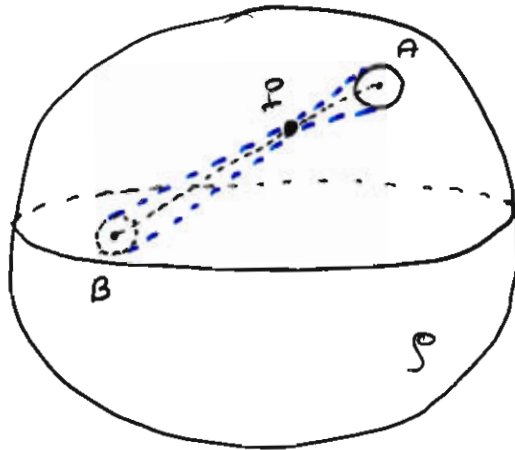


TEOREMA DI GAUSS



$$\sigma_1 \simeq \pi PA^2$$

$$\sigma_2 \simeq \pi PB^2$$

$$F_1 = F(\text{su } P \text{ dovuta a } \sigma_1) = \rho \sigma_1 / PA^2$$

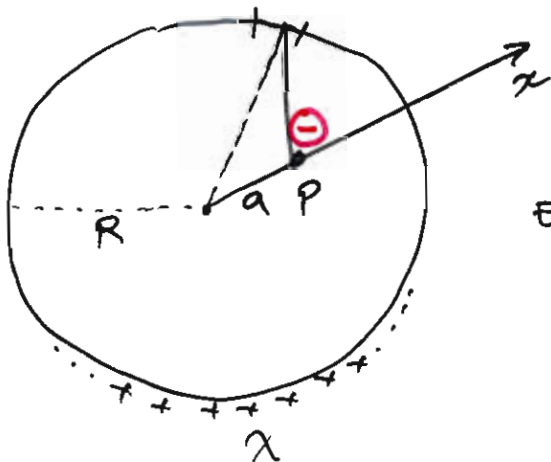
$$F_2 = F(\text{su } P \text{ dovuta a } \sigma_2) = \rho \sigma_2 / PB^2$$

$$F_1 = F_2$$

ma in direzioni opposte.

1. IL NUMERO DI DIMENSIONI È $n=2$
2. LA FORZA È $1/r^2$

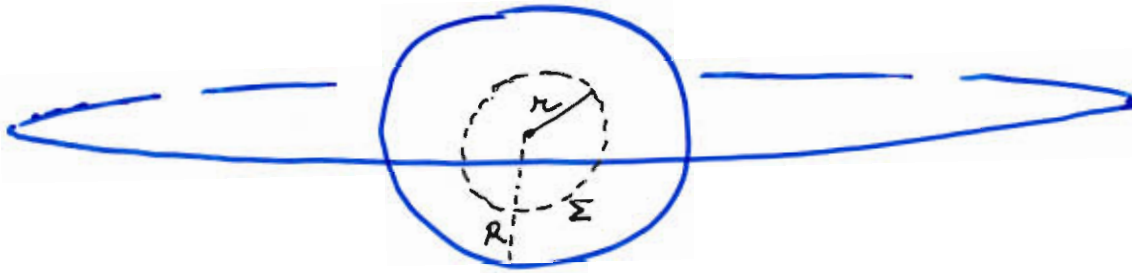
$$n=2$$



$$E_x(mP) = \frac{\lambda}{R} \int_0^{2\pi} d\theta \frac{(\cos\theta - k)}{(1+k^2 - 2k\cos\theta)^{3/2}}$$

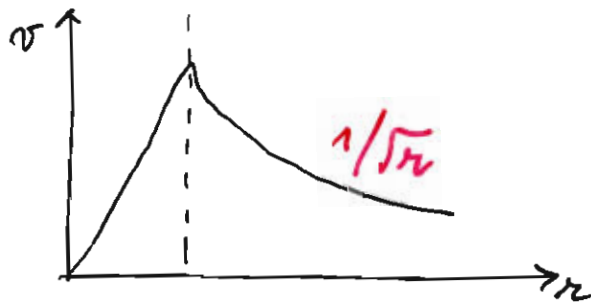
$$k = a/R$$

VIA LATTEA



$$r < R \left\{ \begin{array}{l} g(r) = G \frac{M_Z}{r^2} = G \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{r^2} = \left(G \frac{4}{3}\pi \rho\right) r \\ g(r) = \frac{v^2}{r} \\ v \sim r \end{array} \right.$$

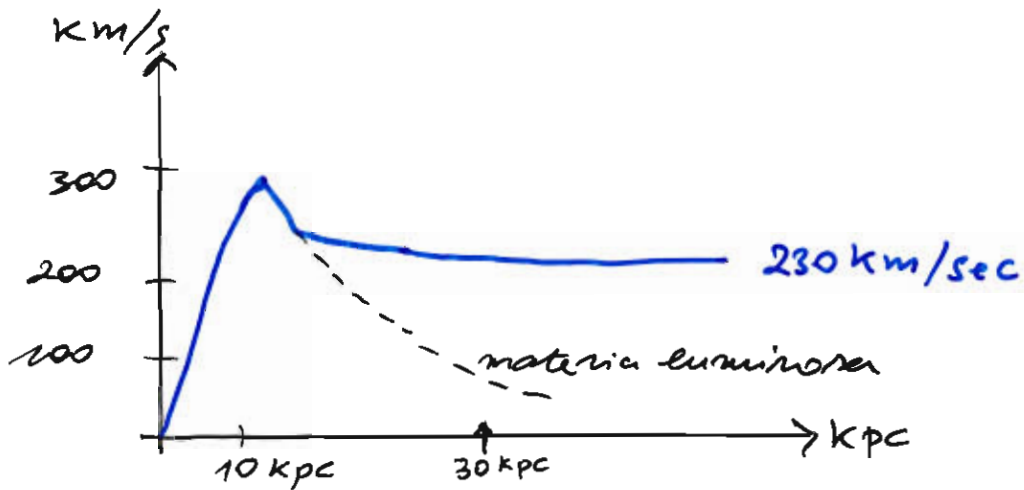
$$r > R \left\{ \begin{array}{l} g(r) = \frac{GM}{r^2} \\ v \sim \frac{1}{\sqrt{r}} \end{array} \right.$$



SI PUÒ STIMARE LA VELOCITA' DEL SOLE
 $v \sim 160 \text{ km/s}$

INVECE RISULTA $v \sim 220 \text{ km/s}$

CURVE DI ROTAZIONE



1 pc = DISTANZA DALLA QUALE UN DISCO DI RAGGIO
1 AU ($= 1.49 \times 10^{11}$ m) APPARE SOTTENDERE
UN ANGOLO DI 1 ARSEC ($= \frac{1}{60} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{360} \times 2\pi$)
 $= 3.26$ ly

(Proxima Centauri è a 1.3 pc dal sole)

$$\frac{v^2}{r} = G \frac{M_{DM}}{r^2} = \frac{G \frac{4}{3}\pi \rho_{DM} r^3}{r^2}$$

(Con $\rho_{DM} \sim \frac{1}{r^2}$ si potrebbe ottenere un contributo costante a v)

**DOBBIAMO SUPPORRE CHE ESISTA UN
ALONE DI MATERIA NON LUMINOSA
E DIFFUSA (non concentrata al centro
della galassia per esempio)**

TRAIETTORIE CIRCOLARI?

SUPPONIAMO CHE IL POTENZIALE SIA UNA FUNZIONE OMOGENEA DI GRADO k :

$$U(\alpha r) = \alpha^k U(r)$$

SE IL MOTO AVVIENE IN UNA REGIONE FINITA DI SPAZIO

$$2\bar{T} = k\bar{U}$$

NEL CASO DELLA GRAVITA' $k = -1$

$$2 \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{G m M}{\bar{r}}$$

da cui

$$\sqrt{\overline{v^2}} \sim \frac{1}{\sqrt{\bar{r}}}$$

dove

$$\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T dt f(t) \quad T \text{ grande.}$$

$$2T = \sum \vec{v}_i \cdot \vec{p}_i$$

$$= \frac{d}{dt} \sum \vec{r}_i \cdot \vec{p}_i - \sum \vec{r}_i \cdot \dot{\vec{p}}_i$$

$$2T = \frac{d}{dt} \sum \vec{r}_i \cdot \vec{p}_i + \sum \vec{r}_i \cdot \frac{\partial U}{\partial \vec{r}_i} = k\bar{U}$$

= 0

$T \rightarrow \infty$

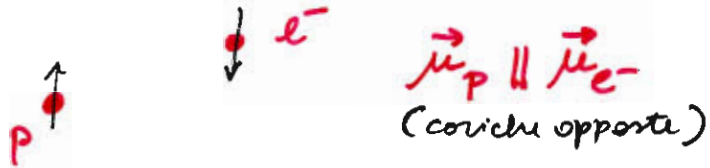
Δ moto in regioni finite

FRITZ ZWICKY STUDIO' GLI SHIFT DOPPLER DELLE GALASSIE IN UN CLUSTER NOTO COME 'COMA' - MISURO' QUINDI LE VELOCITA' DELLE GALASSIE E APPLICANDO IL TEOREMA DEL VIRIALE, TROVO' M.

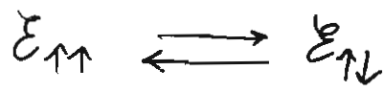
$$\text{OUTPUT DI LUCE/M} \sim \frac{1}{100} \text{ QUELLO DI UNA STELLA}$$

CURVE DI ROTAZIONE II

IN GENERE SONO PRODOTTE STUDIANDO LO SHIFT DOPPLER DELLA LINEA $\lambda = 21$ cm DELL'IDROGENO (Purcell & Ewen)



$$\Delta E = E_{\uparrow\uparrow} - E_{\downarrow\uparrow}$$



$$T \sim 10^7 \text{ anni}$$

$$\Gamma \sim 10^{-15} \text{ sec}^{-1}$$

- QUESTO FENOMENO TUTTAVIA E' OSSERVATO USUALMENTE NEI SISTEMI ASTROFISICI (nube galattica, nubi di H_2 etc..)
- LA LARGHEZZA NATURALE DELLA RIGA A $\lambda = 21$ cm E' MOLTO STRETTA

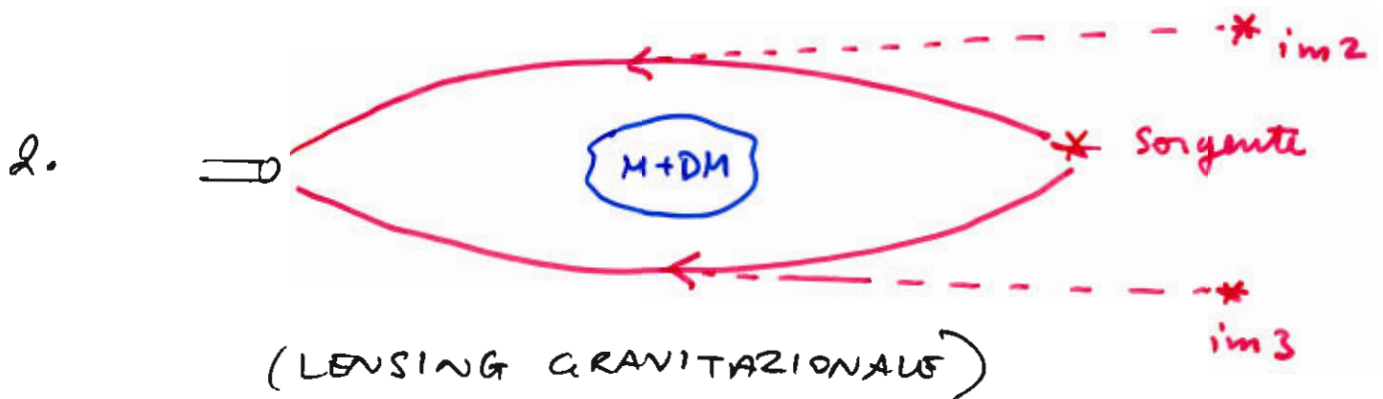
L'EFFETTO DOPPLER DOVUTO AL MOTO DELLE REGIONI EMETTITRICI PUO' CAUSARNE ALLARGAMENTO

ALTRE EVIDENZE

1. I GAS CALDI TRATTENUTI DA MOLTE GALASSIE
DIREBBERO EVAPORARE VIA SE CI FOSSE SOLO
L'ATTRAZIONE GRAVITAZIONALE DOVUTA ALLA
MATERIA VISIBILE (LUMINOSA)

N.B. $T \sim v^2 \sim 1/r$!

(immaginati ai raggi X del COMA CLUSTER per esempio)



SE NE CONCLUDE CHE

1. LA MATERIA OSCURA PERVADE L'UNIVERSO IN MODO
UNIFORME TRANNE CHE NELLE VICINANZE
DI GALASSIE E STELLE
CHE A LORO VOLTA ATTIRANO LA DM.
2. NON EMETTE UV, X, IR, RADIO, MICRO...
3. QUANTO NOTO SULLA EVOLUZIONE DELLE STELLE PORTA A
ESCLUDERE CHE LO SPAZIO INTERGALATTICO SIA COLMO
DI PIANETI, ROCCHE ETC (che sono oscuri!)
IL NUMERO DI ϕ e n NELL'UNIVERSO E' CONSISTENTE
CON LE STELLE FORMATE
4. POLVERI? GLI OGGETTI ASTROFISICI DISTANTI
RISULTEREBBERO OSCURATI.

CONCENTRAZIONE DI DM

LA MATERIA ORDINARIA RIESCE A RAFFREDDARSI E CONCENTRARSI MOLTO EFFICACEMENTE A CAUSA DELLA RADIAZIONE.

LA DM NON PUO' AGGREGARSI ALTRETTANTO EFFICACEMENTE.

SU GRANDI SCALE LA DM DOMINA NELL' UNIVERSO ($\times 5 \div \times 10$)

FATTA ECCEZIONE PER REGIONI SPARSE AD ALTA CONCENTRAZIONE DI MATERIA ORDINARIA.

$$\rho_{DM}^{locale} \sim 0.3 \frac{GeV}{cm^3} \sim 5 \times 10^{-25} \frac{gr}{cm^3}$$

$$\rho_{TERRA} \sim 5.52 \frac{gr}{cm^3}$$

SE DM FOSSE COSTITUITA DA PARTICELLE DI MASSA M_X

$$M_X = 10 \text{ GeV}$$

100 / litro

$$M_X = 100 \text{ GeV}$$

10 / litro

⋮

SU GRANDI SCALE

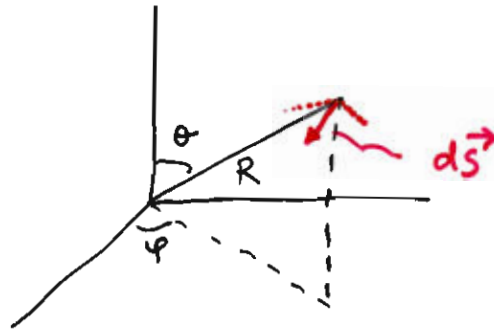
84.5% DELLA MATERIA
E' MATERIA OSCURA.

USUALMENTE SI FA RIFERIMENTO A DEI RAPPORTI DI DENSITA'

$$\frac{\rho_{barionici} + \rho_{DM} + \rho_{\gamma} + \rho_{\nu}}{\rho_{crit}} + \Omega_{\Lambda} = \sum \Omega_i \approx 1$$

ESPANSIONE DELL' UNIVERSO

... DA TENERE IN CONTO QUANDO SI PARLA DI DENSITA'



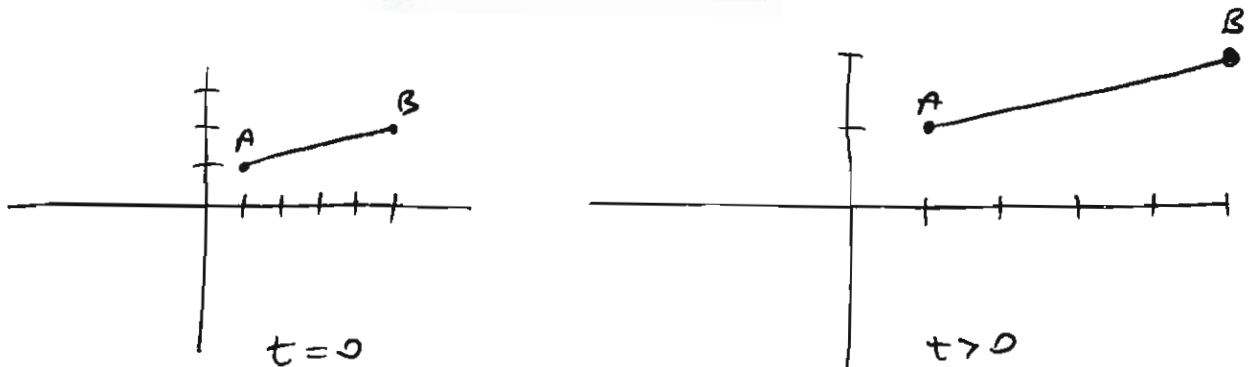
$$ds^2 = R^2 d\theta^2 + R^2 \sin^2 \theta d\varphi^2$$

si definisce: $dx^1 = d\theta$ $dx^2 = d\varphi$

$$ds^2 = \sum g_{ij} dx^i dx^j \quad \text{con } g_{ij} = \begin{vmatrix} R^2 & 0 \\ 0 & R^2 \sin^2 \theta \end{vmatrix}$$

SE LE 'TACCHE' SUL RIFERIMENTO CAMBIANO NEL TEMPO

$$\boxed{R^2 \rightarrow a^2(t) R^2}$$



A & B SONO FISICAMENTE PIU' DISTANTI MA IN TERMINI DI TACCHE SUGLI ASSI HANNO LA STESSA DISTANZA (COMOVING)

$$\boxed{\left(\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \right)^2 = H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho}$$

EQ. DI FRIEDMANN PER
UNIVERSO PIATTO

ESPANSIONE DELL' UNIVERSO II (HUBBLE)

$z = \text{redshift}$

$$1+z := \frac{\lambda_{\text{oss}}}{\lambda_{\text{emessa}}}$$

$$\frac{\lambda_{\text{oss}}}{\lambda_{\text{emessa}}} = \frac{1}{a}$$

PER PICCOLI REDSHIFT, $z \approx \frac{v}{c}$, QUINDI MISURA QUANTO RAPIDAMENTE SI ALLONTANA LA SORGENTE.

SE $d =$ DISTANZA FRA DUE GALASSIE

$$d = a x$$

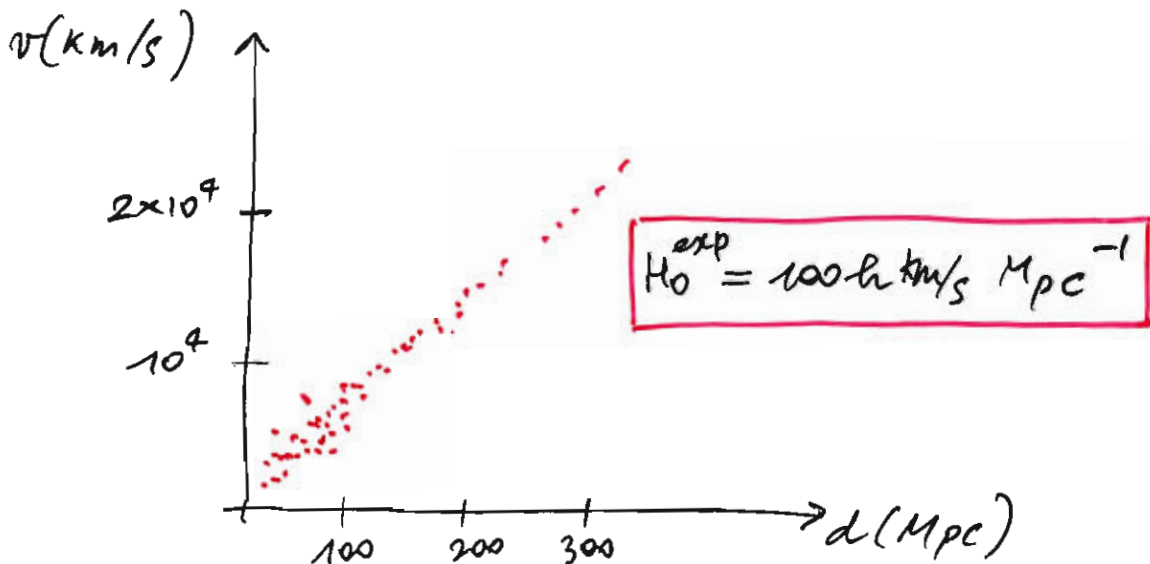
$\underbrace{\hspace{1cm}}$
DISTANZA 'COMOVING'
= # DI TACCHE.

IN ASSENZA DI MOTO RELATIVO 'COMOVING'

$$\begin{aligned} v_{\text{rel}} = \dot{d} &= \dot{a} x + a \dot{x} \\ &= \dot{a} x \underline{\underline{H = \dot{a}/a}} H a x \\ &= H d \end{aligned}$$

quindi

$$v_{\text{rel}} = H d$$



NUMERI

$$\rho_{crit} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 1.88 h^2 \times 10^{-29} \text{ gr/cm}^3 \approx 5 \text{ keV/cm}^3$$

$$H_0^{exp} \equiv H(t=0 \text{ oggi}) = 100 h \left(\frac{\text{km}}{\text{sec}} \right) \text{Mpc}^{-1}$$

$$h \approx 0.7$$

$$\Omega_b = \frac{\rho_{b,0}}{\rho_{crit}} = 0.049 \pm 0.02$$

$$\Omega_{DM} = 0.267 \pm 0.01$$

$$\begin{aligned} \rho_{DM} &= \rho_{crit} \times 0.267 \\ &\approx 3 \times 10^{-30} \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Omega_\gamma = \frac{\rho_\gamma}{\rho_{crit}} = \frac{(\pi^2/15) T^4}{\rho_{crit}} \stackrel{T=2.75 \text{ K}}{=} (5 \pm 0.2) \times 10^{-5}$$

$$\Omega_\nu = 0.001 \div 0.02$$

- IN QUESTA ERA DELL' UNIVERSO LA MASSA DOMINA SULLA RADIAZIONE
- MA LA COMPONENTE PREDOMINANTE È Ω_Λ (DARK ENERGY) CHE SEMBRA ESSERE RESPONSABILE AL 73% DELLA ESPANSIONE DELL' UNIVERSO OSSERVATA. DI QUI

$$\sum \Omega_i \approx 1$$

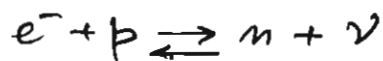
oppure $\rho \approx \rho_{crit}$, densità alla quale
l' universo continuerà a espandersi
indefinitamente.

IDENTIKIT DI UNA PARTICELLA DI DM

1. INTERAGISCE GRAVITAZIONALMENTE
2. STABILE
3. MASSIVA
4. NEUTRA (altrimenti non sarebbe dark!)
5. "FREDDA" (della dinamica dei cluster di galassie)

NEUTRINI ?

SUBITO DOPO IL BIG BANG



- σ PICCOLA MA # COLLISIONI ENORME PER VIA DELLA T ALTISSIMA E DELLA GRANDE DENSITA'
- TUTTAVIA L'UNIVERSO SI RAFFREDDA E SI ESPANDE :
 e^- & p SI INCONTRANO SEMPRE PIÙ DI RARO E LA PRODUZIONE DI ν CESSA GRADUALMENTE.
- RESTANO IN GIRO DEI ν "FOSSILI" O "RELITTO"

$$\approx \frac{100}{\text{cm}^3}$$

L'ENERGIA DI CIASCUNO DI ESSI È SCESA DI UN FATTORE ENORME DAL TEMPO DEL B.B. (REDSHIFT \sim FATTORE DI ESPANSIONE)

- NO ν_e, ν_μ, ν_τ $M \sim 1 \text{ eV}$
- ν DI QUARTA GENERAZIONE CON $M_\nu > \frac{M_{\text{pl}}}{2}$?
- NO DI NUOVO PERCHÉ $\sum \nu$ STIMATO $\sim 10^{-3}$

SEZIONI D'URTO

$P(\alpha \rightarrow \beta)$:= PROBABILITA' CHE UN SISTEMA DI MOLTE PARTICELLE, CHE SI TROVA IN UNO STATO α PRIMA CHE INTERVENGA UNA INTERAZIONE, FINISCA IN UNO STATO β QUANDO L'INTERAZIONE HA CESSATO DI AGIRE.

= PROBABILITA' DI TRANSIZIONE

$$P(\alpha \rightarrow \beta) = T \overbrace{P(\alpha \rightarrow \beta)}^{\text{"RATE"}}$$

LA PROBABILITA' DI TRANSIZIONE E' PROPORZIONALE AL TEMPO DURANTE IL QUALE LA INTERAZIONE E' ATTIVA

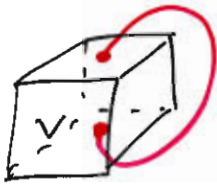
$$\sigma(\alpha \rightarrow \beta) = \frac{\text{RATE}}{\text{FLUSSO}}$$

||
#/UNITA' DI SUPERFICIE / UNITA' DI TEMPO =

$$= \frac{1}{V} n_{\alpha} = \text{densita' per velocita' relativa.}$$

$$[\sigma] = \text{cm}^2$$

~ la probabilita' in cm^2 ...



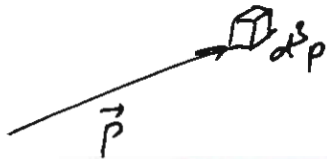
ψ monodroma \rightarrow

$$\vec{\phi} = \frac{2\pi}{L} (n_1, n_2, n_3) \quad (\hbar = c = 1)$$

di stati 1-particella in un volumetto d^3p

$$e^{-\frac{V}{(2\pi)^3} d^3p}$$

= numero di triple di interi (n_1, n_2, n_3) per i quali $\vec{\phi}$ sta in $d^3\vec{p}$ attorno a \vec{p}



$$n\left(\frac{\#}{V}\right) = \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \underbrace{e^{-E/T}}_{\text{GIBBS}}$$

T del bagno termico.

NEL LIMITE $V \rightarrow \infty$

$$\sum_{\vec{p}} \rightarrow \frac{V}{(2\pi)^3} \int d^3p$$

PARTICELLE "LEFT-OVER"

- LE DENSITA' NUMERICHE DI χ E $\bar{\chi}$ SONO UGUALI ALL'INIZIO...
- χ E $\bar{\chi}$ POSSONO SOLO ANNICHILARSI FRA LORO
$$\chi\bar{\chi} \rightleftharpoons \text{STANDARD}$$
- LA DENSITA' NUMERICA SCENDE DURANTE L'ESPANSIONE
→ IL TASSO DI COLLISIONI DIVENTA TROPPO BASSO PER RIDURRE ULTERIORMENTE LA n

QUESTO FENOMENO SI CHIAMA FREEZE-OUT:
LE ANNICHILAZIONI NON HANNO PIU' LA
CAPACITA' DI MANTENERE L'EQUILIBRIO
A $n = n_{eq}$.

QUESTO ARGOMENTO NON FUNZIONA PER I BARIONI -
L'ABBONDANZA BARIONICA CHE SI OSSERVA NON E'
COMPATIBILE CON LA POSSIBILITA' CHE ESSI SI ANNO
QUELLI SFUGGITI ALLE ANNICHILAZIONI NELL'UNIVERSO
PRIMORDIALE CON $n_b = n_{\bar{b}}$ -
Quindi non e' corretta quest'ultima ipotesi.

WEAKLY INTERACTING MASSIVE PARTICLES

WIMPS

- TASSO DI ANNICILAZIONE DI $\chi\bar{\chi}$ CONTENUTE IN a^3

$$= \boxed{(na^3) \langle v\sigma \rangle}$$

$$\frac{\#}{\text{cm}^3} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \cdot \text{cm}^2 = \text{TASSO DI ANNICILAZIONE PER PARTICELLA (sec}^{-1}\text{)}$$

- TASSO DI CREAZIONE DI COPPIE $\chi\bar{\chi}$: DEVE BILANCIARE LE ANNICILAZIONI QUANDO È TUTTO ALL' EQUILIBRIO

$$= \boxed{n_{\text{eq}} a^3 \langle v\sigma \rangle}$$

Quindi in a^3

$$\boxed{\frac{d}{dt}(na^3) = -(n^2 - n_{\text{eq}}^2) a^3 \langle v\sigma \rangle}$$

1. Se $m_\chi \ll T$

$$\begin{aligned} n_{\text{eq}} &= \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} e^{-E/T} = \frac{1}{2\pi^2} \int p^2 dp e^{-p/T} \\ &= \frac{1}{2\pi^2} \left(-\frac{\partial}{\partial \alpha}\right) \int_0^\infty dp e^{-\alpha p} = \frac{T^3}{\pi^2} \end{aligned}$$

$$\frac{\hbar c}{kT} \sim \lambda, \text{ che scala come } a \Rightarrow T \sim \frac{1}{a}$$

$$n_{\text{eq}} \sim \frac{1}{a^3}$$

SE SI PONE $n = n_{\text{eq}}$ IL MEMBRO DI DESTRA È ZERO E NEL MEMBRO DI SINISTRA

$$\frac{d}{dt} \text{const.} = 0$$

QUINDI $\boxed{n = n_{\text{eq}}}$ È SOLUZIONE QUANDO $\boxed{m_\chi \ll T}$

WIMPS II

SE $m \gg T$ (RAFFREDDAMENTO)

$$n_{eq} = \int \frac{p^2 dp}{2\pi^2} e^{-\frac{m}{T}} e^{-\frac{p^2}{2mT}}$$
$$= \left(\frac{mT}{2\pi}\right)^{3/2} e^{-m/T} \rightarrow 0$$

quindi:

$$\frac{d}{dt} n a^3 = -n^2 a^3 \langle \sigma v \rangle$$

$$\frac{d n a^3}{(n a^3)^2} = - \frac{\langle \sigma v \rangle}{a^3}$$

$$\frac{1}{n(t) a^3(t)} = \int_{t_0}^t dt' \frac{\langle \sigma v \rangle}{a^3(t')} + C'$$

determinando C a t_0

$$n a^3(t) = \frac{n(t_0) a^3(t_0)}{1 + n(t_0) a^3(t_0) \int_{t_0}^t dt' \frac{\langle \sigma v \rangle}{a^3(t')}}}$$

CHE SUCCEDER PER $t \rightarrow \infty$?

$\sigma v \rightarrow \text{const.}$ a bassa energia

$\langle \sigma v \rangle_T \rightarrow \text{const.}$ a basse temperature = TEMPI GRANDI

IL FREEZE OUT (INABILITA' DELLE ANNICHILAZIONI A TENERE LE PARTICELLE IN EQUILIBRIO $X\bar{X} \rightleftharpoons ll$)
LASCIA IN GIRO MOLTE WIMPS (L'INTEGRALE A DENOM. CONVERGE PER $t \rightarrow \infty$)

Se si mantenesse indefinitamente l'equilibrio
l'abbondanza di WIMPS sarebbe soppressa come $n \propto e^{-m/T}$

WIMPS : IDENTIKIT

1. $M_\chi = 1 \text{ GeV} \rightarrow 10 \text{ TeV}$

2. SI TROVA CHE

$$\Omega_\chi h^2 \sim \frac{(3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{sec})}{\langle \sigma v \rangle_{\text{annichil.}}}$$

(PRODUZ. TERMICA
E FREEZE OUT)

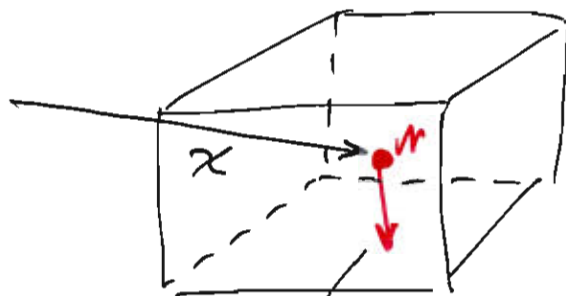
$$\Omega_\chi h^2 \sim \Omega_{\text{DM}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \langle \sigma v \rangle_{\text{ann.}} \sim 3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{sec}$$

ROZZAMENTE QUESTO È QUANTO ATTESO PER
UNA PARTICELLA DI 100 GeV CHE INTERAGISCA
CON INT. DEBOLE.

"WIMP
MIRACLE"

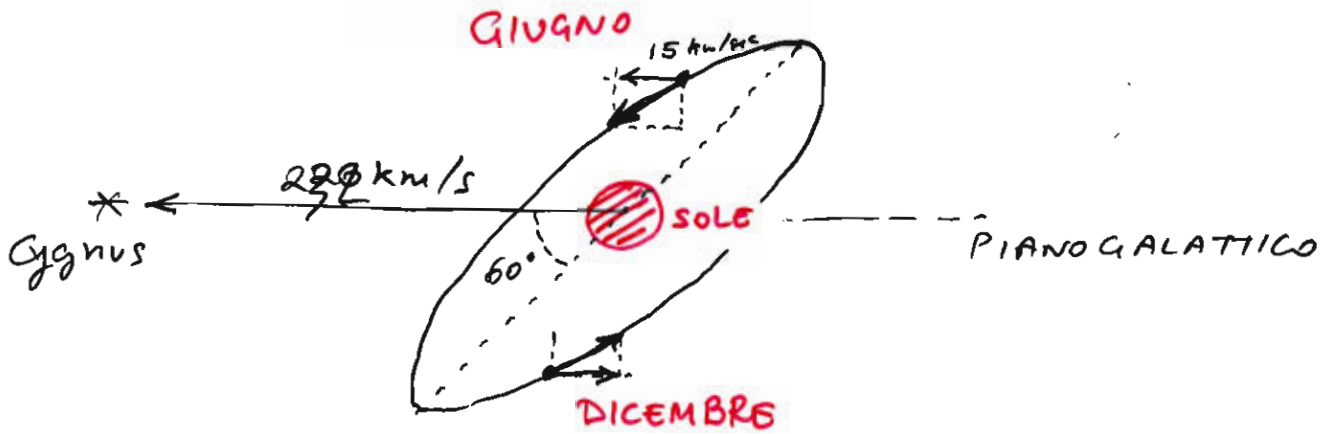
SIN DA METÀ DEGLI ANNI 80 SONO STATE CERCATE
DA DIVERSE COLLABORAZIONI SPERIMENTALI



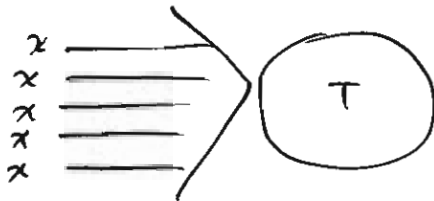
$\frac{dE}{dx} \sim$ DEPOSITO DI ENERGIA
(IONIZZAZIONE, CALORE,
LUCE ...)

ANAIS, ARDM, CEDEX/TEXONO, CDMS, COGeNT
COUPP, CRESST, DAMA/NaI, DAMA/LIBRA,
DEAP/CLEAN, DM-Ice, DRIFT, EDELWEISS
EURECA, KIMS, LUX, NAIAD, PandaX,
PICASSO, ROSEBUD, SIMPLE, TEXONO, WARP,
XENON10, XENON100, XENON1T, XMASS, ZEPLIN
e molti altri...

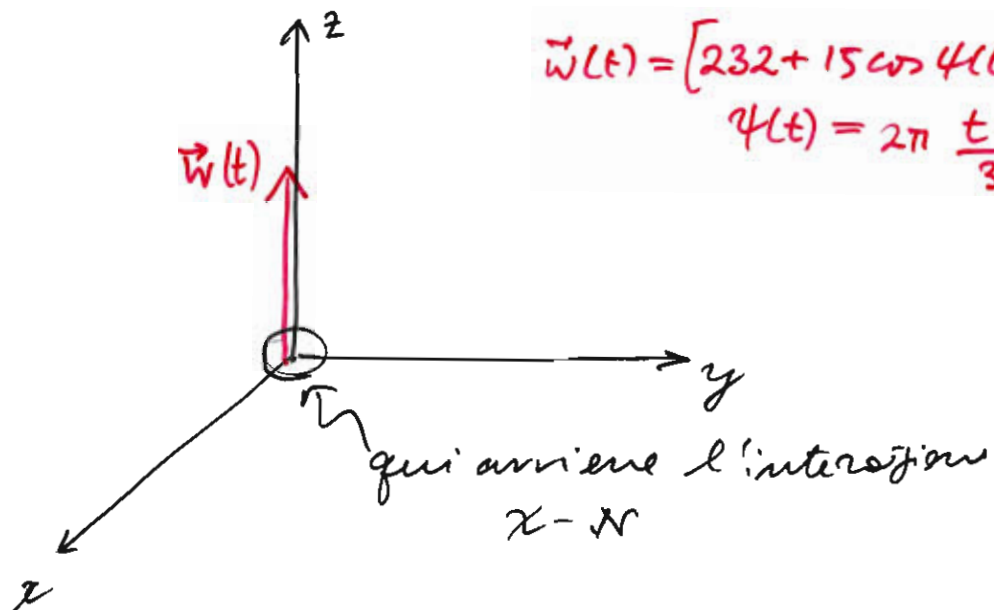
VENTO DI WIMP



NEL LABORATORIO (LA TERRA) SI AVVERTE UN VENTO DI WIMP VARIABILE DURANTE IL CORSO DELL'ANNO.



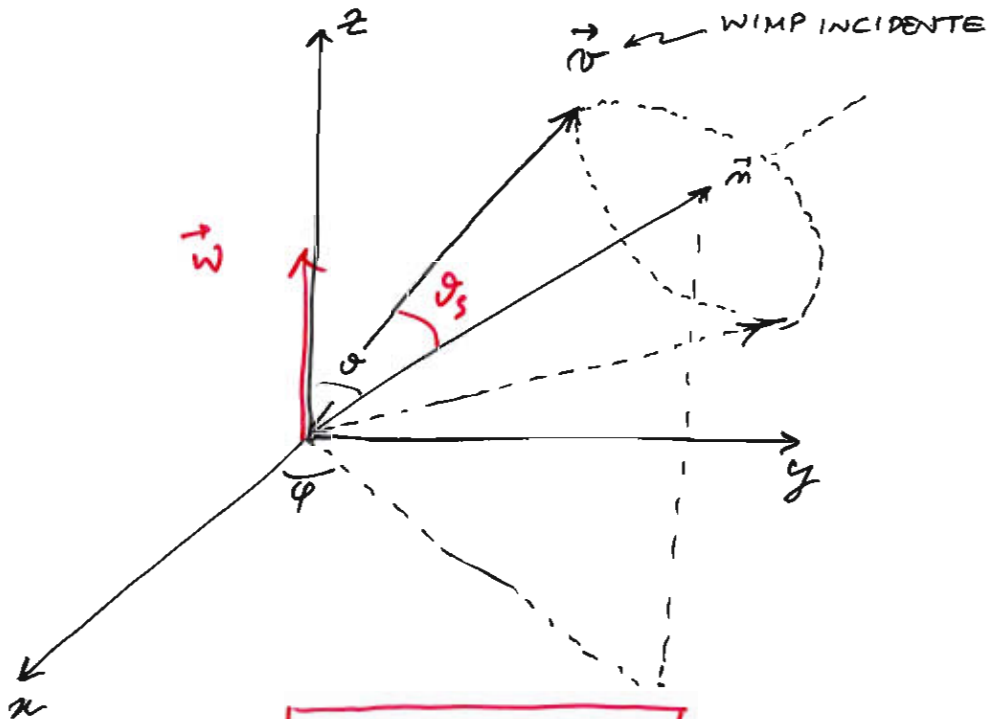
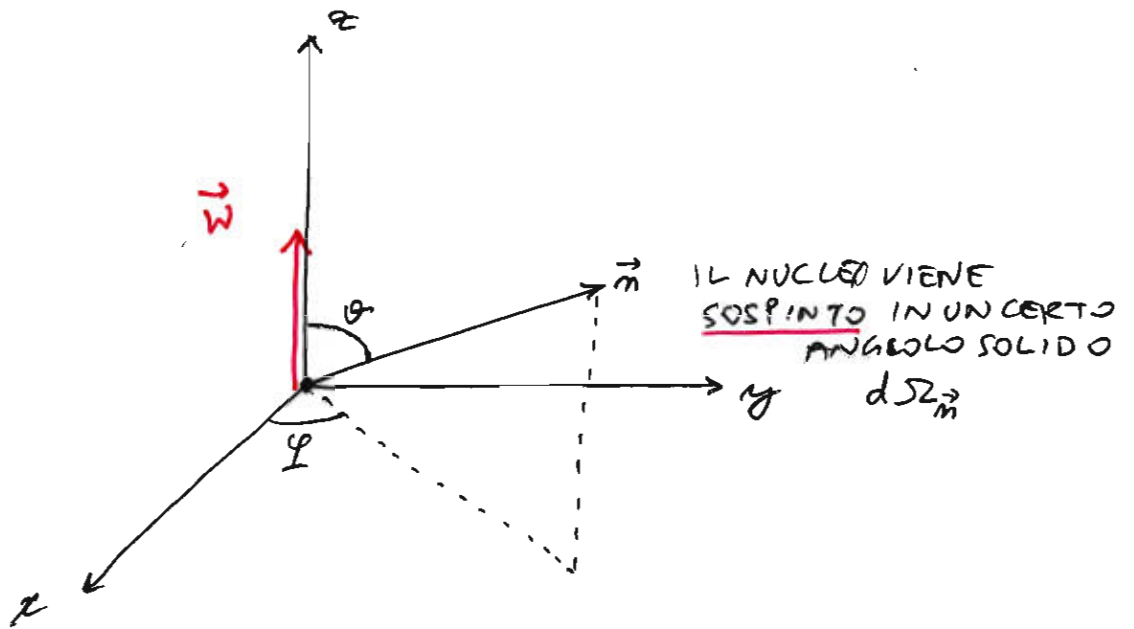
IN UN QUALSIASI PUNTO DELLA TERRA SI PÒ IDENTIFICARE ISTANTE PER ISTANTE LA DIREZIONE DEL SOLE CON UN VETTORE $\vec{w}(t)$, SCEGLIAMO UN SISTEMA DI RIF. CON L'ASSE \hat{z} SEMPRE PUNTATO NELLA DIREZIONE DI $\vec{w}(t)$



$$\vec{w}(t) = [232 + 15 \cos \psi(t)] \hat{k}$$

$$\psi(t) = 2\pi \frac{t - 152.5}{365.25}$$

VENTO DI WIMP II



$$\cos \theta_s = \sqrt{\frac{2T}{Mv^2}}$$

$$\mu = \frac{4M_\chi^2 M_N}{(M_\chi + M_N)^2}$$

VENTO DI WIMP III

ASSUMENDO CHE LE WIMP ABBIANO UNA DISTRIBUZIONE DI VELOCITA' TIPO MAXWELL-BOLTZMANN NELLA GALASSIA

$$f(\vec{v}) \sim \frac{1}{v_0^3} e^{-\frac{\vec{v}^2}{v_0^2}}$$

E OSSERVANDO CHE

$$\vec{v}' = \vec{v} + \vec{w}(t)$$

SI PUÒ CALCOLARE

$$\frac{1}{M} \frac{d\Gamma}{dt} \left(\text{cpd} / (\text{kg} \cdot \text{keV}) \right)$$

$\frac{d\Gamma}{dt}$ È ANALIZZABILE IN SERIE DI FOURIER.

SI TROVA CHE QUASI OVUNQUE È DOMINATA DA UNA SOLA ARMONICA: $\cos(\omega t + \varphi)$ CON $\omega = \frac{2\pi}{365}$!

IN PARTICOLARE QUASI OVUNQUE

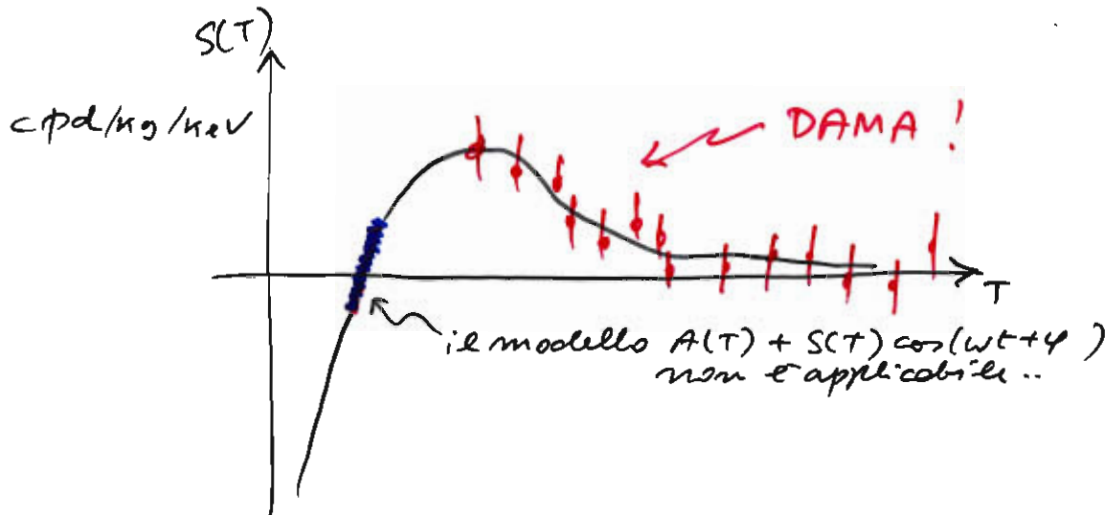
$$\frac{1}{M} \frac{d\Gamma}{dt} = A(t) + S(t) \cos(\omega t + \varphi)$$

PRENDENDO T VIA VIA PIÙ PICCOLE (NON RIVELABILI SPERIMENTALMENTE) CI SI AVVICINA A UNA REGIONE DI T DOVE PIÙ ARMONICHE CONCORRONO A RICOSTRUIRE $d\Gamma/dt$ — E L'AMPIEZZA DI OSCILLAZIONE È MOLTO DIMINUITA.

PER VALORI ANCORA PIÙ PICCOLI DI T, RITORNA LA DOMINANZA DI UNA SINGOLA ARMONICA

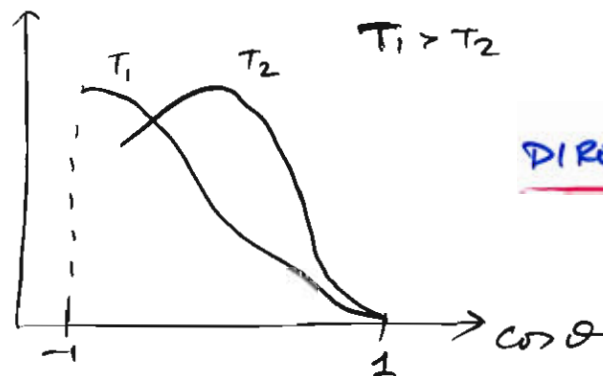
VENTO DI WIMP IV

$$S(T) \cos(\omega T + \varphi)$$



DAMA/LIBRA OSSERVA UNA MODULAZIONE ANNUALE SPETTACOLARE !

QUESTO RISULTATO NON È STATO AL MOMENTO CONFERMATO DA NESSUN ALTRO ESPERIMENTO



NUOVI MATERIALI ?
CRISTALLI ? NANOTUBI ?

ASSIONI

PARTICELLE PSEUDOSCALARI (PROPOSTE PER SPIEGARE COME MAI NON CI SONO VIOLAZIONI DI CP NELLE INTERAZIONI FORTI)

$$m_a \approx \frac{13 \text{ MeV}}{\Lambda (\text{GeV})}$$

$$g \sim \frac{\partial \mu \varphi}{\Lambda}$$

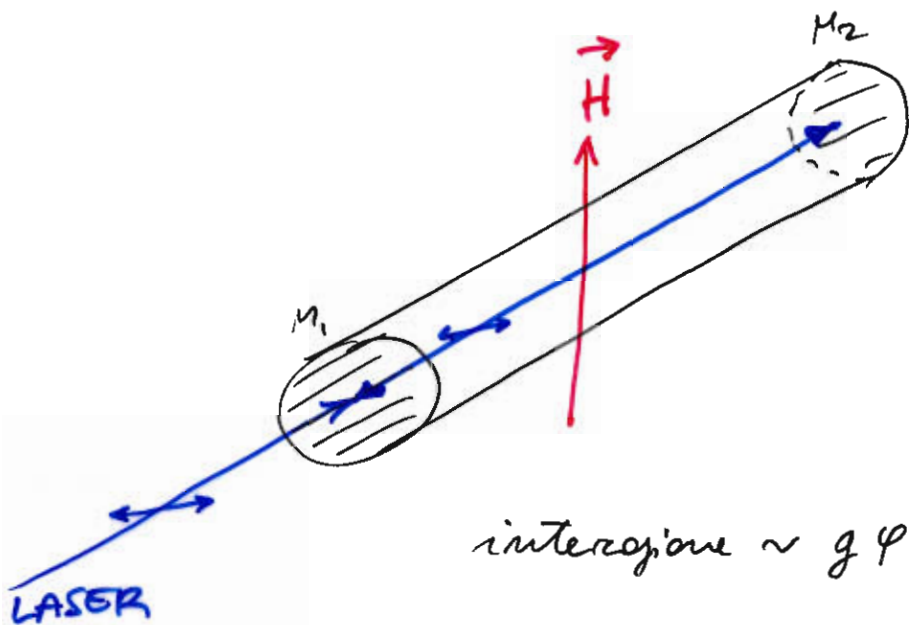
$\Lambda \approx 100 \text{ GeV}$ SUBITO ESCLUSO

LIMITI SUL RAFFREDDAMENTO DELLE GIGANTI ROSSE PER EMISSIONE DI ASSIONI $\Rightarrow \underline{\Lambda > 10^7 \text{ GeV}}$ (LIMITE INFERIORE)

LA COSMOLOGIA SUGGERISCE UN LIMITE SUPERIORE $\Lambda \sim 10^{12} \text{ GeV}$

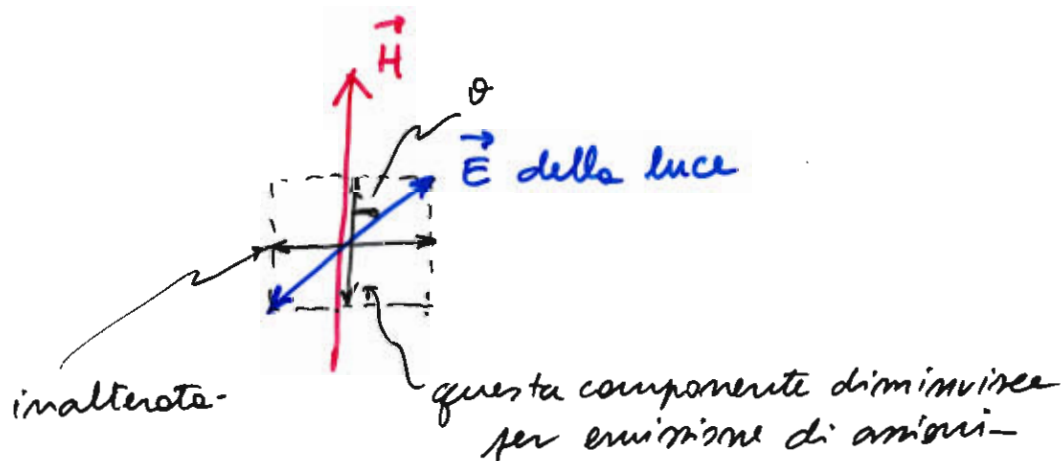
GLI ASSIONI INTERAGISCONO TROPPO DEBOLMENTE PER POTER PROVOCARE DEI RINCULI NUCLEARI E QUINDI SI PROVA A CERCARLI CON ALTRE TECNICHE.

IL MIRAGGIO DI PVLAS



FABRY-PÉROT

interazione $\sim g \varphi \vec{E} \cdot \vec{H}$



EFFETTO COMPRESSIVO (DICROISMO)

