

# Curriculum Fisica Nucleare e Subnucleare

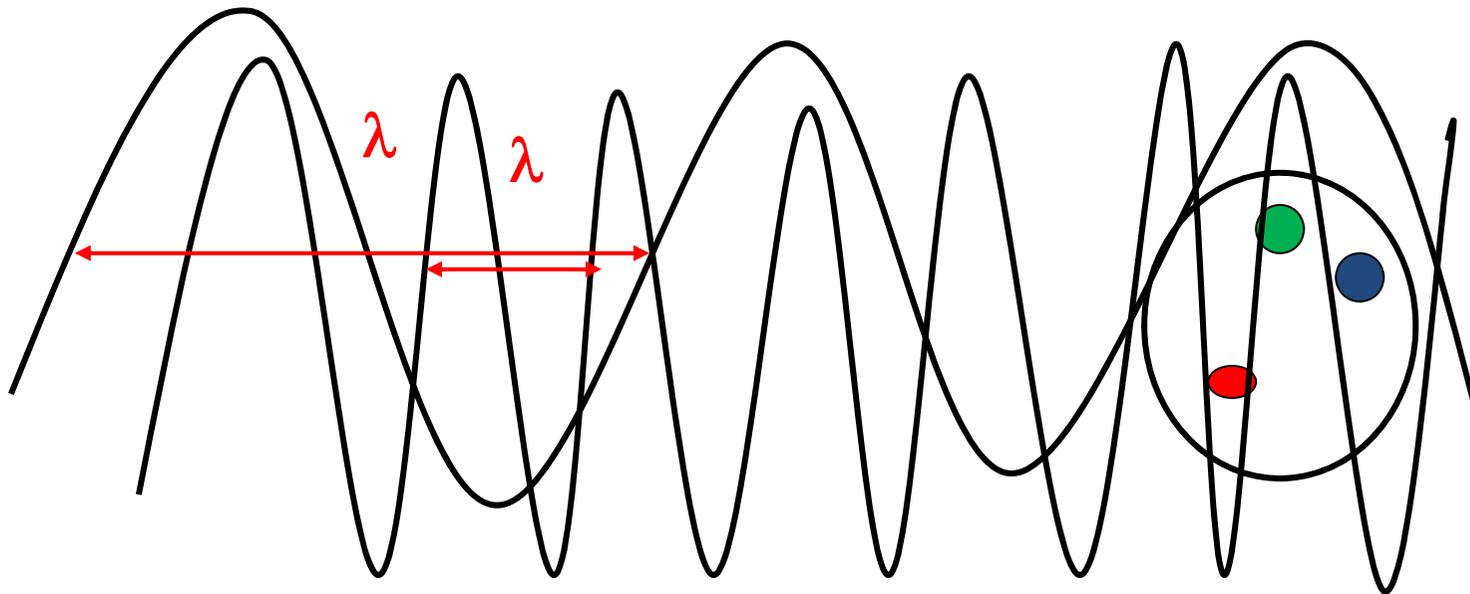
Alberto Rotondi

# Perchè energie sempre più elevate ed acceleratori sempre più grandi?

La ragione è una legge fondamentale della natura:

lunghezza d'onda  
della particella =  $\frac{\text{costante di Planck}}{\text{quantità di moto}}$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$



il proiettile vede la struttura interna rna

## protone

1 keV	90	$10^{-13}$ cm	
1 MeV	28	$10^{-13}$ cm	
100 MeV	3	$10^{-13}$ cm	nucleo
1 GeV	0.7	$10^{-13}$ cm	protone
14000 GeV	5	$10^{-19}$ cm	quark (LHC al CERN)

**Il nuovo acceleratore LHC è il microscopio più potente mai costruito !**

	intensità relativa	raggio d'azione	mediatore della forza	azioni principali
forza <b>forte</b>	<b>1</b>	<b><math>10^{-15}\text{m}</math></b>	 <b>gluone</b>	tenere assieme il nucleo
forza <b>elettromagnetica</b>	<b><math>10^{-2}</math></b>	<b>infinito</b>	 <b>fotone</b>	tenere assieme atomi e molecole
forza <b>debole</b>	<b><math>10^{-5}</math></b>	<b><math>&lt;10^{-17}\text{m}</math></b>	 <b>bosone W o Z</b>	far avvenire processi di trasformazione
forza <b>gravitazionale</b>	<b><math>10^{-38}</math></b>	<b>infinito</b>	 <b>gravitone</b>	tenere assieme corpi come sistemi planetari e stellari, galassie, ecc.



# La Lagrangiana

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}^{\text{bos,I}} = & -igc_\theta \left\{ \partial_\nu Z_\mu W_\mu^{[+} W_\nu^{-]} - Z_\nu W_\mu^{[+} \partial_\nu W_\mu^{-]} + Z_\mu W_\nu^{[+} \partial_\nu W_\mu^{-]} \right\} \\
& -igs_\theta \left\{ \partial_\nu A_\mu W_\mu^{[+} W_\nu^{-]} - A_\nu W_\mu^{[+} \partial_\nu W_\mu^{-]} + A_\mu W_\nu^{[+} \partial_\nu W_\mu^{-]} \right\} \\
& + \frac{1}{2} g^2 \left\{ (W_\mu^+ W_\nu^-)^2 - (W_\mu^- W_\nu^+)^2 \right\} + g^2 c_\theta^2 \left\{ Z_\mu Z_\nu W_\mu^+ W_\nu^- - Z_\mu Z_\nu W_\nu^+ W_\mu^- \right\} \\
& + g^2 s_\theta^2 \left\{ A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\nu^+ W_\mu^- \right\} + g^2 s_\theta c_\theta \left\{ A_\mu Z_\nu W_\mu^{[+} W_\nu^{-]} - 2A_\mu Z_\mu W_\nu^+ W_\nu^- \right\} \quad V_\nu^- \} \\
& -gMH \left\{ W_\mu^+ W_\nu^- + \frac{1}{2c_\theta^2} Z_\mu Z_\nu \right\} \\
& -\frac{i}{2} g \left\{ W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0) \right\} \\
& + \frac{1}{2} g \left\{ W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H) \right\} \\
& + \frac{1}{2} \frac{g}{c_\theta} Z_\mu (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) + ig \left( s_\theta A_\mu - \frac{s_\theta^2}{c_\theta} Z_\mu \right) MW_\mu^{[+} \phi^{-]} \\
& + ig \left( s_\theta A_\mu + \frac{c_\theta^2 - s_\theta^2}{c_\theta} Z_\mu \right) (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) \\
& -\frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- (HH + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \\
& -\frac{1}{8} \frac{g^2}{c_\theta^2} Z_\mu Z_\mu \left\{ HH + \phi^0 \phi^0 + 2(c_\theta^2 - s_\theta^2)^2 \phi^+ \phi^- \right\} \\
& -\frac{1}{2} g^2 \frac{s_\theta^2}{c_\theta} Z_\mu \phi^0 W_\mu^{[+} \phi^{-]} - \frac{i}{2} g^2 \frac{s_\theta^2}{c_\theta} Z_\mu H W_\mu^{[+} \phi^{-]} + \frac{1}{2} g^2 s_\theta A_\mu \phi^0 W_\mu^{[+} \phi^{-]} \\
& + \frac{i}{2} g^2 s_\theta A_\mu H W_\mu^{[+} \phi^{-]} - g^2 \frac{s_\theta}{c_\theta} (c_\theta^2 - s_\theta^2) Z_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - g^2 s_\theta^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^-, \tag{85} \tag{85}
\end{aligned}$$

bosone di Higgs

where we introduced the anti-symmetrized combination

$$A^{[+} B^{-]} = A^+ B^- - A^- B^+. \tag{86} \tag{86}$$

From Eq. (85) all the relevant Feynman rules for three-linear and four-linear vertices are straightforwardly derived.

htfor-

La struttura dello spazio-tempo  
in cui viviamo viene descritta da una importante  
funzione detta **Lagrangiana**

La Lagrangiana è il DNA dei fisici:

contiene le leggi della dinamica, se rimane  
invariante per simmetria essa corrisponde  
a **oggetti reali** ed a **quantità fisiche  
conservate**

La struttura completa della Lagrangiana  
è l'obiettivo principale  
Innanzitutto essa viene definita dalle  
**simmetrie**

# *Fisica sperimentale delle Interazioni Fondamentali*



<http://fisica.unipv.it/>

<http://www.pv.infn.it>

- ❑ In Dipartimento ed INFN si svolge un'intensa e diversificata attività di ricerca scientifica nel settore delle *Interazioni Fondamentali* (gravitazionale, debole, elettromagnetica e forte) dal punto di vista sia sperimentale che teorico. Dal punto di vista sperimentale si studiano le proprietà dei nuclei atomici (Fisica Nucleare) e delle particelle elementari (Fisica Subnucleare), nonché le loro interazioni. Inoltre, sono svolte anche ricerche in Astrofisica, Fisica Spaziale e Fisica Applicata.
- ❑ L'attività di ricerca si svolge in collaborazione con oltre duecento istituzioni italiane e straniere, dà luogo ogni anno a un centinaio di pubblicazioni scientifiche sulle più importanti riviste internazionali, a una ventina di comunicazioni a congressi di fisica in ogni parte del mondo, a molte tesi di laurea e di dottorato.

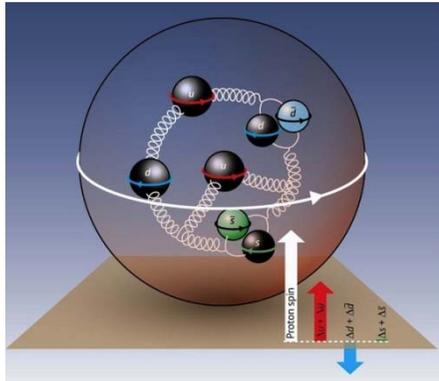
## *Laboratori di ricerca*

I Laboratori internazionali presso i quali sono attualmente in corso esperimenti cui partecipano gruppi di ricerca di Pavia sono:

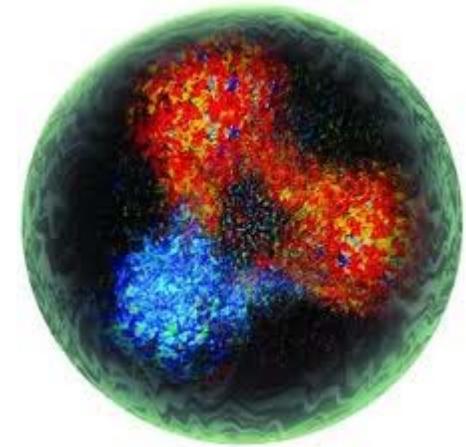
- Centro Europeo Ricerche Nucleari (CERN), Ginevra (CH)
- Paul Scherrer Institute (PSI), Zurigo (CH)
- Laboratori GSI (Germania)
- Rutherford Appleton Laboratories (Didcot, UK)
- Mainz Microtron (MAMI), Magonza (Germania)
- Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN (LNF), Frascati
- Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN (LNGS), L'Aquila
- Laboratorio di Energia Nucleare Applicata (LENA), Pavia



# Fisica delle interazioni fondamentali



$$\Delta E \cdot \Delta t \sim h/2\pi$$



- **Fisica delle Particelle Elementari.** In particolare, della produzione del Bosone di Higgs (la particella che dovrebbe dare massa a tutte le altre). Il gruppo coinvolti in queste ricerche **ATLAS** e **CMS** continueranno le misure presso l'acceleratore LHC
- **Fisica Adronica e Spettroscopia Nucleare** In questo settore vengono studiati problemi riguardanti le proprietà dei nucleoni (protoni e neutroni) liberi e nel mezzo nucleare. In particolare vengono considerati la loro struttura interna, le loro correlazioni, le distribuzioni di carica e di corrente nei nuclei, le correlazioni nucleari (Esperimenti **PANDA** e **MAMBO**).
- **Fisica di Precisione** : misura della gravità dell'atomo di antiidrogeno (**AEGIS**) e dello splitting iperfine di atomi muonici per la misura del raggio del protone (**FAMU**), violazione del numero delle famiglie leptoniche (**MEG**)

## *Astrofisica e Fisica spaziale*

Studio della radiazione gamma per lo studio dei nuclei galattici attivi, dei *gamma burst*, di sorgenti galattiche e per studiare il problema della *materia oscura*, che si ritiene sia presente nell'Universo e sia almeno dieci volte di più della materia «visibile». (**GAMMA-400**)



## *Fisica del neutrino*

Studio di oscillazioni di neutrino mediate dalla presenza di un eventuale nuovo stato di neutrino, cosiddetto sterile, per ora soltanto suggerito da risultati ambigui di passati esperimenti. Attività di ricerca e sviluppo volta principalmente allo studio e alla caratterizzazione di nuovi tipi di foto-rivelatori (PMT e Silicon PMT) che funzionino alle temperature criogeniche del LAr (**ICARUS/CERN-WA104**)

# *Fisica applicata*

**BNCT:** viene sperimentata una terapia anticancro bombardando con neutroni l'organo malato dopo aver provocato l'assorbimento di Boro da parte delle cellule cancerogene mediante opportuni vettori molecolari. I neutroni termici hanno un'elevata probabilità di essere catturati dal nucleo di Boro, che si disintegra rilasciando energia sufficiente a distruggere la cellula malata

**Effetti delle Radiazioni:** vengono studiati i meccanismi d'azione della radiazione ionizzante sulle strutture biologiche con applicazioni in radioterapia, radiobiologia, in radiodiagnostica e in radioprotezione (in particolare aerospaziale)



**CNAO**



**Insegnamenti che caratterizzano il  
CURRICULUM DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (72 CFU)**

**12 CFU** acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Laboratorio di fisica nucleare e subnucleare I <i>P. Vitulo</i>	FIS/04	6	I	M
Rivelatori di particelle <i>M. Livan</i>	FIS/01	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Elettrodinamica e relatività <i>M. Carfora</i>	FIS/02	6	I →	T
Complementi di fisica teorica <i>B. Pasquini</i>	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica <i>A. Bacchetta</i>	FIS/02	6	I	M
Metodi matematici della fisica teorica <i>M. Carfora</i>	FIS/02	6	I	M
Metodi Computazionali della Fisica <i>F. Piccinini</i>	FIS/02	6	II	M
Teoria delle interazioni fondamentali <i>O. Nicrosini</i>	FIS/02	6	I	M
Teoria quantistica dei campi <i>F. Piccinini</i>	FIS/02	6	II	M

**24 CFU** acquisibili con 4 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Fisica delle particelle elementari I <i>G. Boca</i>	FIS/04	6	II	M
Fisica nucleare I <i>C. Giusti</i>	FIS/04	6	II	M
Fisica nucleare II <i>M. Radici</i>	FIS/04	6	I	M
Laboratorio di fisica nucleare subnucleare II <i>A. Meneg.</i>	FIS/04	6	II	M
Radioattività I <i>P. Salvini</i>	FIS/04	6	I	M
Acceleratori e reattori nucleari <i>A. Braghieri</i>	FIS/04	6	I	M
Radioattività II <i>A. Fontana</i>	FIS/04	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Tecniche digitali di acquisizione dei dati <i>M. Corti</i>	FIS/01	6	I →	T
Tecnologie fisiche e beni culturali <i>A. De Bari, C. Mozzati</i>	FIS/07	6	II →	T
Procedimenti informatici di simulazione <i>A. Rimoldi</i>	FIS/01	6	II	M
Metodi statistici della fisica <i>P. Pedroni</i>	FIS/01	6	I	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti nei settori FIS/05, MAT/05, MAT/06, MAT/08, INF/01, ING-IND/09, ING-IND/18, ING-INF/01, ING-INF/05, ING-INF/07, MED/36

**12 CFU** acquisibili mediante insegnamenti a scelta libera.

## **A cosa serve la ricerca fondamentale?**

*It has only to do with the respect  
with which we regard one another,  
the dignity of men, our love of culture.*



*It has to do with:  
are we good painters, good sculptors, great poets?  
I mean all the things we really venerate  
in our country and are patriotic about.*

***It has nothing to do directly with defending our country  
except to make it worth defending.***

Bob Wilson, fondatore del Femilab  
alla commissione governativa sull'energia, 1969