

Various seminars

January 23, 2020

1 Svelare l'universo

Thu Oct 17 2019

“L'eccellenza padovana nella ricerca di frontiera”.

Parla Flavio Seno, nostro nuovo direttore. “Eccellenza” non è un termine utilizzato a sproposito: dei 980 dipartimenti nazionali, 180 sono stati selezionati, e finanziati con cifre cospicue, dell'ordine di 10^7 €.

Il lavoro non è stato in gran parte suo, bensì della Soramel, sua precorritrice.

Galileo nell'ottobre 1604 ha scritto l'equazione del moto di una particella in caduta libera, e ha capito che la *stella nova* che aveva osservato non era più vicina alla Terra della Luna.

Abbiamo degli speaker molto importanti, la cui attività di ricerca è strettamente collegata a ciò che si fa in DFA.

Si inizia. C'è anche MicMap fra gli speaker!

1.1 Astrofisica a molti messaggeri

di Marica Branchesi, GSSI L'Aquila: lei ha cercato di collegare i mondi della fisica e dell'astronomia. È stata selezionata come una delle 10 persone più influenti nel mondo della Fisica, Time l'ha inserita fra le 100 persone più influenti al mondo.

I Gamma Ray Bursts sono classificati in “corti” e lunghi: durata ≤ 2 s.

Si menzionano molte cose in velocità: Supermassive Black Holes, GW Astronomy.

A Padova ci sono stati i gruppi che hanno studiato i sistemi binari di buchi neri e stelle di neutroni?

Insieme alla rilevazione di onde gravitazionali bisogna osservare in altri modi: è stato visto un segnale estremamente lungo, e contemporaneamente Fermi l'ha visto nel range γ e INTEGRAL l'ha confermato nei raggi X.

Qual è la scala temporale della risposta? quanto ci mettiamo a puntare Fermi et al. nella direzione giusta?

I telescopi (infrarossi, cileni) hanno visto un nuovo oggetto che rapidamente diminuiva in temperatura (con una distribuzione di radiazione circa di corpo nero, parrebbe).

Adalberto Giazotto, padre di VIRGO: “Rivelare le onde gravitazionali, nessuna idea era più folle di questa”.

MicMap risponde a “cosa succede a Padova”? Padova è stata attiva per lo sviluppo di AURIGA, predecessore di VIRGO.

Ci sono tre finanziamenti europei indipendenti, IRC, riguardo lo studio delle binarie: formazione, caratterizzazione. C’è anche molto riguardo l’astronomia multi-messaggio: nello studio che ha menzionato Marika nella controparte EM del binary neutron star merger c’era anche PD, nello specifico nello studio dei dati di Fermi.

Il DFA è anche coinvolto nello studio delle osservazioni di neutrini.

1.2 Osservando la luce dell’universo più lontano

Licia Verde, ICREA & ICC-UB-IEEC Barcelona. Tesista (magistrale, perlomeno) di Sabino ♡.

Ci dev’essere una teoria del tutto. Jim Peebles la settimana scorsa ha preso il Nobel: lui ha contribuito alla formazione del modello Λ CDM (?).

La legge di Hubble è $cz = v = H_0 d$.

1998: l’espansione dell’universo è accelerata, Nobel 2011.

Bullet Cluster: un “applauso cosmico”. La materia oscura, però, non interagisce se non gravitazionalmente.

Scoperta della CMB. Appariva uniforme, circa a 3 K, ma furono poi notate delle piccole anisotropie. È stato emesso quando l’universo aveva 3.8×10^5 yr.

“Planck potrebbe misurare la temperatura di un coniglio sulla Luna dalla Terra”.

In termini di risoluzione angolare o spettrale? La temperatura del coniglio è abbastanza diversa da quella della Luna, no?

Dal sito dell’ESA: si parla di risoluzione spettrale, e l’affermazione è che Planck riesce a vedere il μ K. Temperatura media di un coniglio: da 310 a 312 K circa, temperatura della luna super variabile, da 100 K a 400 K circa.

Molte domande senza risposta: perché l’universo si espande etc.

1.3 Exoplanets

Willy Benz, University of Bern, Switzerland.

We use Doppler shift to measure the motion of stars due to the presence of exoplanets. 861 exoplanets have been found, to date. This allows us to measure the mass M .

Another method is the transit measurement. This allows us to measure the radius R .

Empirically, the number of known exoplanets is increasing exponentially. There are however huge peaks in 2014 and 2016.

why?

We can plot the mean density: $\rho = 3M/(4\pi R^3)$. We can distinguish the giant gas planets from the rocky ones. Right now, however, there are huge error bars on the densities.

We are building the CHEOPS mission for this. It is on schedule and on budget!

The angular size of the star we are interested in is $0.77''$.

Most stars in a 10 parsec ball around here are small M type. As star brightness decreases, it gets easier to detect exoplanets indirectly but harder to image them spectroscopically.

People are doing high contrast spectroscopy: actually *seeing* the exoplanet. Wow!

Good question: how do we measure the atmospheric pressure of an exoplanets?

2 Exploring the universe with gravitational waves

Thu Oct 24 2019

Eugenio Coccia, Gran Sasso Science Institute & INFN. *Rettore* at GSSI. Member of the VIRGO collaboration.

Idea for a demonstration: two masses anchored to the surface of a sphere, with a spring between them. As they move perpendicular to the spring, the spring will be contracted by the geodesic “force”. If the masses stop, the spring extends back. “But why can’t they stop in GR?”: the norm of the four-velocity is fixed.

The Einstein equations as a spring:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \iff F = -kx, \quad (1)$$

identifying the stress-energy tensor with the force, the Einstein tensor with the position. Then, the elastic constant is $c^4/(8\pi G) \approx 10^{45} \text{ kgs}^{-2}$: very stiff!

GW: Einstein 1916. If $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$, with small $h_{\mu\nu}$, then the field equations become $\square h_{\mu\nu} = 0$.

They are associated with massless spin 2 particles: gravitons. No dipole radiation is emitted gravitationally by conservation of momentum ($\nabla_\mu T^{\mu i} = 0$)

They have two polarization states. Kelvin was not ok with E and B being orthogonal to the propagation of EM radiation.

Circularly positioned masses will be deformed into ellipses (?). Einstein thought that GW could never be practically measured: the displacement is of the order $\Delta L/L \approx 10^{-18}$. The luminosity depends on the quadrupole moment: a 1000 ton steel rotor at 4 Hz would emit 10^{-30} W in GW (this was what Einstein was thinking of), while $1.4M_{\odot}$ neutron stars emit 10^{52} W in GW.

The objectives are

1. test GR;
2. explore dark regions for astrophysical purposes;
3. explore beyond the CMB for cosmological purposes.

We can detect supernovae, spinning neutron stars, coalescing binaries, and the background. All of these have typical shapes, signatures.

The turning point in GW astronomy: 1957, the “Chapel Hill meeting”. Debates on the covariance of GWs.

Pirani points out the equivalence of the equation of geodesic deviation with the Newton equation, identifying $R_{a0a0} \sim \partial_a \partial_b V$, where V is the newtonian potential (?)

Indirect evidence was found by fitting experimental data of the period shift in time for binaries based on energy lost to GW: it precisely matched the GR prediction.

The instrument is a Michelson-Morley interferometer.

The relative velocity reaches $0.5c$ (!!). No light is emitted from a BH merger: only a perturbation of spacetime.

Convolving a prepared waveform with the noisy signal we can see the signal even if it is lower than the noise.

We have a limit on the graviton mass, on the order of 10^{-23} eV — lower than the photon bound! This is found adding a dispersive term $E^2 = p^2 c^2 + A p^a c^a \dots$

How does this work? What is the vector c^a ?
I'd expect $E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4 \dots$

We can do localization by comparing the data from different detectors.

After the GW alarm we can spot the place they were coming from, and look at the varying spectrum: we can see *heavy metal lines* (after iron).

New perspectives: underground GW detectors to reduce seismic noise; LISA and eLISA in space to detect lower frequencies.

3 Ice Cube

Hansen.

Nobody has seen anything above 100 TeV in astronomy: photons with that high of an energy interact with CMB photons to do pair production, so we cannot detect them

Neutrinos do not exhibit this behaviour: they propagate through space essentially unabsorbed.

The flux of cosmic rays decreases as a power law. To generate photons with 10^{20} eV we'd need a LHC with the radius of the orbit of Mercury.

To generate photons with that high of an energy we can have extreme gravitational phenomena, whose energy is converted into kinetic energy.

Neutrinos are produced from the decay of π particles, which come from proton beams, we have $\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$ and $\mu \rightarrow e + \nu_e$.

Every neutrino has a corresponding γ with twice its energy.

Ice cube detects a neutrino every 5 min. The atmospheric neutrino flux also is a powerlaw: we are working at around 100 TeV, at the edge of the known area.

The method for detection is to have a big volume of transparent material, the neutrinos come through and when they decay we detect the Cherenkov radiation using photomultipliers.

At the geographic south pole, below 1.35 km of ice the *ultra-transparent* ice start. 10^{11} atmospheric muons, 10^5 astrophysical neutrinos decaying to muons, 10^1 to 10^2 cosmic neutrinos decaying to muons.

The ice is melted going down, and then the photomultipliers are lowered and we wait for the ice to refreeze, this is slow since ice is an insulator.

For now the data are compatible with a 1:1:1 (μ vs ν vs τ) neutrino composition.

A τ neutrino has a travel time of ~ 50 ns at the energies of IceCube.

What is the angular resolution of the determination of the position? Right now 0.2° to 0.4° , they aim for 0.1° .

The neutrino radiation seems to be almost uniform throughout the sky.

A shocking conclusion: the energy density of neutrinos and that of gamma rays is the same.

Within less than a minute of the detection the information is sent to the Fermi satellite, which can look at it.

IceCube is on $> 99.5\%$ of the time.

Neutrino astrophysics exists.