

Il punto di vista della CSN2

O. Cremonesi

INFN - Sez. Milano Bicocca

Workshop Gravitazione Sperimentale - 12-13/11/2020

WORKSHOP ONLINE SULLA GRAVITAZIONE SPERIMENTALE

MISURE LASER, FISICA FONDAMENTALE E APPLICAZIONI IN INFN-CSN2*

<https://agenda.infn.it/event/24144/>

Il Workshop si focalizza su tre esperimenti di fisica della gravitazione che utilizzano il laser come strumento per ottenere delle misure di fisica fondamentale di notevole precisione e accuratezza: GINGER, MoonLIGHT-2 e SATOR-G.

Sarà presentato lo stato dell'arte delle attività sperimentali, tecnologiche, di modellizzazione e di misura dei tre esperimenti, evidenziandone prospettive future e rilevanza nell'ambito delle misure di fisica della gravitazione in campo debole.

Saranno evidenziate le collaborazioni scientifiche attuali fra i tre esperimenti con altre comunità nazionali e internazionali, nonché le sinergie fra i tre esperimenti e i possibili temi di collaborazione. Infine la navigazione satellitare, attraverso l'uso scientifico della costellazione europea GNSS Galileo, sarà punto di dibattito.

12-13 NOVEMBRE 2020

SOC, G. Bianco, S. Dell'Agnello, A. Di Virgilio, D. Lucchesi, L. Porcelli

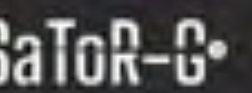
GINGER: Osserva con grande accuratezza la velocità angolare della Terra attraverso un insieme di girevoli laser basati sull'effetto Sagnac. L'obiettivo è tentare le possibili violazioni di Lorentz e misurare l'effetto di Relatività Generale Lense-Thirring da una determinata latitudine e senza utilizzare una mappa del campo gravitazionale.



MOONLIGHT-2: Tramite il tracking laser l'esperimento misura la distanza fra Terra e Luna e fra altri corpi del sistema solare con conseguenti misure nel campo della fisica fondamentale, quali la misura dei vincoli sulla gravitazione nel tempo di G, la verifica della validità del principio di equivalenza, la misura della precisione geodetica e la verifica della legge dell'inverso del quadrato della distanza per l'interazione gravitazionale.



SATOR-G: Studia l'inseguimento laser di alcuni satelliti passivi utilizzati principalmente per lo studio della Terra. L'obiettivo principale dell'esperimento è quello di evidenziare possibili effetti di fisica non-einsteiniana confrontando le predizioni della Relatività Generale con quelle di altre teorie della gravitazione.



(*1) COMMISSIONE SCIENTIFICA NAZIONALE 7 - ESPERIMENTI DI FISICA ASTROPARTICELLARE

Outline

- L'organizzazione della CSN2
- Relatività Generale e Fisica Quantistica
- Perché un workshop sulla Gravitazione Sperimentale

Astro-particle Physics

- A rich variety of primary interest scientific items
- Strong multidisciplinary
- Many ideas and a large number of proposals
- **4 main research lines**
 - Dark Universe
 - Radiation from the Universe
 - Neutrino properties
 - General Relativity and Quantum Physics
- A large number of project at different stages:
 - technological R&D (synergy with CSN5)
 - scientific developments (CDR)
 - ready for construction:
 - demonstrators
 - experiments

CSN2 projects

COSINUS
CRESST
CYGNO
DAMA
DARKSIDE
EUCLID
MOSCAB
NEWS
SABRE
XENON

Dark Universe

ARCHIMEDES
ET
FISH
G-GRANSASSO
HUMOR
LISA
MEGANTE
MOONLIGHT2
QUAX
SATOR_G
SUPREMO
VIRGO
VMBCERN

General Relativity Quantum Physics

AMS2
AUGER
CTA
EUCLID
FERMI
GAPS
HERD_DMP
IXPE
LIMADOU
LITEBIRD
LSPE
QUBIC
SPB2

Cosmic Radiation

BOREX
CUORE
CUPID
GERDA
HOLMES_2
ICARUS
JUNO
KM3
LVD
NUCLEUS
NU_AT_FNAL
PTOLEMY
T2K
TRISTAN

Neutrino Properties

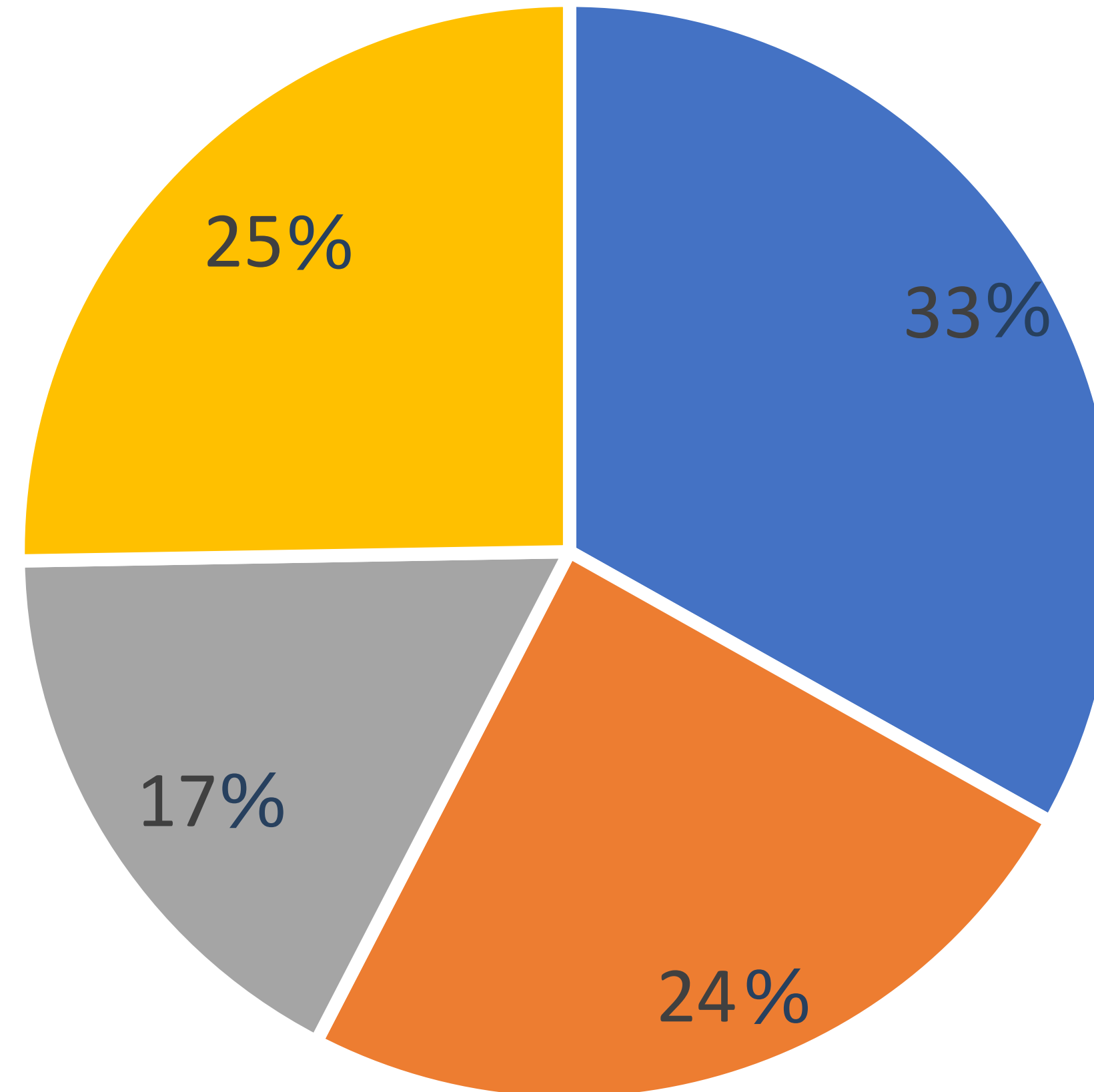
FTE

General Relativity and Quantum Physics

	Personne	FTE
GR	85%	85%

Dark
Universe

Researchers 2020
922 FTE



Cosmic
radiation

Neutrino
Properties

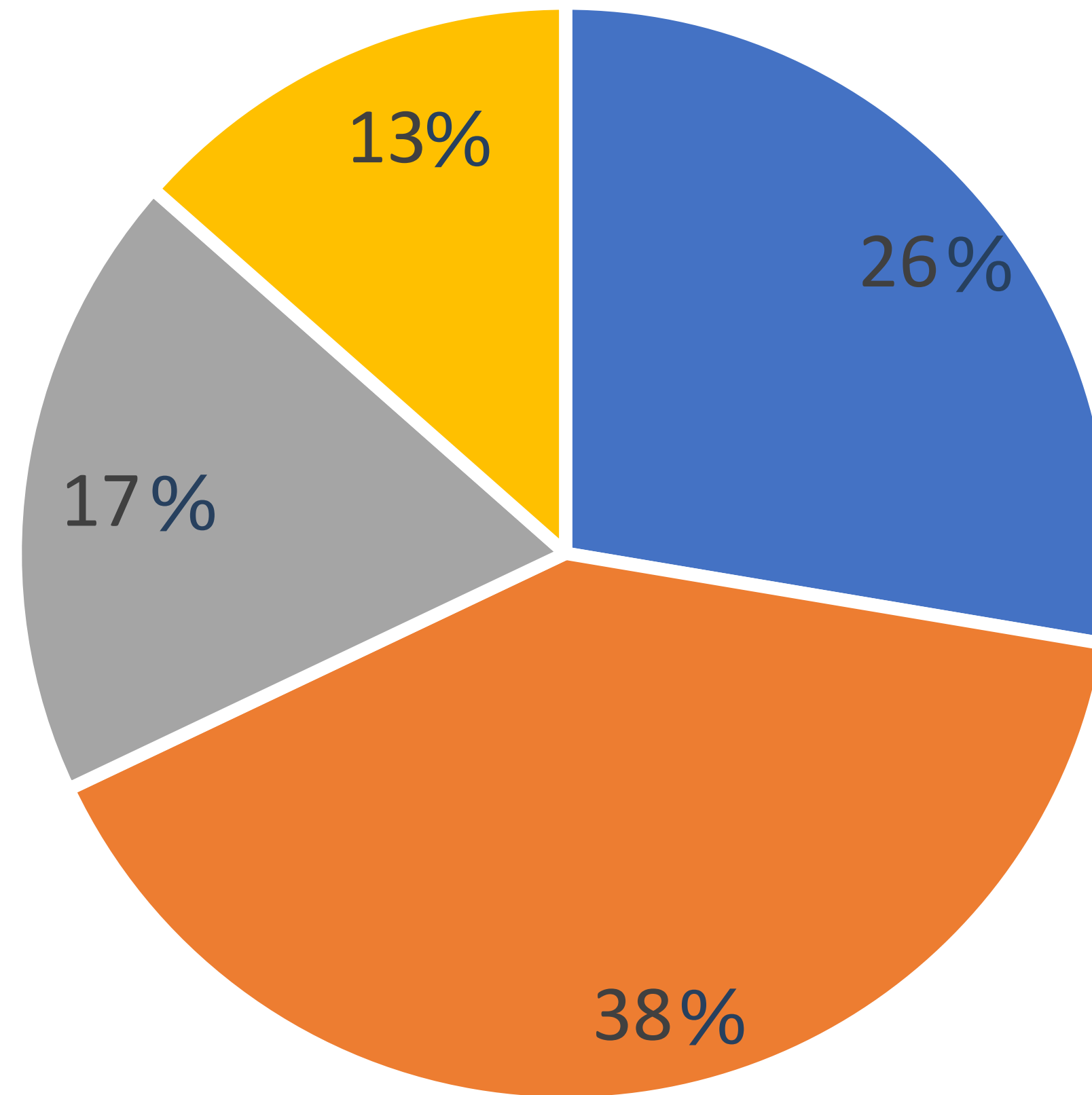
Budget share

General Relativity and Quantum Physics

	Total	Travel
GR	80%	92%

Dark
Universe

Budget 2020
by research line



Cosmic
radiation

Neutrino
Properties

General relativity and Quantum Physics

ET
LISA
VIRGO

Gravitational Waves

FISH
HUMOR
QUAX
SUPREMO
VMBCERN

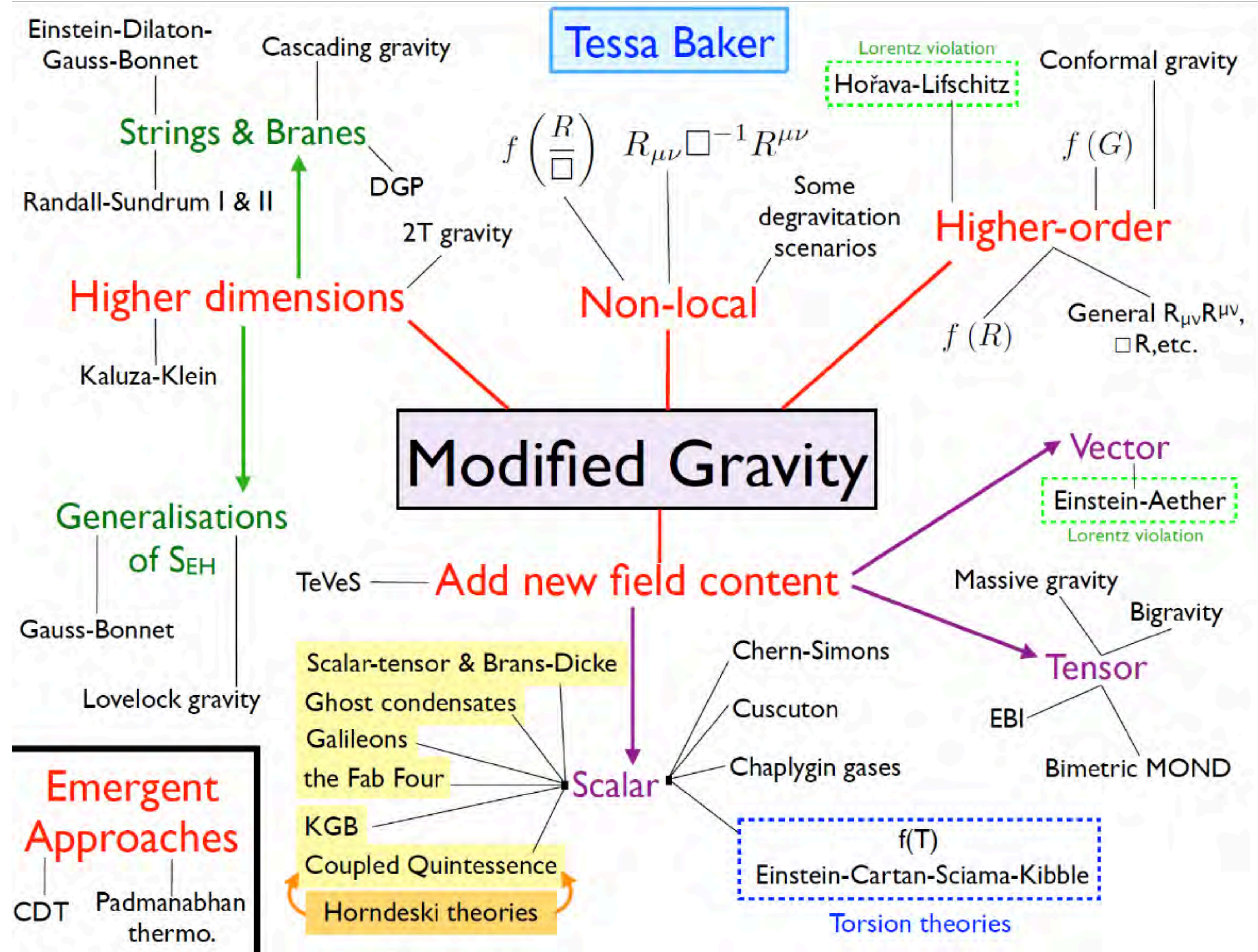
Quantum Physics

G-GRANSASSO
MOONLIGHT-2
SATOR_G
ARCHIMEDES_2
MEGANTE

Gravitation

Un'intricata foresta

- Relatività Generale (GR):
 - teoria standard della gravitazione
- Problemi:
 - non è rinormalizzabile
 - non spiega l'esistenza di materia ed energia oscura
- (Molte) possibili estensioni
 - devono modificare GR (ad alte e/o basse energie) mantenendo la consistenza ad energie intermedie
- Come districarsi?
 - servono strategie ...
 - e un pò di chiarezza



Principio di equivalenza di Einstein (EEP)

- Principio di equivalenza debole (WEP)
- Invarianza di Lorentz locale (LLI)
- Principio di invariata di Lorentz (LPI)

Il risultato di qualsiasi esperimento non gravitazionale in un laboratorio in caduta libera è indipendente dalla velocità del laboratorio e dalla sua posizione nello spazio-tempo.

- Se vale EEP, allora la gravità è descritta da una teoria metrica (GR)

- Test GR \Leftrightarrow Test EEP \Leftrightarrow Test WEP, LLI, LPI

Principio di equivalenza forte (SEP)

- Estende le ipotesi di EEP anche a esperimenti di tipo gravitazionale

Il risultato di qualsiasi esperimento locale (gravitazionale o meno) in un laboratorio in caduta libera è indipendente dalla velocità del laboratorio e dalla sua posizione nello spaziotempo.

- Se vale SEP, allora la gravitazione è espressa dalla sola metrica g
- GR sembra essere l'unica teoria che incarna completamente SEP

Verifiche di SEP

- Teorie scalari-tensoriali (Cassini)
- Precessione del perielio di Mercurio (Mercury MESSENGER)
- Effetto Nordtvedt, che consiste nella polarizzazione dell'orbita di un binario sistema in presenza di un terzo corpo (LLR)
- Distorsione di corpi massicci
- Variazione di G (o $m_{\text{particelle}}$) su tempi scala T_{Universo}

- Effetti gravitazionali post-Newtoniani
 - effetti relativistici in presenza di corpi rotanti
 - precessione di de Sitter
 - leggi di conservazione nella gravità post-newtoniana

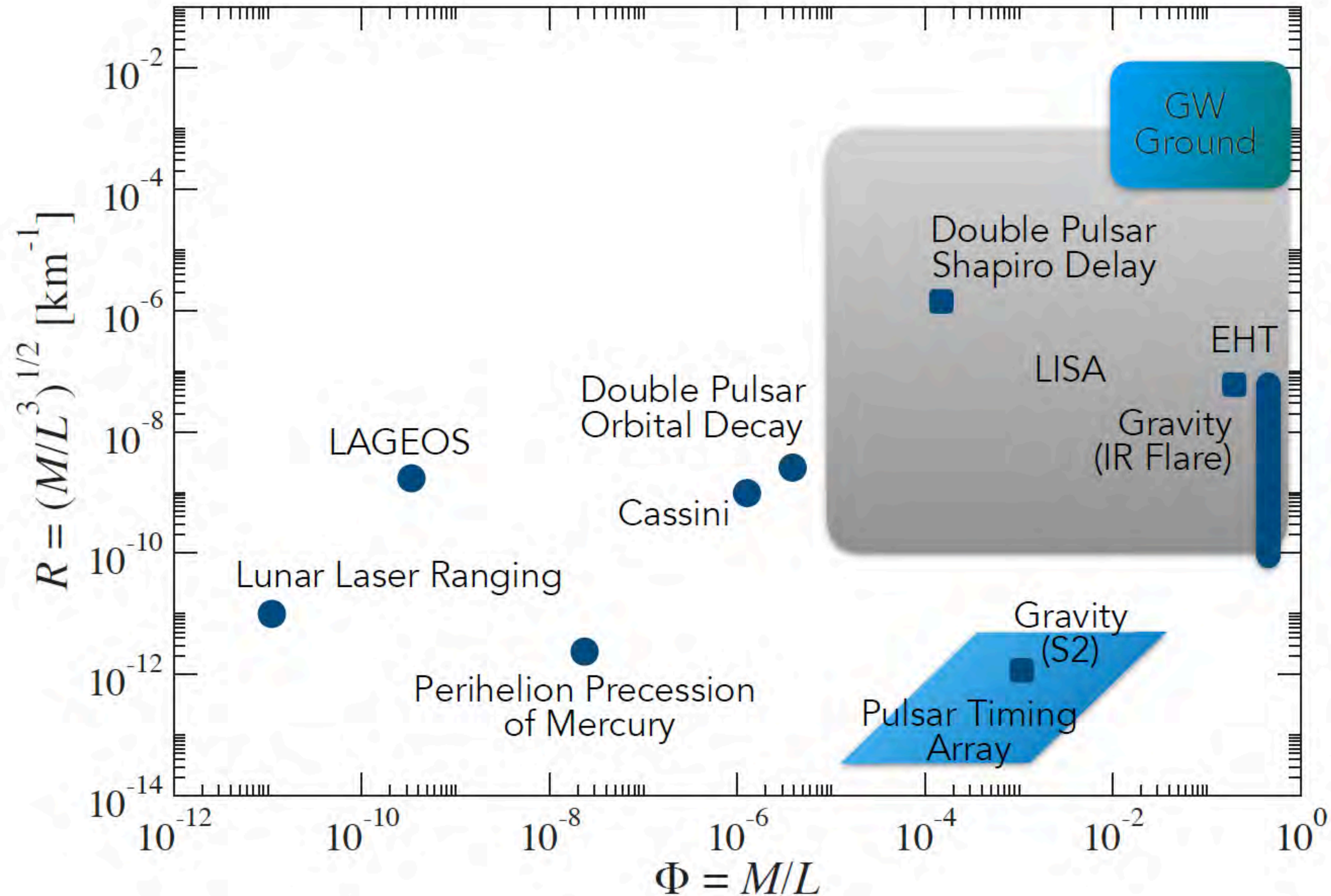
Campi forti

Sistema solare: esperimenti sondano regime di campo debole e velocità ridotte

"Campo forte": Sistemi con oggetti fortemente relativistici (NS, BH)

- Dinamica influenzata da emissione di GWs
- Moto orbitale altamente relativistico
- Gli esperimenti sondano meccanismi di generazione e di propagazione

Phys. Rev. D 94, 084002



Onde gravitazionali

- Difficile costruire modelli GW sufficientemente accurati per l'analisi dei dati
- In particolare manca una valida alternativa a GR
- ➔ Test generici di GR con i dati disponibili
 - GR come ipotesi nulla e si ricercano deviazioni generiche
 - Verifica struttura PN della fase dell'onda
 - Parametrizzazione GR dell'onda ed inferenza bayesiana per trovare i parametri PN
 - mappatura dei parametri nell'ambito di teorie specifiche (se disponibili)
- due classi: generazione e propagazione

Situazione CSN2

▶ Onde Gravitazionali

- VIRGO:

- O3 completato
- preparazione di O4 e O5 in corso con continui miglioramenti della sensibilità

- Sostegno ai futuri programmi di osservazione delle GW

- ET:

- Caratterizzazione e promozione del sito Sardo (ARCHIMEDES)
- ESFRI application

- LISA: attualmente in Fase A verso l'adoption nel 2023-2024

▶ Sistema solare

- G-GRANSASSO-RD propone di continuare il cammino scientifico di Gingerino

- risultato tecnologico significativo
- possibilità di misurare l'effetto Lense-Thirring "da terra"

- Laser ranging

- SATOR_G, MOONLIGHT_2:

- verifiche accurate in campo debole
- Lense-Thirring misurato con errore sistematico dell'ordine del per cento

Potential

**General Relativity and
Quantum Physics**

**Cosmic
radiation**

All research lines are
characterized by a high
potential for discovery

with leading experiments

**Dark
Universe**

**Neutrino
Properties**

Potential

**General Relativity and
Quantum Physics**

**Cosmic
radiation**

Balance in terms of potential and
relevance

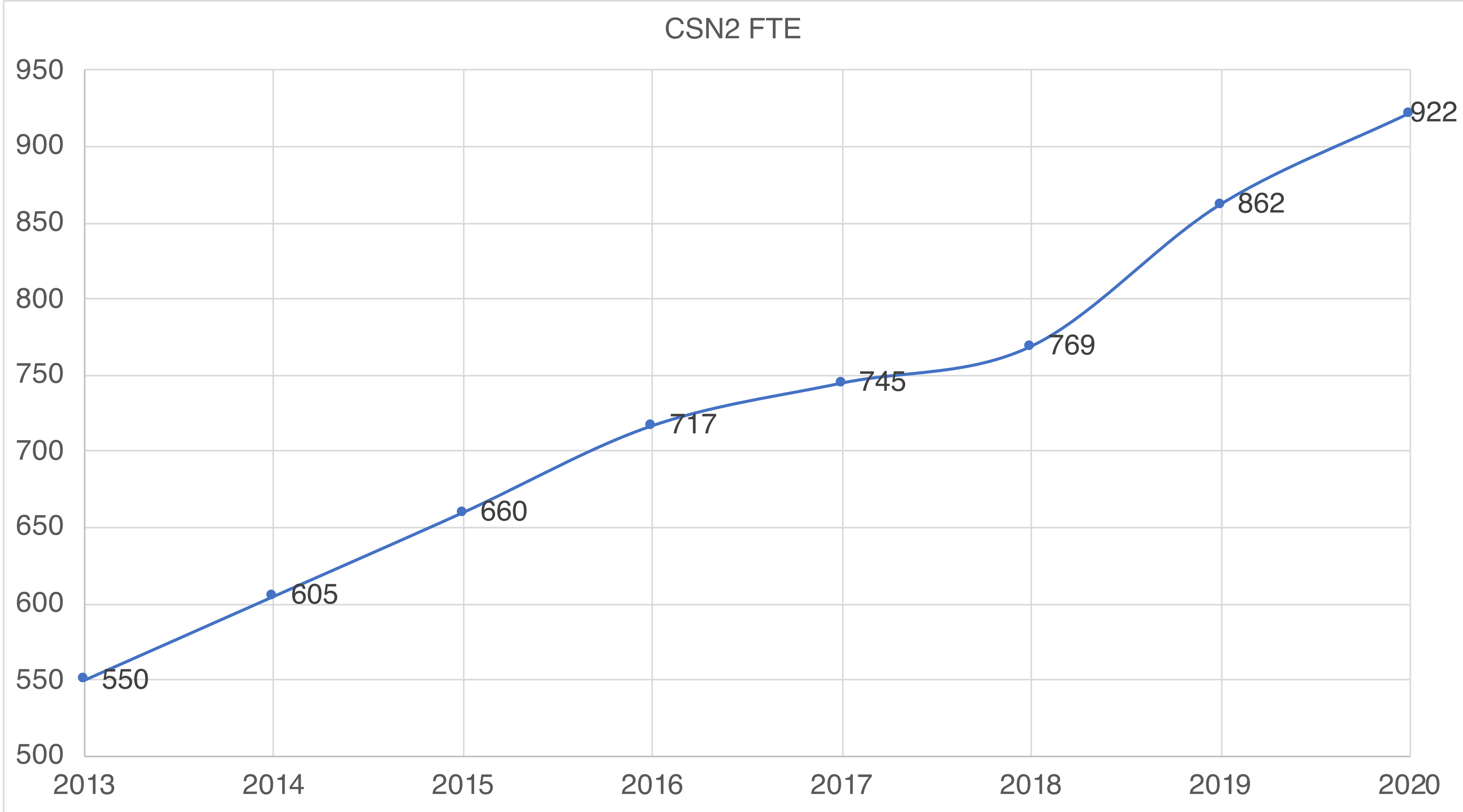
None of the lines are expendable

Each is of great interest and has
a large community supporting it

**Dark
Universe**

**Neutrino
Properties**

CSN2: a growing community



Conclusioni ...

Cosa ci aspettiamo da questo workshop ...

- Risposte ad un certo numero di domande
 - Regimi diversi:
 - **Come si confrontano?** Cosa sondano? Quali le potenzialità?
 - Tecniche sperimentali:
 - **Come si confrontano?** Cosa sondano? Quali le potenzialità?
 - Competitività
 - Sinergie
 - Costi/Prospettive/Interesse

... e aspettative

- ▶ Molte parametrizzazioni adatte a testare la natura della gravità in situazioni abbastanza diverse.
- ▶ Tuttavia la teoria della gravità deve essere la stessa nelle diverse condizioni (il nostro sistema solare come nei sistemi di pulsar e/o buchi neri in collisione).
- Serve sforzo per capire come le diverse parametrizzazioni parlino tra di loro.
 - **Se le teorie lavorano in ambiti che non si parlano , abbiamo perso!**
- Oltre ad un linguaggio (parametrizzazione) comune, servono quindi anche risposte a domande come:
 - quali sono gli effetti delle teorie alternative sulle parametrizzazioni piu' comuni?
 - come si confrontano i limiti sulle deviazioni da GR ottenuti dalle GW con quelli dedotti da misure nel sistema solare

