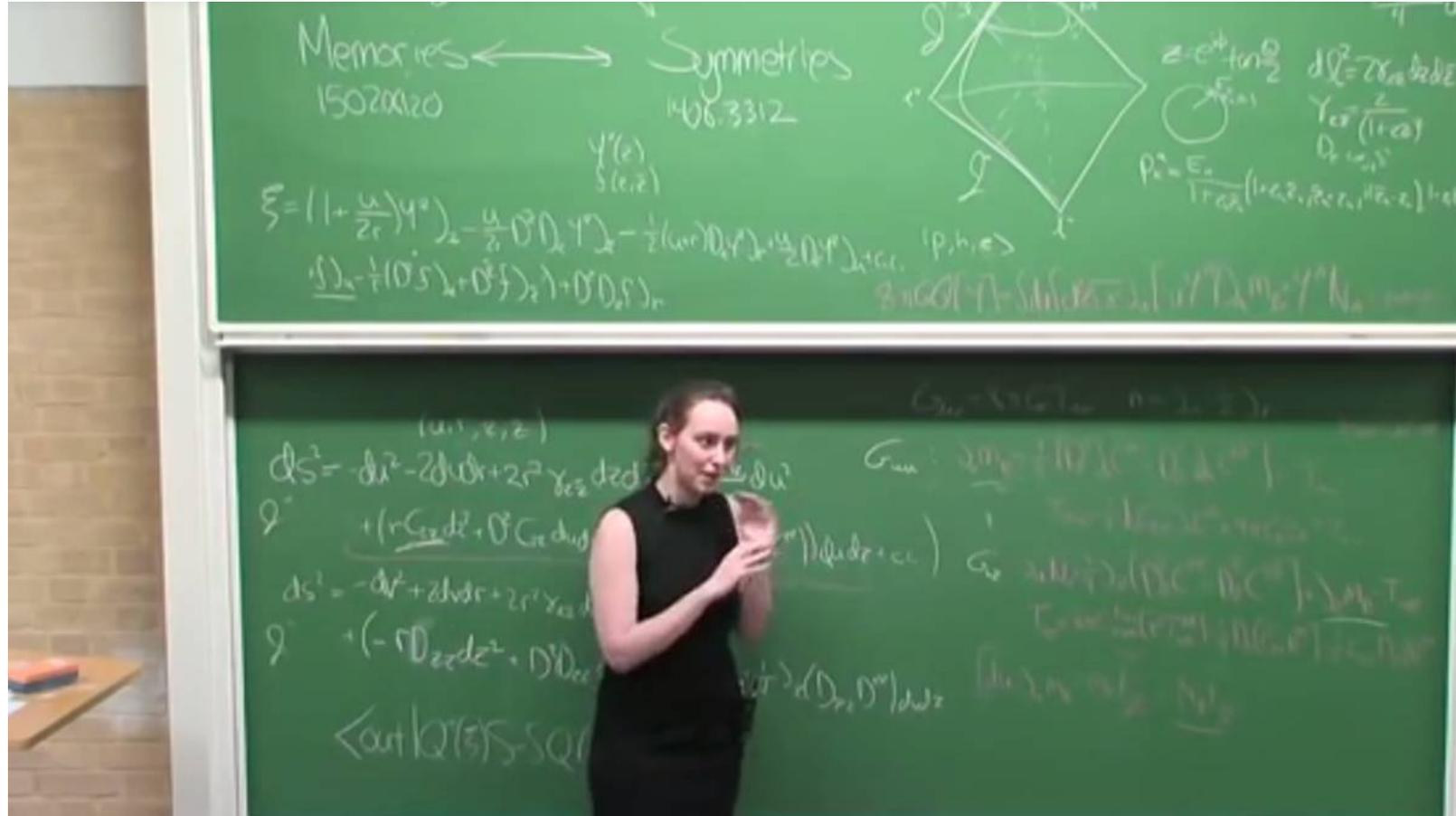
Sofia Kovalevskaya



Yvonne Choquet-Bruhat



Sabrina Pasterski

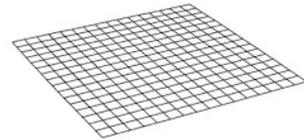


Laura Donnay

A surprise in flat spacetime

The BMS symmetries [Bondi-Metzner-van der Burg; Sachs, '62]

Minkowski metric (flat spacetime) in 4D



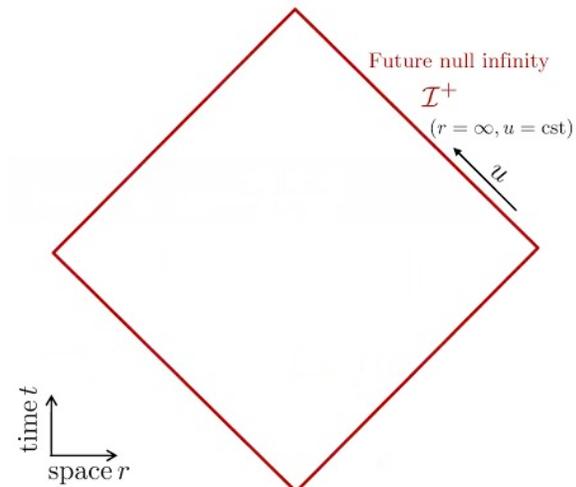
The geometry is described by the line element

$$ds^2 = -dt^2 + dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$$

(measure of distance in flat spacetime)

$$ds^2 = -du^2 - 2dudr + 2r^2\gamma_{z\bar{z}} dzd\bar{z}$$

$u = t - r$: 'retarded' null time



Penrose diagram of Minkowski: the space is compactified, the causal structure being preserved



E al tirar delle somme ... Benvenuti!

