

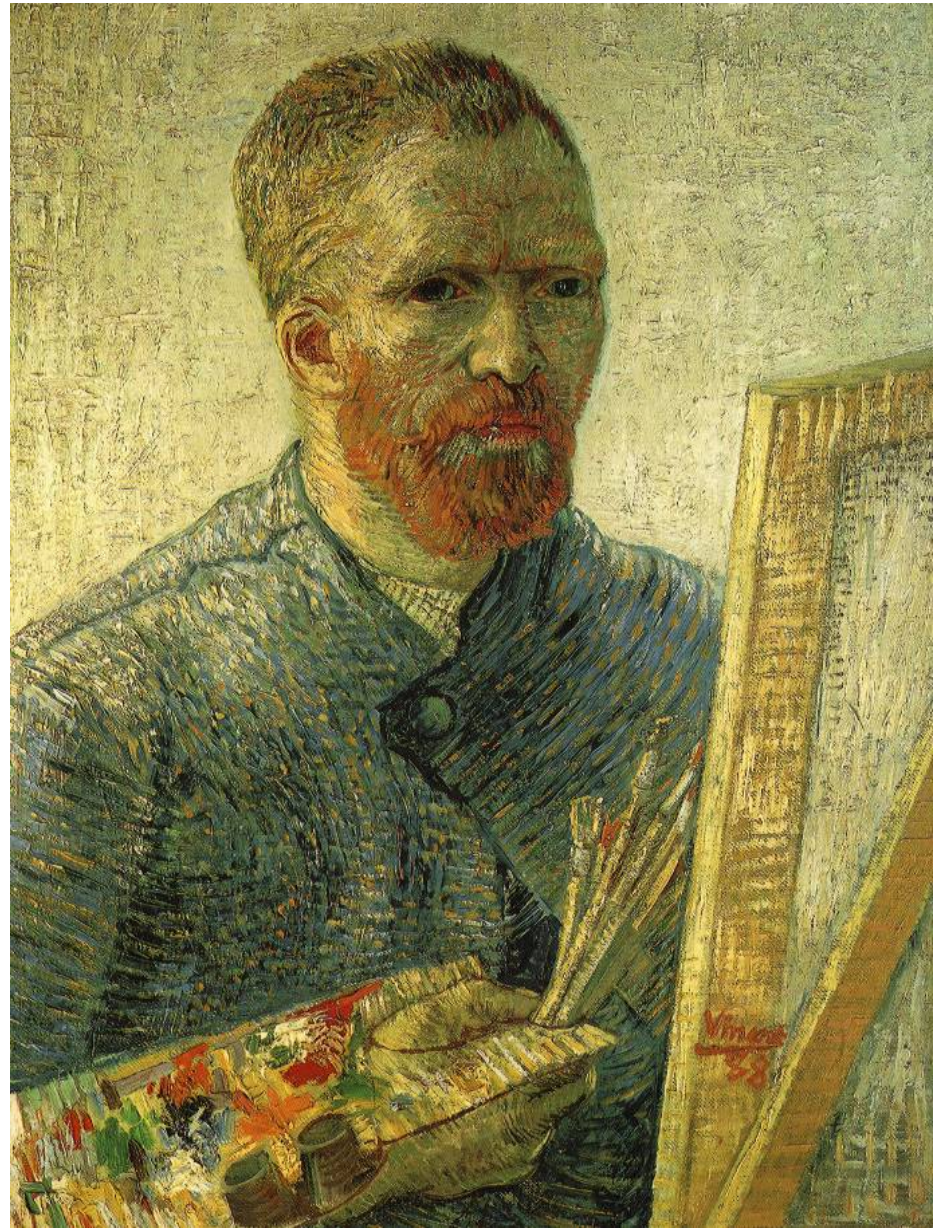
I cinque volti della bellezza in Fisica



G.Nardulli
Università di Bari

- La creazione di un modello
- La creazione di una teoria: la teoria come opera d'arte
- Bellezza e simmetrie
- Bellezza e metamorfosi
- Bellezza e conoscenza

La creazione di un modello



Flash sincronizzati delle lucciole

- Scoperte in Malesia nell'800: colonie di migliaia di lucciole lampeggianti
- Flash: usati nel corteggiamento rituale in gruppo
- Dopo un breve periodo il lampeggiamento diviene sincrono





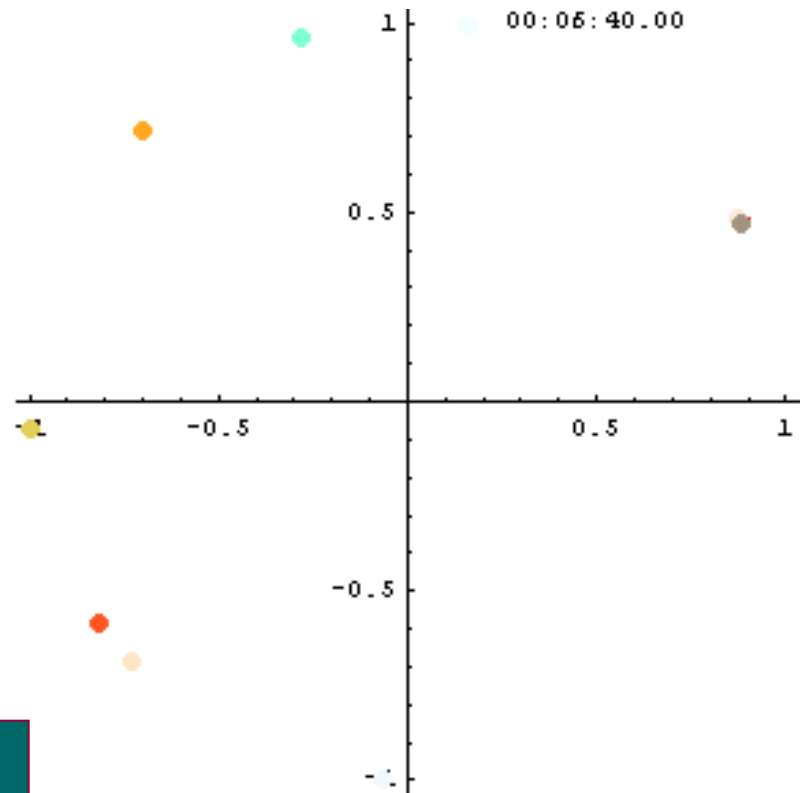
Spiegazioni

- Accidentale ?
- Effetto ottico (sbattere delle ciglia dell'osservatore) ?
- Colpi di vento?
- **In realta':**
- Le lucciole hanno meccanismi neurali che vengono stimolati dai flash

Comportamenti simili negli esseri umani

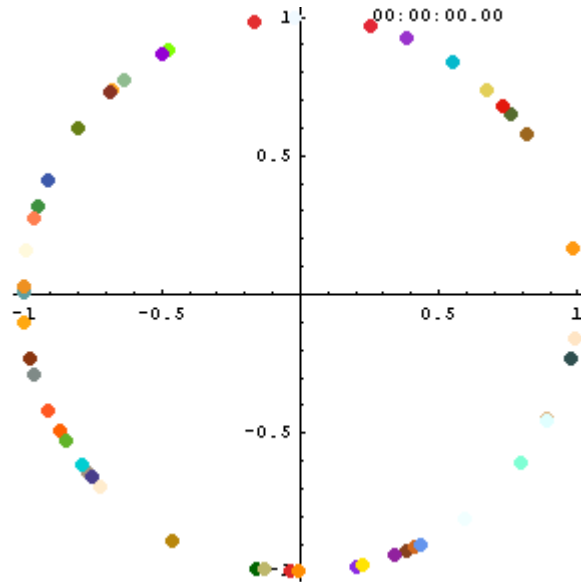
- Chiudete e aprite gli occhi e battete un dito sul tavolo
- Quasi subito i due movimenti diventano sincroni

Modello matematico: Eq. di oscillatori (simile a pendoli)



Oscillatori: punti che si muovono su di una circonferenza con velocità diverse:

(N grande, interazione non lineare)



Creazione
delle teorie.
La teoria
come opera
d'arte



Una teoria fisica spiega in modo economico e coerente una quantità di dati sperimentali

**Equazioni di campo di Einstein
(Relatività generale)**

$$\mathbf{G}_{\alpha\beta} = \mathbf{k} \mathbf{T}_{\alpha\beta}$$

k = costante di Einstein

G, T = tensori di campo e di materia

Descrivono dal GPS alle stelle di neutroni, dai buchi neri alla fisica del Big Bang

Nascita dei buchi neri: il collasso gravitazionale

- **RG:** Se una stella *massiva* ha esaurito il combustibile nucleare, la forza di gravità la fa collassare in una regione spazio-temporale dal quale nulla può uscire.
- Al suo interno può esserci qualsiasi cosa, ma all'esterno si distinguono solo per massa e velocità di rotazione (economicità)

Fisica dei buchi neri

- **Sono gli oggetti macroscopici piu' perfetti esistenti nell'Universo.**
- **La loro descrizione si basa solo sul concetto di spazio e tempo.**
- **Sono anche oggetti estremamente semplici.**
- **La relativita' generale fornisce una sola famiglia di soluzione che dipende da solo due parametri: massa e velocita' di rotazione.**

- **“E’ impossibile seguire il percorso di una delle grandi teorie della fisica, vederla svolgere maestosamente e con regolarità le sue deduzioni a partire dalle ipotesi iniziali; vedere che le sue conseguenze rappresentano, fin nei minimi dettagli, una quantità di leggi sperimentali, senza essere sedotti dalla bellezza di una tale costruzione, senza sentire fin nel profondo che una simile creazione dello spirito umano è veramente un’opera d’arte “**
- **(P. Duhem, La teoria fisica: il suo oggetto e la sua struttura)**

Bellezza e simmetria



Il criterio estetico nella costruzione delle teorie fisiche: le simmetrie

Equazioni di Maxwell nel vuoto

$$\begin{aligned}\nabla \wedge \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} & \nabla \cdot \mathbf{E} &= 0 \\ \nabla \wedge \mathbf{B} &= +\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} & \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0\end{aligned}$$

La simmetria tra **E** (campo elettrico) e **B** (campo magnetico) nasconde una struttura unitaria: **E** e **B** sono due aspetti di un'unica grandezza fisica, il campo elettromagnetico.

Anche il segno \pm ha un senso: rappresenta la differenza tra spazio e tempo nello spazio-tempo della relatività

Le teorie devono essere belle?

Bellezza ha valore euristico

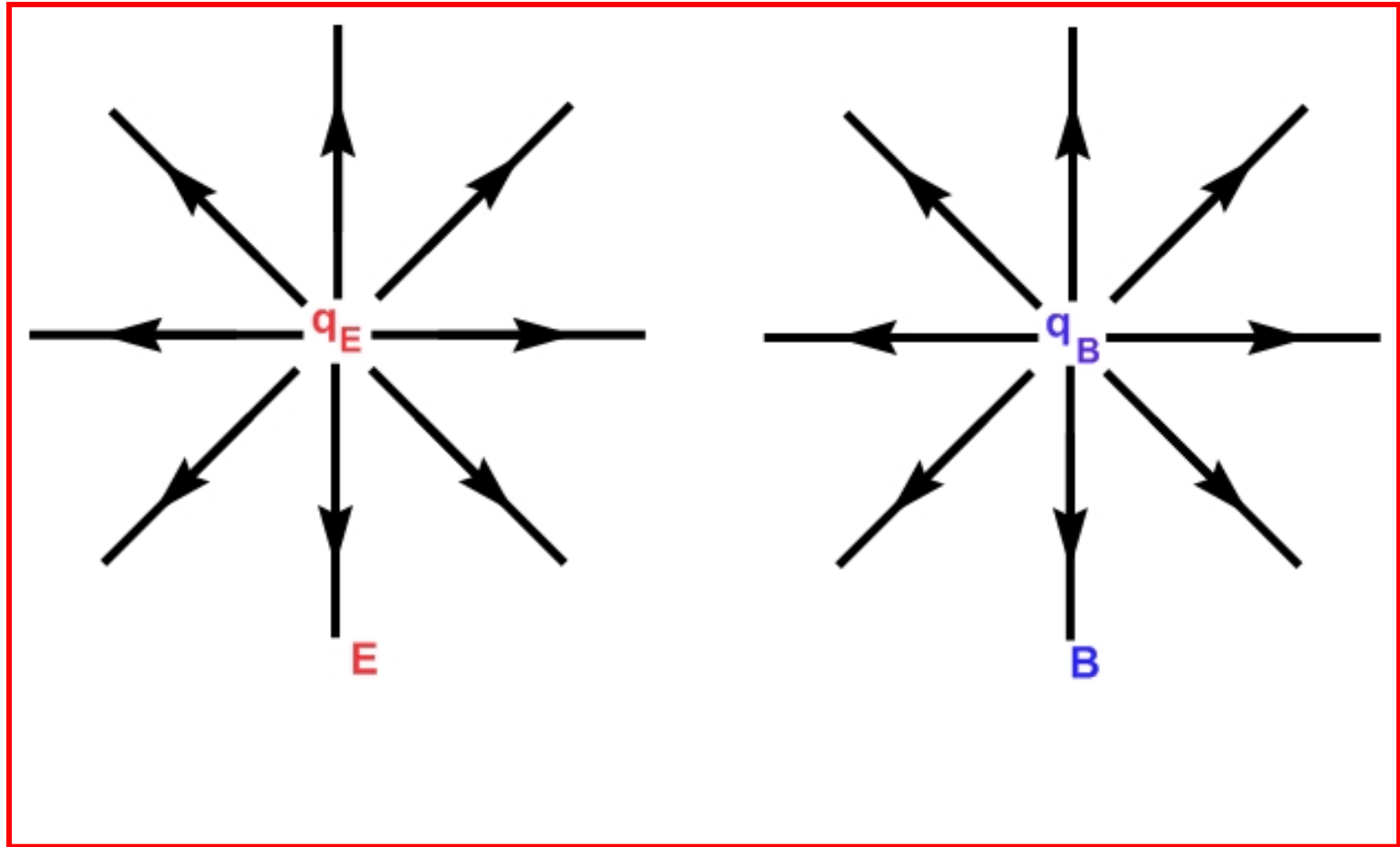
Relatività ha alla base una motivazione estetica

In **Relatività Ristretta** vale il principio secondo cui le leggi della fisica devono avere la stessa forma nei sistemi di riferimento in cui vale la legge d'inerzia

In **Relatività Generale**: le leggi della fisica hanno la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento.

Bellezza come criterio generale?

- La bellezza non è criterio generale
- Esempio: l'analogia tra **E** e **B** nel vuoto, si perde in presenza di materia: mentre esistono cariche elettriche isolate non esistono cariche magnetiche isolate (monopoli magnetici)
- Dirac (1948): assumendo una completa simmetria, dovrebbero esistere i monopoli



Sfortunatamente: **mai trovati**
Una preferenza per le teorie belle si puo' assumere solo a parità di altre condizioni

Bellezza e simmetria

- Ma allora perché questa preferenza per le teorie simmetriche e, per questo, belle?
- Se non è un criterio fisico, ma metafisico, non sarebbe meglio rinunciarvi, per non creare confusione tra campi diversi della conoscenza?

Simmetrie, struttura dello spazio e del tempo

- **Simmetria del tempo.** Se un esperimento fornisce oggi una legge, la fornirà anche in futuro (e in passato)
- **Simmetrie dello spazio** Esperimenti effettuati in luoghi diversi (Europa, USA) forniscono gli stessi risultati. Se ruoto l'apparato sperimentale ottengo lo stesso risultato.
- Isotropia e omogeneità dello spazio-tempo: **leggi di conservazione** (e.g.: legge di conservazione dell'energia)

Bellezza e metamorfosi



- Un aspetto della bellezza delle teorie fisiche e' data dalle loro metamorfosi.
- Metamorfosi e' un concetto che in letteratura o in musica, da Ovidio a Kafka o a R. Strauss, e' legato ad una trasformazione della natura di una cosa.
- Nelle scienze è stato usato per primo da un altro poeta Goethe, nello studio delle trasformazioni delle piante, con un significato simile.

Un esempio letterario: Morte e trasfigurazione del semideo Ercole (Ov. Metam. IX, 262, tr.P.Bernardini Marzolla)

Tutto ciò che era devastabile dalla fiamma Vulcano lo aveva distrutto. Rimase l'immagine di Ercole, ma irriconoscibile, senza più nulla di quel che poteva aver preso dalla madre; serbava unicamente l'impronta di Giove. E come il serpente, deposta con la pelle la vecchiaia, rimbaldanzito torna tutto nuovo e smagliante di fresche squame, così l'eroe di Tirinto, spogliato del corpo mortale, rifiorì con la parte migliore del suo essere e cominciò a sembrare più grande, e ad assumere un'aria maestosa e solenne, un aspetto venerando. Il padre onnipotente, avvolto in una nuvola cava, lo rapì e con un cocchio tirato da quattro cavalli lo portò tra gli astri radiosi.

Inerente a questo senso della parola metamorfosi e' un carattere dinamico, di un processo che avviene nel tempo, con un cambiamento della struttura dell'oggetto



In fisica il carattere di metamorfosi appare
nella pluralità delle possibili descrizioni

Non una trasformazione nel tempo, ma il fatto che ogni segmento di realtà può essere organizzato in più modi, ammette più descrizioni e quindi allude a più nature.

Termodinamica e fisica atomica

- Se studiamo gli stati energetici e le trasformazioni di una porzione di materia su grande scala usiamo una descrizione basata su concetti come temperatura **T**, volume **V**, pressione **P**, energia **U**, entropia **S**, e la **termodinamica** è la teoria che descrive la relazione tra queste grandezze.
- Su scala atomica questi concetti sono inadeguati e la teoria più appropriata è la **teoria cinetica**.

Onde e particelle

- Sino al secolo XIX si riteneva che l'energia fosse trasportata da due enti fisici di natura diversa, le onde e le particelle
- Nei 40 anni a cavallo tra i secoli XIX e XX si comprese che le particelle (elettroni) hanno proprietà ondulatorie e le onde proprietà corpuscolari.
- La teoria quantistica dei campi (metà XX secolo) unificò i due concetti.

Qual è la vera teoria?

Entrambe: ciascuna ha il suo ambito di verità.

Come in una metamorfosi passiamo da una descrizione all'altra per soddisfare criteri di consistenza tra teoria ed esperimenti.

Bellezza
e
conoscenza



Il mistero della conoscenza

Le teorie non sono solo strumenti per classificare i dati: predicano nuovi fenomeni

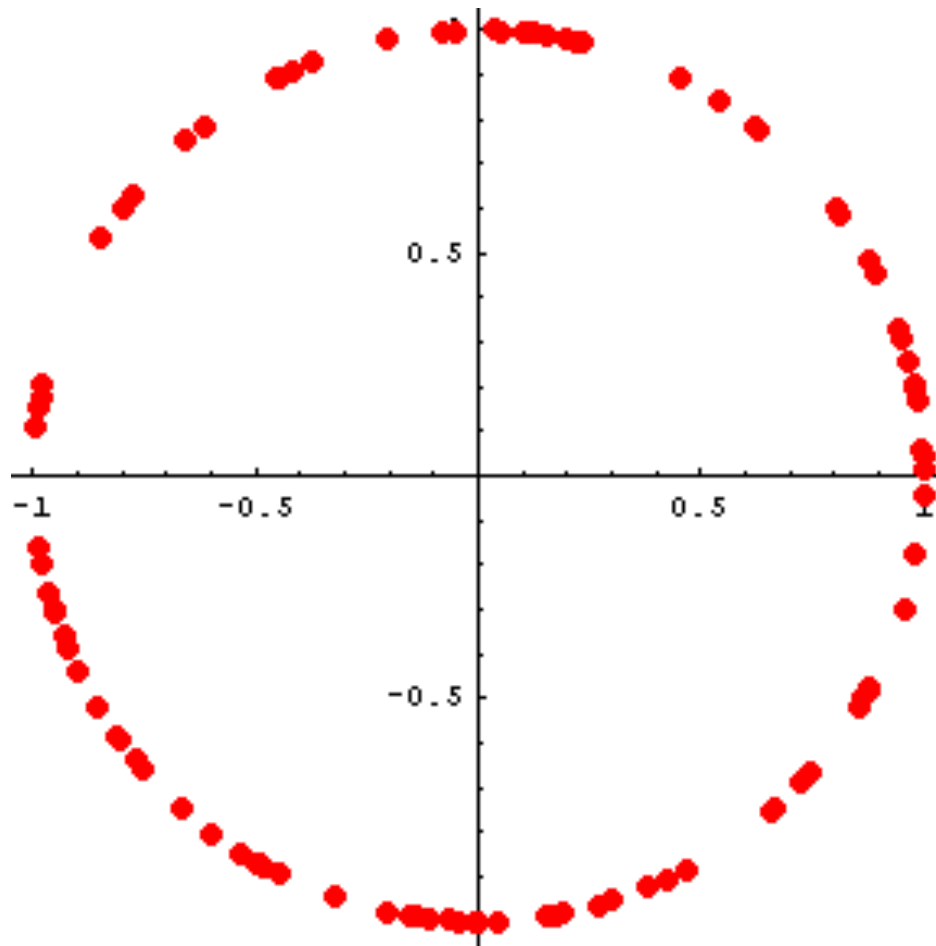
- **Le equazioni di Maxwell prevedevano l'esistenza delle onde elettromagnetiche.**
- **Furono scoperte alcuni anni dopo da Hertz.**

- **La relatività (1916) prevedeva la deflessione della luce da parte del sole (1.75")**
- **Nel 1919 due spedizioni inviate in due piccole isole (Sobral, Brasile; Principe, Golfo di Guinea) misurarono l'effetto con risultati in spettacolare accordo (1.98±0.12"; 1.61±0.31")**

- Possibilità di prevedere il risultato degli esperimenti è cosa comune nella scienza: ogni progresso tecnologico si basa su di essa.
- Tuttavia, a ben guardare essa costituisce l'aspetto più misterioso e quindi più affascinante della ricerca scientifica.
- Dieci miliardi di cellule neurali in grado di descrivere e prevedere il comportamento di 100 miliardi di galassie ciascuna contenente 100 miliardi di stelle

- **Il fatto stesso che la totalità delle nostre esperienze sensoriali si possa ordinare col pensiero ci lascia stupefatti ed è qualcosa che non riusciremo mai a spiegarci. Si potrebbe dire che l'eterno mistero del mondo è la sua comprensibilità (A. Einstein).**

(N grande, interazione non lineare)



Onde α nel cervello

EEG rhythms:

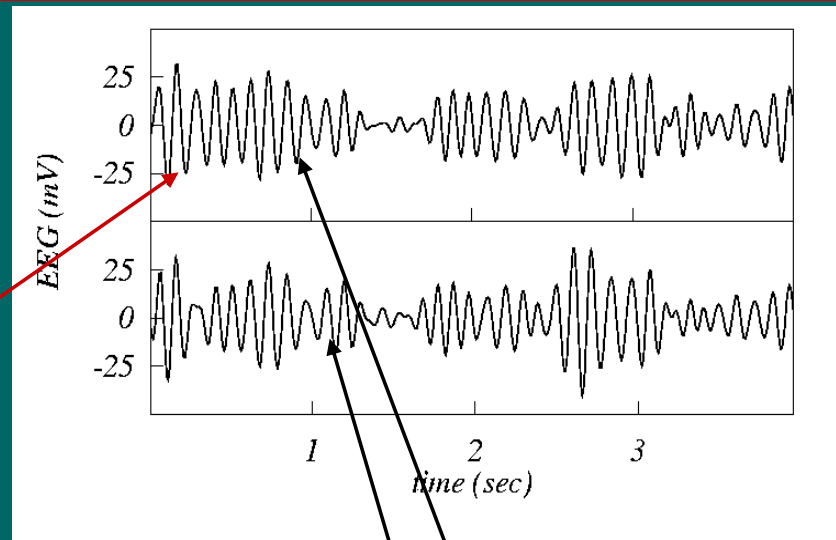
δ (0.5-3.5 Hz): deep sleep

θ (3.5-7.5 Hz): sleep

α (7.5-12.5 Hz): wake, relax

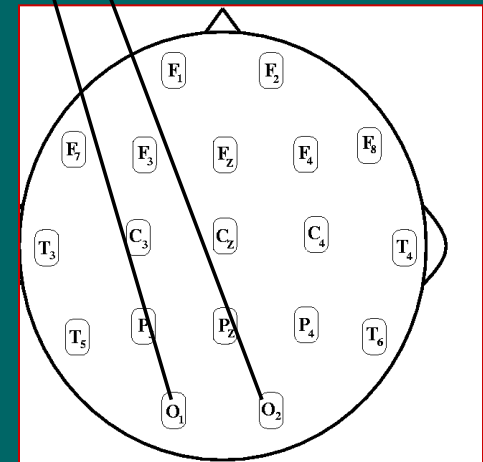
β (12.5-30 Hz): tension

γ (30-60 Hz): Cellular level exp.



Periodicity is produced by spontaneous synchronization of microscopic signals

Synchronization between signals from different electrodes can be noted,



Sincronizzazione nel cervello

- I neuroni attivi nella banda alfa presi individualmente lancerebbero segnali elettrici con frequenze tutte diverse tra loro.
- Presi assieme formano un vero e proprio orologio che batte con la frequenza di circa 10 pulsazioni al secondo