

Concorso N. TI/INFN/R3/27372
Concorso pubblico per titoli ed esami per 40 posti con il profilo professionale di
Ricercatore di III livello professionale con contratto di lavoro a tempo
indeterminato

Prova scritta numero 2
5 giugno 2025

A courtesy translation is provided for the instructions, the essay outline and the exercises. The Italian version of the text is the only one with legal validity.

Parte 1 – Elaborato

Si descriva lo sviluppo di un rivelatore o di un apparato sperimentale atto a misurare un fenomeno fisico di interesse per le attività INFN, descrivendo i progressi tecnologici, il caso di fisica di applicazione, il contesto e la sensibilità attesa per la misura.

Describe the development of a detector or an experimental apparatus suitable for measuring a physical phenomenon of interest to INFN activities by describing the technological progresses, the physics case of application, the context, and the expected sensitivity of the measurement.

Parte 2: Gruppo A – Esercizi prefissati

Esercizio prefissato A01

Un ciclotrone ha un diametro di 2 m e un campo magnetico di 1.5 T. Selezionare tra le opzioni fornite quella che meglio approssima l'energia massima dei protoni in uscita dall'acceleratore.

A cyclotron has a diameter $d = 2$ m and a magnetic field of 1.5 T. Among the following options, select the one that better approximates the maximum proton energy out of the accelerator.

- A) 50 MeV
- B) 100 MeV
- C) 150 MeV
- D) 200 MeV

Esercizio prefissato A02

In unità naturali ($\hbar = c = 1$), la sezione d'urto di neutrini $\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-$ ad energie molto minori della massa del bosone W può essere espressa in termini della costante G_F di Fermi e dell'energia E_{cm} nel centro di massa. Si dia una espressione approssimata della sezione d'urto nei termini di queste grandezze, e la si valuti numericamente esprimendola in cm^2 per una E_{cm} di 600 MeV. Sia: $G_F = 1.1664 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$, $\hbar = 1.055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

In natural units ($\hbar=c=1$), the cross section of neutrinos $\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-$ at energies much less than the W boson mass can be expressed in terms of the Fermi constant G_F and the energy E_{cm} in the center of mass. Give an approximate expression of the cross section in terms of these quantities and evaluate it numerically by expressing it in cm^2 for $E_{cm} = 600 \text{ MeV}$.

Let: $G_F = 1.1664 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$, $\hbar = 1.055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Esercizio prefissato A03

Un sistema, composto da 5 contatori identici, è investito da un fascio di particelle. Nel tempo durante il quale sono stati registrati $m=100$ eventi con la coincidenza di 5 contatori si registrano $n=49$ eventi con la coincidenza di 4 contatori. Stimare l'efficienza del singolo contatore e la sua incertezza.

A system composed of 5 identical counters is hit by a particle beam. In the time during which $m=100$ events with the coincidence of 5 counters have been recorded, $n=49$ events with the coincidence of 4 counters are recorded. Estimate the efficiency of the single counter and its uncertainty.

Esercizio prefissato A04

Un fascio di ^{27}Al incide su un bersaglio sottile di ^{27}Al con $E_{\text{Lab}} = 70$ MeV. Confrontare l'energia a disposizione nel sistema centro di massa con una stima della barriera coulombiana. Sapendo che il Q valore della reazione è $Q = 21.86$ MeV, calcolare l'energia di eccitazione del nucleo composto di ^{54}Fe .

A ^{27}Al beam impinges on a ^{27}Al thin target with an incident energy $E_{\text{Lab}}=70$ MeV. Compare the energy available in the center of mass with the coulomb barrier. Knowing that the Q value of the reaction is $Q = 21.86$ MeV, calculate the excitation energy of the compound nucleus ^{54}Fe .

Esercizio prefissato A05

Spiegare brevemente il significato del fattore di Fano. Un rivelatore al silicio rivela fotoni da 300 keV con una efficienza del 90% e con un rumore elettronico di $150 e^-$. Assumendo 3.6 eV l'energia di ionizzazione in silicio e un rapporto segnale rumore di 400, calcolare anche in modo approssimativo il fattore di Fano del rivelatore.

Briefly explain the meaning of the Fano factor. A silicon detector detects 300 keV photons with 90% efficiency and with an electron noise $150 e^-$. Assuming 3.6 eV for the silicon ionization energy and a signal to noise ratio of 400, calculate approximately the Fano factor of the detector.

Esercizio prefissato A06

Partendo da un generatore di numeri casuali distribuiti uniformemente tra 0 e 1, descrivere i metodi per ottenere un insieme di numeri distribuiti secondo una pdf normale, con valore di aspettazione $\mu=0$ e deviazione standard $\sigma=1$.

Starting from a generator of uniformly distributed random numbers between 0 and 1, describe the methods to obtain a set of numbers distributed according to a normal pdf, with expectation value $\mu=0$ and standard deviation $\sigma=1$.

Esercizio prefissato A07

Un analizzatore magnetico è composto da un dipolo da 1.2 T con dimensione $L=0.5$ m e due tracciatori identici posti a monte e a valle del dipolo. Ogni tracciatore ha una risoluzione angolare di 8.1 mrad. L'analizzatore è investito da un fascio di particelle di quantità di moto di 1200 e 1500 MeV/c. Stimare la contaminazione delle particelle di maggior quantità di moto nel campione che seleziona il 95% di quelle più lente. Si allega la tabella delle aree nelle code esterne a $\pm\delta$ per distribuzione gaussiana.

A magnetic analyser consists of a 1.2 T dipole with dimension $L=0.5$ m and two identical tracers placed upstream and downstream of the dipole. Each tracer has an angular resolution of 8.1 mrad. The analyser is hit by a beam of particles with momentum of 1200 and 1500 MeV/c. Estimate the contamination of the highest momentum particles in the sample, which selects 95% of the lower momentum ones. Attached is a table of areas in the outer tails at $\pm\delta$ by Gaussian distribution.

α	δ	α	δ
0.3173	1σ	0.2	1.28σ
4.55×10^{-2}	2σ	0.1	1.64σ
2.7×10^{-3}	3σ	0.05	1.96σ
6.3×10^{-5}	4σ	0.01	2.58σ
5.7×10^{-7}	5σ	0.001	3.29σ
2.0×10^{-9}	6σ	10^{-4}	3.89σ

A
28
cif
28
sm
B

Esercizio prefissato A08

Un fascio di ioni pesanti incide su un bersaglio e vengono prodotti nuclei di ^{82}Se con $\beta=0.05$. I nuclei decadono gamma dal primo stato 2^+ verso lo stato fondamentale. A distanza $d=10\ \mu\text{m}$, a valle del bersaglio, viene posizionato uno stopper di Nb. Un rivelatore al germanio misura sia i gamma emessi dal ^{82}Se in volo sia quelli emessi dal ^{82}Se nello stopper. Si osserva che il numero di conteggi in entrambi i picchi è lo stesso. Determinare la probabilità di transizione, la natura elettromagnetica (E o M) e la multipolarità della radiazione emessa. ($\ln 2 = 0.693$).

A beam of heavy ions impinges on a target where ^{82}Se nuclei with $\beta=0.05$ are produced. The nuclei decay gamma from the first 2^+ state to the ground state. At a distance $d=10\ \mu\text{m}$, downstream of the target, a stopper of Nb is placed. A germanium detector measures both the gamma emitted by the ^{82}Se in flight and the gamma emitted by the ^{82}Se in the stopper. It is observed that the number of counts in both peaks is the same. Determine the transition probability, the electromagnetic nature (E or M) and the multipolarity of the emitted radiation. ($\ln 2 = 0.693$).

Esercizio prefissato A09

Valutare approssimativamente la massa di acqua necessaria per rivelare un neutrino solare al giorno tramite il processo di $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$, considerando un flusso di neutrini di $\approx 6.5 \times 10^6\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e una sezione d'urto $\sigma_{\nu e} \approx 10^{-44}\ \text{cm}^2$ che tengono già in conto le soglie in energia per la rivelazione del processo.

Calculate the mass of water needed to detect one solar neutrino per day via the diffusion process $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$, considering a neutrino flux of $\approx 6.5 \times 10^6\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and a cross section $\sigma_{\nu e} \approx 10^{-44}\ \text{cm}^2$ which already consider the energy thresholds for the detection of the process.

Esercizio prefissato A10

Un rivelatore di raggi X, pienamente efficiente ma con tempo morto di lettura τ , è posto a una distanza di 1.41m da una sorgente isotropa da 50 MBq. Tra il rivelatore e la sorgente è posto un collimatore con una sezione di $1\ \text{cm}^2$; il tasso di conteggio è di $150\ \text{s}^{-1}$. Si stimi il tasso di conteggio quando il rivelatore e il collimatore sono posti a una distanza di 1 m dalla sorgente.

An X-ray detector, fully efficient but with readout dead time, is placed at a distance of 1.41m from an isotropic 50 MBq source. A $1\ \text{cm}^2$ collimator is placed between the detector and the source; the count rate is $150\ \text{s}^{-1}$. Estimate the count rate when the detector and collimator are placed at a distance of 1m from the source.

Parte 3: Gruppo B - Esercizi a scelta

Esercizio a scelta numero B01

Definire brevemente l'emittanza di un fascio di particelle. Un fascio di protoni ha energia $E = 10\ \text{MeV}$, una rms trasversale $\sigma_x = 0.5\ \text{mm}$, divergenza $\sigma_{x'} = 1.0\ \text{mrad}$ e coefficiente di correlazione (di Pearson) $\rho = 0.3$. Calcolare l'emittanza geometrica rms e la matrice di covarianza (σ -matrix) del fascio.

Briefly define the emittance of an ion beam. A proton beam has an energy $E = 10\ \text{MeV}$, transverse rms $\sigma_x = 0.5\ \text{mm}$, divergence $\sigma_{x'} = 1.0\ \text{mrad}$ and correlation coefficient (Pearson) $\rho = 0.3$. Calculate the geometrical rms emittance and the covariance matrix (σ -matrix) of the beam.

Esercizio a scelta numero B02

I numeri magici del modello a shell nucleare corrispondono a quelli di un potenziale di oscillatore armonico fino a $Z=N=20$. I successivi numeri magici non corrispondono a quelli attesi da questo potenziale. Spiegare quale interazione aggiuntiva gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo dei numeri magici per le shell superiori. Indicare l'espressione analitica di questa interazione e quali sono i numeri magici fino a quelli del ^{208}Pb .

The magic numbers of the nuclear shell model correspond to those of a harmonic oscillator potential up to $Z=N=20$. The higher magic numbers do not correspond to those expected from this potential. Explain what additional interaction plays

a key role in the development of magic numbers for higher shells. Give the analytical expression of this interaction and list the magic numbers up to those of ^{208}Pb .

Esercizio a scelta numero B03

Un raggio γ di alta energia, $E_0=10\text{ TeV}$, incide verticalmente in atmosfera generando immediatamente uno sciame elettromagnetico. Nota l'energia critica, $E_c=100\text{ MeV}$, e la lunghezza di radiazione, $X_0 = 37\text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, in atmosfera, calcolare l'altitudine a cui si ha il massimo dello sciame. Si assuma un'atmosfera "esponenziale" che si estende per $H = 6.4\text{ km}$ ed in cui il legame tra la profondità di atmosfera attraversata e l'altitudine sia legata dalla relazione:

$$x(h) = X_{\text{tot}} e^{-\frac{h}{H}}$$

con uno spessore complessivo dell'atmosfera $X_{\text{tot}} = 1030\text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$. Siano: $\ln(2) = 0.69$, $\ln(3) = 1.1$, $\ln(5) = 1.61$, $\ln(7) = 1.95$.

An energetic γ ray with $E_0=10\text{TeV}$, enters vertically into the atmosphere immediately generating an electromagnetic shower. Let the critical energy, $E_c=100\text{ MeV}$, and the radiation length, $X_0 = 37\text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, in atmosphere, evaluate the altitude at which the shower maximum occurs. Assume an "exponential" atmosphere spanning $H= 6.4\text{ km}$ where the atmospheric depth and the altitude are related by the expression:

$$x(h) = X_{\text{tot}} e^{-\frac{h}{H}}$$

with a total atmosphere thickness $X_{\text{tot}} = 1030\text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$. Let: $\ln(2) = 0.69$, $\ln(3) = 1.1$, $\ln(5) = 1.61$, $\ln(7) = 1.95$.

Esercizio a scelta numero B04

Si investe un bersaglio di idrogeno gassoso con i fotoni provenienti da una sorgente di ^{60}Co . Da quale dei processi possibili provengono i positroni prodotti? Si giustifichi la risposta. (La sorgente di Co ha due linee da 1.17 MeV e da 1.33 MeV.)

A hydrogen gas target is hit with photons from a ^{60}Co source. From which of the possible processes are the positrons produced? Justify the answer. (The Co source has two gamma lines of 1.17 MeV and 1.33 MeV)

Esercizio a scelta numero B05

Un interferometro di Michelson rileva onde gravitazionali tramite variazioni del cammino ottico Δx_{GW} , indotte da un'onda su bracci di lunghezza L . Un laser di lunghezza d'onda λ e potenza P_0 illumina il beam splitter e i fotoni sono rivelati da un fotodiodo su un intervallo temporale Δt . Lo shot noise, dovuto alla quantizzazione della luce, introduce un'incertezza δx_{shot} sul cammino ottico. Si calcoli il rapporto segnale-rumore $\text{SNR} = \frac{\Delta x_{\text{GW}}}{\delta x_{\text{shot}}}$ e si discuta come varia se si usano cavità risonanti Fabry-Perot che amplificano di un fattore 100 il cammino ottico.

$[\lambda \approx 1000\text{ nm}, P_0 = 10\text{ W}, \Delta t = 1\text{ ms}, \Delta x_{\text{GW}} = 6 \cdot 10^{-18}\text{ m}, L = 3\text{ km}, \text{Planck's constant: } h \approx 7 \times 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}]$

A Michelson interferometer detects gravitational waves through variations in the optical path length Δx_{GW} , induced by a wave on arms of physical length L . A laser with wavelength λ and power P_0 illuminates the beam splitter; photons are detected by a photodiode over a time window Δt . Shot noise, arising from the quantized nature of light, introduces an uncertainty δx_{shot} in the optical path. Estimate the signal to noise ratio $\text{SNR} = \frac{\Delta x_{\text{GW}}}{\delta x_{\text{shot}}}$, and discuss how it changes in the presence of Fabry-Perot cavities that amplify the optical path by a factor of 100. $[\lambda \approx 1000\text{ nm}, P_0 = 10\text{ W}, \Delta t = 1\text{ ms}, \Delta x_{\text{GW}} = 6 \cdot 10^{-18}\text{ m}, L = 3\text{ km}, \text{Planck's constant: } h \approx 7 \times 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}]$

Esercizio a scelta numero B06

Descrivere brevemente i principali meccanismi di danneggiamento dei rivelatori al Silicio e indicare gli ordini di grandezza dei flussi limite di alcune radiazioni che un diodo al Silicio può normalmente sopportare. Nel caso di una sorgente alfa da 20 MBq posta a 5 cm da un rivelatore a barriera di superficie, calcolare il tempo di esposizione prima che il danno sia rilevante.

Briefly describe the main damage mechanisms affecting silicon detectors and indicate the order of magnitude of the radiation flux limits that a silicon diode can typically withstand. In the case of a 20 MBq alpha source at 5 cm from a surface-barrier detector, calculate the exposure time before the damage becomes significant.

Esercizio a scelta numero B07

Per la produzione di un fascio radioattivo di ^{26}Al , si bombarda un bersaglio di carburo di silicio (spessore equivalente di ^{28}Si di 1.4 g/cm^2) con un fascio di protoni di 40 MeV e una corrente di $100 \mu\text{A}$. I nuclei di ^{26}Al vengono prodotti con una sezione d'urto $\sigma=10\text{mb}$. Calcolare quanti nuclei di ^{26}Al vengono prodotti in 4 giorni di misura. In questo processo di produzione di fasci radioattivi si utilizza il metodo Isotope Separation Online (ISOL). Descrivere brevemente le principali caratteristiche di questo metodo e quelle dei fasci erogati.

To produce a radioactive beam of ^{26}Al a silicon carbide target (^{28}Si equivalent thickness of 1.4 g/cm^2) is bombarded with a proton beam of 40 MeV and a current of $100 \mu\text{A}$. Nuclei of ^{26}Al are produced with a cross section $\sigma=10\text{mb}$. Calculate how many ^{26}Al nuclei are produced in 4 days of measurement. In this process of production of radioactive beams, the ISOL (Isotope Separation On-line) method is used. Describe briefly the principal characteristics of this method and those of the delivered beams.

Esercizio a scelta numero B08

Assimilando la galassia ad un disco di 15kpc di raggio e $200\text{-}300 \text{ pc}$ di spessore, quale è l'energia massima dei protoni di origine galattica? Si consideri un valore medio del campo magnetico galattico $B=4 \mu\text{G}$ e $1 \text{ parsec}=3 \times 10^{16} \text{ m}$.

Assimilating the galaxy to a disk with a 15kpc radius and a $200\text{-}300 \text{ pc}$ thickness, what is the maximum energy of protons of galactic origin? Consider an average value of the galactic magnetic field $B=4 \mu\text{G}$ and $1 \text{ parsec}=3 \times 10^{16} \text{ m}$.

Esercizio a scelta numero B09

Il neutrone libero decade in circa 890 s . Si stimi la larghezza di decadimento di $\Xi^- \rightarrow \Sigma^0 e^- \bar{\nu}_e$ assumendo $m_n - m_p = 1.3 \text{ MeV}$, $m_\Xi - m_\Sigma = 200 \text{ MeV}$, $\sin(\theta_C) \sim 0.22$ giustificando le approssimazioni.

The free neutron decays in about 890 s . Let us estimate the decay width of $\Xi^- \rightarrow \Sigma^0 e^- \bar{\nu}_e$ assuming $m_n - m_p = 1.3 \text{ MeV}$, $m_\Xi - m_\Sigma = 200 \text{ MeV}$, $\sin(\theta_C) \sim 0.22$ justifying the approximations.

Esercizio a scelta numero B10

In che modo, in collisioni centrali Pb-Pb a $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$, la rivelazione di fotoni diretti permette di ricavare informazioni sulla temperatura iniziale del Quark-Gluon-Plasma (QGP)? Che cosa si misura e quali effetti rendono questa corrispondenza indiretta? Quanto vale l'ordine di grandezza della temperatura iniziale del QGP? [$1 \text{ MeV} \approx 1.16 \times 10^{10} \text{ K}$].

How, in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$, is the detection of direct photons a way to extract information about the initial temperature of the Quark-Gluon Plasma (QGP)? What is measured, and what effects make this correspondence indirect? Which is the order of magnitude of the QGP initial temperature? [$1 \text{ MeV} \approx 1.16 \times 10^{10} \text{ K}$].

Esercizio a scelta numero B11

Un rivelatore PET ha efficienza per il singolo fotone $\epsilon = 0.65$, finestra temporale di coincidenza $\tau = 8 \text{ ns}$ e una accettazione geometrica $g = 0.015$. Il rapporto fra il tasso di coincidenze accidentali e il tasso di coincidenze rilevate per una sorgente di 150 kBq vale:

A PET detector has a single photon efficiency $\epsilon = 0.65$, a coincidence time window of $\tau = 8 \text{ ns}$ and a geometric acceptance $g = 0.015$. The ratio of the accidental coincidence rate to the true coincidence rate for a 150 kBq source is:

- A) 0.12
- B) 0.08
- C) 0.01
- D) 0.15

Esercizio a scelta numero B12

Allo scopo di popolare il secondo stato 0^+ di un nucleo con numero pari di protoni e di neutroni quale delle seguenti reazioni nucleari è la più adatta per questo scopo.

- A) Una reazione di fusione-evaporazione;
- B) Una reazione di trasferimento (t,p);
- C) Una reazione di eccitazione coulombiana;
- D) Una reazione di multi-nucleon transfer.

In order to populate the second 0^+ state of a nucleus with even number of protons and neutrons which of the following nuclear reactions is best suited for this purpose.

- A) *A fusion-evaporation reaction.*
- B) *A transfer reaction (t,p)*
- C) *A coulombic excitation reaction*
- D) *A multi-nucleon transfer reaction*

Esercizio a scelta numero B13

Indicare quale di queste affermazioni NON è vera per sciami atmosferici generati da raggi cosmici ultra-energetici:

- A) a parità di energia della particella iniziale, il numero di e^+ e γ generati al massimo dello sciame da un protone e da un nucleo di massa A sono sensibilmente diversi;
- B) a parità di energia della particella iniziale, il numero di μ generati al massimo dello sciame da un nucleo di massa A sono pressoché uguali, o comunque solo lievemente superiori, rispetto a quelli generati da un protone;
- C) a parità di energia della particella iniziale, il massimo della componente e.m. di uno sciame generato un nucleo con massa A avviene ad una profondità minore in atmosfera, ovvero ad altitudini maggiori rispetto a quello di un protone.
- D) la posizione del massimo della componente e.m. dello sciame di un nucleo è caratterizzato da una fluttuazione minore rispetto a quella di un protone.

Indicate which of the following statements is NOT true for atmospheric showers generated by ultra-energetic cosmic rays:

- A) *for the same energy of the initial particle, the number of e^+ and γ generated at the maximum of the shower by a proton and by a nucleus of mass A are significantly different;*
- B) *for the same energy of the initial particle, the number of μ generated at the maximum of the shower by a nucleus of mass A are almost equal, or in any case only slightly higher, than those generated by a proton;*
- C) *for the same energy of the initial particle, the maximum of the e.m. component of a shower generated by a nucleus with mass A occurs at a shallower depth in the atmosphere, or at higher altitudes than that of a proton;*
- D) *the position of the maximum of the e.m. component of the shower of a nucleus is characterized by a smaller fluctuation than that of a proton.*

Esercizio a scelta numero B14

Un calorimetro elettromagnetico, posto a 2 metri dal punto interazione dei fasci, riesce a separare sciami con distanza superiore a 30 cm. Qual'è la massima energia di un di π^0 affinché i fotoni del decadimento siano misurati individualmente?

An electromagnetic calorimeter, placed 2 metres from the beam interaction point, can separate showers with relative distance greater than 30 cm. What is the maximum π^0 energy to measure individually the two decay photons?

Esercizio a scelta numero B15

Descrivere brevemente le differenze principali fra le adroterapie con protoni e con carbonio. Il range di protoni da 60 MeV in acqua è 3 cm. Calcolare il range in acqua dei nuclei di carbonio accelerati con 60 MeV/u e il rapporto fra il *range straggling* dei due ioni.

Briefly describe the main differences between proton and carbon ion hadrotherapy. The range of 60 MeV protons in water is 3 cm. Calculate the range of carbon nuclei accelerated with 60 MeV/u and the ratio of the range straggling of the two ions.

Esercizio a scelta numero B16

Uno dei meccanismi più importanti della nucleosintesi stellare è la fusione nucleare. Indicare fino a quale elemento si può arrivare con questo meccanismo. Giustificare e descrivere schematicamente i possibili meccanismi di reazione per la produzione di elementi più pesanti.

One of the most important mechanisms of stellar nucleosynthesis is the nuclear fusion. State up to which element can be achieved by this mechanism. Justify and describe schematically the possible reaction mechanisms for the production of heavier elements.

Esercizio a scelta numero B17

Indicare la reazione che produce la maggioranza dei neutrini solari, l'energia massima dei neutrini da essa prodotti e descrivere sinteticamente una tecnica sperimentale per rivelare i neutrini prodotti da questo processo predominante.

Report the reaction that produces most of the solar neutrinos, the maximum energy of the neutrinos produced by it, and briefly describe one experimental technique used to detect the neutrinos produced in this predominant process.

Esercizio a scelta numero B18

Utilizzando una macchina con luminosità istantanea $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ si vuol osservare il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$. Quanto tempo bisogna acquisire per effettuare la misura con una significatività $\text{Sig} = \frac{N_H}{\sqrt{N_H + N_B}}$ superiore a 2. Si assuma risoluzione in massa invariante M delle coppie $\gamma\gamma$ di 3 GeV, efficienza di rivelazione dei fotoni 70%, un fondo costante ed irriducibile nella distribuzione in massa invariante dei fotoni pari a $dN_B/dM = 8000$ eventi/GeV per ogni fb^{-1} di luminosità integrata, $\sigma(pp \rightarrow HX) = 30 \text{ pb}$ e $BR(H \rightarrow \gamma\gamma) = 0.3\%$

Using a machine with instantaneous luminosity $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ one wants to observe the channel $H \rightarrow \gamma\gamma$. How much time of acquisition is necessary to make the measurement with a significance $\text{Sig} = \frac{N_H}{\sqrt{N_H + N_B}}$ greater than 2. Let assume invariant mass resolution M of the pairs $\gamma\gamma$ of 3 GeV, detection photon efficiency of 70%, a constant and irreducible background in the invariant mass distribution of photons equal to $dN_B/dM = 8000$ events/GeV for each fb^{-1} of integrated luminosity, $\sigma(pp \rightarrow HX) = 30 \text{ pb}$ e $BR(H \rightarrow \gamma\gamma) = 0.3\%$.

Esercizio a scelta numero B19

Spiegare brevemente cosa si intende per fase sincrona di un sincrotrone. Un sincrotrone con un anello di $C = 87$ km accelera protoni da 2 a 20 TeV in $t = 1500$ s. Il sistema di accelerazione agisce con $V = 15$ MV. Calcolare la fase sincrona del sincrotrone. (Si assuma la velocità dei protoni pari a c).

Briefly explain what the synchronous phase of a synchrotron is. A synchrotron with a ring $C = 87$ km accelerates protons from 2 to 20 TeV in $t = 1500$ s. The acceleration system works with $V = 15$ MV. Calculate the synchronous phase. (Assume c for the proton speed).

Esercizio a scelta numero B20

Nel decadimento alfa del ^{238}Pu in ^{234}U , si rivelano particelle alfa con energie: 5590, 5547, 5447, 5294, 5091 keV. Se gli stati popolati nel ^{234}U hanno spin e parità 0^+ , 2^+ , 4^+ , 6^+ e 8^+ , di che tipo di struttura nucleare si tratta? Indicare il carattere elettromagnetico (E,M) e la molteplicità delle transizioni gamma nel decadimento verso lo stato fondamentale. Se si trattasse di un rotore perfetto, a che energia si troverebbe lo stato 10^+ ?

In the alpha decay of ^{238}Pu in ^{234}U , alpha particles with energies: 5590, 5547, 5447, 5294, 5091 keV are detected. If the populated states in ^{234}U have spin and parity 0^+ , 2^+ , 4^+ , 6^+ and 8^+ , which type of nuclear structure is it? Indicate the electromagnetic character (E,M) and multiplicity of gamma transitions in the decay to the ground state. If it were a perfect rotor, at what energy would the 10^+ state be found?

Esercizio a scelta numero B21

Assumiamo che il campo magnetico della terra sia dovuto ad un dipolo magnetico di momento pari a 8×10^{22} Am² posizionato nel suo centro e diretto lungo l'asse di rotazione. Valutare quale dovrà essere la minima quantità di moto, espressa in GeV/c, di perché un protone possa raggiungere la superficie terrestre all'equatore provenendo da est. Si consideri la terra sferica, con raggio di 6400 km e si trascurino interazioni delle particelle incidenti con l'atmosfera.

Let us assume that the Earth's magnetic field is due to a magnetic dipole with a moment of 8×10^{22} Am² positioned at its center and directed along the axis of rotation. Evaluate what the minimum momentum, expressed in GeV/c, of a proton to reach the Earth's surface at the equator coming from the east. Consider the Earth as a sphere, with a radius of 6400 km, and neglect interactions of incident particles with the atmosphere.

Esercizio a scelta numero B22

Si indichi quale di queste reazioni NON può avvenire.

Indicate which of these reactions CANNOT occur.

- A) $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \bar{\nu}_\mu$
- B) $\mu^+ e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu \nu_e$
- C) $p p \rightarrow p p \bar{p} K^+ \Sigma^0$
- D) $\pi^- n \rightarrow K^- \Sigma^0$

Esercizio a scelta numero B23

Spiegare cos'è il fattore di qualità della radiazione e fornire alcuni valori per diversi tipi di radiazione. Con tassi di dose di $\dot{D}_\gamma = 10$ mrad/h di gamma, $\dot{D}_{nv} = 10$ mrad/h di neutroni veloci e $\dot{D}_{nt} = 6$ mrad/h di neutroni termici, calcolare la dose assorbita in $t = 5$ s in mrem e Sv.

Explain what the quality factor of radiations is and give some values for different radiations. With dose rates of $\dot{D}_\gamma = 10$ mrad/h of gammas, $\dot{D}_{nv} = 10$ mrad/h of fast neutrons e $\dot{D}_{nt} = 6$ mrad/h of thermal neutrons, calculate the absorbed dose after $t = 5$ s expressed both in mrem and Sv.

Esercizio a scelta numero B24

Valutare quanto dovrebbe essere la densità della terra per essere contenuta all'interno del suo raggio di Schwarzschild. Si assuma $M_{TERRA} = 6 \cdot 10^{24}$ kg

Evaluate how dense the Earth would have to be to be contained within its Schwarzschild radius. Let $M_{EARTH} = 6 \cdot 10^{24}$ kg

Esercizio a scelta numero B25

Descrivere brevemente il modello lineare-quadratico della curva di sopravvivenza cellulare in funzione della dose di irraggiamento. Con $\alpha = 0.2$ Gy⁻¹ e $\beta = 0.04$ Gy⁻², mostrare come si calcola la frazione di cellule sopravvissute con un irraggiamento da 2 Gy o due irraggiamenti frazionati da 1 Gy.

Briefly describe the linear quadratic model for the cell survival curve as a function of the irradiation dose. With $\alpha = 0.2$ Gy⁻¹ and $\beta = 0.04$ Gy⁻², show how to calculate the fraction of survived cells with either 2 Gy of irradiation or two fractionated irradiations of 1 Gy each one.

Concorso N. TI/INFN/R3/27372

**Concorso pubblico per titoli ed esami per 40 posti con il profilo professionale di
Ricercatore di III livello professionale con contratto di lavoro a tempo
indeterminato**

Prova scritta numero 1

5 giugno 2025

A courtesy translation is provided for the instructions, the essay outline and the exercises. The Italian version of the text is the only one with legal validity.

Parte 1 – Elaborato

Si descriva un esperimento o una tecnica necessaria per la misura di un fenomeno fisico di interesse per le attività INFN descrivendo il caso di fisica, il contesto scientifico, la tecnica sperimentale e la sensibilità attesa per la misura.

Describe an experiment or technique required for the measurement of a physical phenomenon of interest to INFN activities by describing the physics case, the scientific context, the experimental technique, and the expected sensitivity of the measurement.

Parte 2: Gruppo A – Esercizi prefissati

Esercizio prefissato A01

Un fascio di neutroni lenti, con energia cinetica $T = 1 \text{ MeV}$, incide su un blocco di paraffina solida (densità $\rho = 0.9 \text{ g/cm}^3$). L'interazione dominante è lo scattering elastico con i nuclei di idrogeno, in cui i neutroni perdono in media la metà della loro energia cinetica ad ogni urto. Assumendo che il neutrone venga rallentato fino a fermarsi dopo N urti indipendenti, quando la sua energia cinetica è minore di 0.01 MeV , e che il cammino libero medio in paraffina sia $\lambda = 2 \text{ cm}$, scegliere tra le opzioni indicate il valore del range medio del neutrone nel materiale [$\ln(2) \approx 0.69$, $\ln(5) \approx 1.61$].

A beam of slow neutrons, with kinetic energy $T=1 \text{ MeV}$, strikes a block of solid paraffin (density $\rho = 0.9 \text{ g/cm}^3$). The dominant interaction is elastic scattering with hydrogen nuclei, in which the neutrons lose on average half of their kinetic energy with each collision. Assuming the neutron slows down and comes to rest after N independent collisions, when its kinetic energy drops below 0.01 MeV , and that the mean free path in paraffin is $\lambda=2 \text{ cm}$, indicate among the following options the average range of the neutron in the material [$\ln(2) \approx 0.69$, $\ln(5) \approx 1.61$].

- A) 6 cm
B) 10 cm
C) 14 cm
D) 18 cm

Esercizio prefissato A02

Un raggio gamma di 600 keV viene diffuso mediante scattering di Compton ad un angolo di 180° . Se l'elettrone con il quale ha urtato viene rivelato da uno scintillatore con resa $50\,000 \text{ ph/MeV}$, calcolare il numero di fotoni di scintillazione prodotti. ($\lambda_C = 0.00243 \text{ nm}$)

A 600 keV gamma ray undergoes a Compton scattering at an angle of 180° . If the scattered electron is detected by a scintillator with a yield of $50\,000 \text{ ph/MeV}$, calculate the number of the produced scintillation photons. ($\lambda_C = 0.00243 \text{ nm}$)

Esercizio prefissato A03

Un rivelatore di particelle è caratterizzato da un tempo morto $T=300 \mu\text{sec}$; efficienza $\epsilon = 2\%$ e dimensioni trasversali $dxdy = 20 \text{ cm}^2$. È esposto ad un fascio di particelle con burst della durata di $50 \mu\text{s}$ ed una frequenza di ripetizione di 180 burst/sec. Il rivelatore conta 3600 eventi/minuto. Qual è l'intensità del fascio? (ovvero il numero di particelle/ m^2s). Sia: $\ln(2) = 0.69$, $\ln(3) = 1.10$, $\ln(5) = 1.61$, $\ln(7) = 1.95$.

*A particle detector is characterized by a dead time $T=300 \mu\text{sec}$; efficiency $\epsilon=2\%$ and transverse dimensions $dxdy=20 \text{ cm}^2$. It is placed on a particle beam with bursts of $50 \mu\text{s}$ duration and a repetition rate of 180 bursts/sec. The detector counts 3600 events/minute. What is the intensity of the beam? (i.e., the number of particles/ m^2s).
Let: $\ln(2) = 0.69$, $\ln(3) = 1.10$, $\ln(5) = 1.61$, $\ln(7) = 1.95$.*

Esercizio prefissato A04

Una coppia di contatori identici è investita da un fascio di particelle. Su 1600 eventi selezionati da un sistema ausiliario i due contatori registrano 900 segnali in coincidenza. Quanto vale l'efficienza di singolo hit per i due contatori e con che precisione è nota?

A pair of identical counters is exposed to a particle beam. Out of 1600 events selected by an auxiliary system, both counters register 900 coincident signals. What is the single-hit efficiency of the two counters, and with what precision is it known?

Esercizio prefissato A05

Quante coppie elettrone lacuna vengono generate dall'assorbimento di un gamma da 300 keV in germanio? Trascurando il rumore elettronico e il trapping quale è la risoluzione (FWHM in keV) ottenibile per tale rivelatore al germanio per il gamma da 300 keV?

How many electron-hole pairs are generated by the absorption of a 300 keV gamma in germanium? Neglecting electronic noise and trapping what is the resolution (FWHM in keV) achievable for such a germanium detector for the gamma of 300 keV?

Esercizio prefissato A06

Le sezioni d'urto atomiche per raggi X da 100 keV in Pb sono complessivamente $\sigma_{\text{ass}} = 1.93 \cdot 10^4 \frac{\text{b}}{\text{at}}$ per l'assorbimento e $\sigma_{\text{sc}} = 0.12 \cdot 10^4 \frac{\text{b}}{\text{at}}$ per lo scattering. Valutare lo spessore di uno strato di Pb in grado di attenuare di un fattore 10^4 un fascio di raggi X di quella energia.

$(\rho_{\text{Pb}} = 11.34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; peso atomico del Pb = 207.2; $\text{Log}_{10}e = 0.434$)

*Atomic cross sections in Pb for 100 keV X-rays are $\sigma_{\text{ass}} = 1.93 \cdot 10^4 \frac{\text{b}}{\text{at}}$ for the absorption e $\sigma_{\text{sc}} = 0.12 \cdot 10^4 \frac{\text{b}}{\text{at}}$ for the scattering. Evaluate the thickness of a Pb layer suitable for attenuating of a factor 10^4 an X-ray beam at that energy.
($\rho_{\text{Pb}} = 11.34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; Pb atomic weight = 207.2; $\text{Log}_{10}e = 0.434$)*

Esercizio prefissato A07

Partendo da un generatore di numeri casuali distribuiti uniformemente tra 0 e 1, spiegare come ottenere un insieme di numeri distribuiti secondo una funzione di densità di probabilità esponenziale con valore di aspettazione τ .

Starting from a generator of uniformly distributed random numbers between 0 and 1, explain how to obtain a set of numbers distributed according to an exponential probability density function with expectation value τ .

Esercizio prefissato A08

Due campioni numericamente uguali di particelle cariche hanno energie di 1006 MeV e 1120 MeV e sono selezionate magneticamente con quantità di moto 1000 MeV/c. Esse attraversano due contatori di tempo posti a 1 m di distanza tra loro ed aventi risoluzione di 0.1 ns. Stimare la contaminazione delle particelle più lente nel campione di eventi che seleziona il 95% delle particelle più veloci. Si allega la tabella delle aree nelle code esterne a $\pm\delta$ per distribuzione gaussiana.

Two numerically equal samples of charged particles with energies of 1006 MeV and 1120 MeV are magnetically selected with momentum 1000 MeV/c. They pass through two time-counters placed 1 m apart and having a resolution of 0.1 ns. Estimate the contamination of the slowest particles in the sample selecting 95% of the fastest particles. Attached is the table of areas in the outer tails at $\pm\delta$ by Gaussian distribution.

α	δ	α	δ
0.3173	1σ	0.2	1.28σ
4.55×10^{-2}	2σ	0.1	1.64σ
2.7×10^{-3}	3σ	0.05	1.96σ
6.3×10^{-5}	4σ	0.01	2.58σ
5.7×10^{-7}	5σ	0.001	3.29σ
2.0×10^{-9}	6σ	10^{-4}	3.89σ

Esercizio prefissato A09

Per la datazione di materiale organico viene utilizzata la concentrazione di ^{14}C ($\tau=8203$ anni). Un campione di legno antico presenta un livello di radioattività da ^{14}C ridotto a un quarto rispetto all'attività di un campione di legno estratto da un albero vivo. Se il fattore di riduzione è dato da $f = 0.25 \pm 0.005$, calcolare la data del campione antico e l'errore della misura. Indicare inoltre quali particelle vengono emesse nel decadimento del ^{14}C e quali potrebbero essere i motivi che danno luogo a una vita media così lunga. ($\ln 4 = 1.386$).

The ^{14}C concentration ($\tau=8203$ years) is used for dating organic material. An ancient wood sample has a level of ^{14}C radioactivity reduced to one-fourth the activity of a wood sample extracted from a living tree. If the reduction factor is given by $f = 0.25 \pm 0.005$, calculate the date of the ancient sample and the error of measurement. Also state what particles are emitted in the decay of ^{14}C and what might be the reasons for such a long half-life. ($\ln 4 = 1.386$)

Esercizio prefissato A10

Un rivelatore di raggi X è posto a $d=1\text{m}$ da una sorgente isotropa. Tra il rivelatore e la sorgente è posto un collimatore di superficie $S=1\text{ cm}^2$. Il tasso di conteggio è di 150 s^{-1} . Se la superficie del collimatore è ridotta a $S'=0.1\text{ cm}^2$ il tasso di conteggio scende a 60 s^{-1} . Si stimi l'intensità della sorgente assumendo che il rivelatore abbia tempo morto fisso.

An X-ray detector is placed at $d=1\text{m}$ from an isotropic source. Between the detector and the source is placed a collimator with a surface $S=1\text{ cm}^2$. The count rate is 150 s^{-1} . If the collimator surface is reduced to $S'=0.1\text{ cm}^2$ the count rate drops down to 60 s^{-1} . Estimate the source intensity assuming the detector has fixed dead time.

Parte 3: Gruppo B - Esercizi a scelta

Esercizio a scelta numero B01

Spiegare brevemente la relazione fra frequenza e fattore γ per un sincro-ciclotrone. Calcolare la variazione di frequenza necessaria ad aumentare l'energia cinetica di un protone in un sincro-ciclotrone da $T_0 = 0.100$ a $T = 600\text{ MeV}$.

Briefly explain the relation between the frequency and the γ factor for a synchro-cyclotron. Calculate the frequency variation required to increase the kinetic energy of a proton from $T_0 = 100\text{ keV}$ to $T = 600\text{ MeV}$.

Esercizio a scelta numero B02

L'isotopo ^{90}Y ($Z=39$) decade β^- in ^{90}Zr . Il nucleo di ^{90}Zr viene popolato nel primo stato eccitato 0^+ a 1761 keV . Come può decadere tale stato verso lo stato fondamentale del ^{90}Zr ? Giustificare esaurientemente la risposta.

The isotope ^{90}Y ($Z=39$) decays β^- into ^{90}Zr . The nucleus ^{90}Zr is populated in the first excited 0^+ state at 1761 keV . How can this state decay to the ground state of ^{90}Zr ? Thoroughly justify the answer.

Esercizio a scelta numero B03

Nell'ambito dello studio delle oscillazioni di neutrino valutare quale di queste affermazioni è FALSA:

- ai reattori nucleari l'oscillazione è legata alla sparizione di $\bar{\nu}_e$
- nei neutrini solari l'oscillazione è legata alla sparizione di ν_e
- agli acceleratori l'oscillazione è legata alla sparizione di ν_μ o $\bar{\nu}_\mu$
- nei neutrini atmosferici l'oscillazione è legata alla sparizione di neutrini ν_e

In the context of the study of neutrino oscillations, evaluate which of the following statements is FALSE:

- in nuclear reactors the oscillation is related to the disappearance of $\bar{\nu}_e$*
- in solar neutrinos the oscillation is related to the disappearance of ν_e*
- in accelerators the oscillation is related to the disappearance of ν_μ or $\bar{\nu}_\mu$*
- in atmospheric neutrinos the oscillation is related to the disappearance of ν_e*

Esercizio a scelta numero B04

Un protone da 450 MeV è inviato su un bersaglio di idrogeno liquido. Si indichi quali degli stati finali non può essere prodotto e si giustifichi brevemente la risposta:

A 450 MeV proton is sent to a liquid hydrogen target. Which of the final states cannot be produced, and briefly justify the answer:

- $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$
- $p + p \rightarrow p + p + \pi^0 + \pi^0$
- $p + p \rightarrow p + n + \pi^- + \pi^+ + \pi^+$

Esercizio a scelta numero B05

Un interferometro di Michelson ha specchi di massa m e utilizza un laser con lunghezza d'onda λ e potenza P_0 . Si consideri un'onda gravitazionale di frequenza f , che induce una variazione del cammino ottico pari a Δx_{GW} . La luce viene integrata sul fotodiodo per un tempo Δt . Stimare la fluttuazione δF della forza esercitata su uno specchio dovuta alla fluttuazione del numero di fotoni in arrivo. Usando la risposta di massa libera $x(\omega) = \frac{F(\omega)}{m\omega^2}$ (con $\omega = 2\pi f$) si calcoli lo spostamento di rumore δx_{PR} e il rapporto $\Delta x_{GW} / \delta x_{PR}$.

$[m = 40 \text{ kg}, \lambda \approx 1000 \text{ nm}, P_0 = 10 \text{ W}, \Delta x_{GW} = 8 \cdot 10^{-18} \text{ m}, \Delta t = 1 \text{ ms}, h \approx 7 \times 10^{-34} \text{ Js}]$.

A Michelson interferometer has mirrors of mass m and uses a laser with wavelength λ and power P_0 . A gravitational wave of frequency f induces a change in the optical path length Δx_{GW} . The light is integrated at the photodiode over a time interval Δt . Estimate the force fluctuation δF on a mirror due to photon number fluctuations. Using response of a free mass $x(\omega) = \frac{F(\omega)}{m\omega^2}$ (with $\omega = 2\pi f$) calculate the displacement noise δx_{PR} and the ratio $\Delta x_{GW} / \delta x_{PR}$.

$[m = 40 \text{ kg}, \lambda \approx 1000 \text{ nm}, P_0 = 10 \text{ W}, \Delta x_{GW} = 8 \cdot 10^{-18} \text{ m}, \Delta t = 1 \text{ ms}, h \approx 7 \times 10^{-34} \text{ Js}]$.

Esercizio a scelta numero B06

Descrivere schematicamente il funzionamento di una camera a ionizzazione. In una camera a ionizzazione in aria con una capacità di $C = 250 \text{ pF}$ (facce piane parallele con $d = 4 \text{ cm}$) entra una particella alfa ($E = 5.3 \text{ MeV}$) passa attraverso una finestra in plastica dello spessore $s = 1 \text{ mg/cm}^2$ e ad una distanza $x = 1.5 \text{ cm}$ dall'elettrodo positivo. Se la camera opera in modalità electron-sensitive, calcolare l'ampiezza V dell'impulso. (Range della particella alfa in plastica: 5.1 mg/cm^2)

Briefly describe the functioning of an ionization chamber. Into an air ionization chamber with capacity $C = 250 \text{ pF}$ (plane parallel plates with $d = 4 \text{ cm}$) an alpha particle ($E = 5.3 \text{ MeV}$) goes through a plastic window with thickness $s = 1 \text{ mg/cm}^2$ at a distance $x = 1.5 \text{ cm}$ from the positive electrode. If the chamber operates in electron-sensitive mode, calculate the amplitude V of the voltage pulse. (Range of alpha particle in plastic: 5.1 mg/cm^2).

Esercizio a scelta numero B07

Nell'ambito del modello nucleare della goccia liquida, la formula di Bethe-Von Weizsäcker permette di stimare:

- Il grado di deformazione di un nucleo;
- I numeri magici;

- c) I livelli di particella singola;
- d) Nessuna delle risposte precedenti è corretta.

Within the framework of the nuclear liquid drop model, the Bethe-Von Weizsäcker formula allows us to estimate:

- a) The degree of deformation of a nucleus;
- b) The magic numbers;
- c) The single particle levels;
- d) None of the above is correct.

Esercizio a scelta numero B08

Consideriamo il flusso dei raggi cosmici carichi ad energie superiori ai 3 GeV come descritto da un'unica legge di potenza $f(E) = K(E/1\text{GeV})^{-\alpha}$ (nuclei/GeV⁻¹sr⁻¹cm⁻¹s⁻¹) di indice $\alpha = 2.68$ e costante di normalizzazione $K = 3.0$. Calcolare approssimativamente la densità numerica e di energia dei protoni dei raggi cosmici carichi e confrontarla con la densità numerica e di energia dei fotoni della radiazione cosmica di fondo.

Consider the flux of charged cosmic rays at energies above 3 GeV as described by a single power law $f(E) = K(E/1\text{GeV})^{-\alpha}$ (nuclei/GeV⁻¹sr⁻¹cm⁻¹s⁻¹) with an index $\alpha = 2.68$ and a normalization constant $K = 3.0$. Calculate approximately the number and energy density of protons in charged cosmic rays and compare it with the number and energy density of photons from the cosmic microwave background.

Esercizio a scelta numero B09

L'orto-positronio ed il para-positronio hanno nel vuoto vite medie diverse. Si giustifichi l'affermazione e si fornisca l'ordine di grandezza del loro rapporto.

Ortho-positronium and para-positronium have different decay times in vacuum. Justify the statement and give the order of magnitude of the decay-times ratio.

Esercizio a scelta numero B10

Indicare schematicamente quali radionuclidi vengono di solito utilizzati in una PET indicando le loro applicazioni specifiche. Dimostrare che il rapporto fra i tassi di coincidenze accidentali e reali non dipende dall'efficienza dei rivelatori e calcolare l'accettanza geometrica per avere un rapporto pari a 0.05 con una sorgente con una attività di $A = 150$ kBq. (Finestra temporale di coincidenza $\tau = 5$ ns).

Briefly indicate which radionuclides are typically used in PET, specifying their applications. Demonstrate that the ratio of accidental to true coincidence rates does not depend on detector efficiency and calculate the geometric acceptance required to have a ratio of 0.05 for a source with an activity of $A = 150$ kBq. (Coincidence time window $\tau = 5$ ns).

Esercizio a scelta numero B11

Un fascio di ⁶Li viene accelerato con un acceleratore Tandem di tensione massima di terminale di 15 MV. Il fascio incide su un bersaglio di ⁴⁴Ca e forma un nucleo composto di ⁵⁰V. Sapendo che il Q valore della reazione è di 21.84 MeV, calcolare l'energia di eccitazione massima raggiungibile nel nucleo composto. Indicare, inoltre, i possibili modi di decadimento del nucleo composto.

A ⁶Li beam is accelerated with a Tandem accelerator of maximum terminal voltage of 15 MV. The beam impinges on a ⁴⁴Ca target and forms a ⁵⁰V compound nucleus. Knowing that the Q value of the reaction is 21.84 MeV, calculate the maximum excitation energy achievable in the compound nucleus. Also, state the possible modes of decay of the compound nucleus.

Esercizio a scelta numero B12

Viene generalmente assunto che i raggi cosmici carichi con energie al di sotto dei 10¹⁵-10¹⁶ GeV siano di origine galattica. Su quali presupposti si fonda questa assunzione? Si assuma la galassia come un disco di raggio di 15 kpc e spessore pari a 200-300 pc, con un valore medio del campo magnetico galattico $B = 4$ μG. Sia 1 parsec = 3x10¹⁶ m.

It is generally assumed that charged cosmic rays with energies below 10¹⁵-10¹⁶ GeV are of galactic origin. What assumptions are behind this hypothesis? Consider the galaxy to be a disk with a 15 kpc radius and 200-300 pc thick, with an average value of the galactic magnetic field $B = 4$ μG. Let 1 parsec = 3x10¹⁶ m.

Esercizio a scelta numero B13

Si fornisca una stima del cammino libero medio di un neutrino elettronico da 10 MeV all'interno di una stella di neutroni. Vale $G_F \approx 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$.

Give an estimate of the mean free path of a 10 MeV electron neutrino inside a neutron star. Assume $G_F \approx 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$

Esercizio a scelta numero B14

Spiegare brevemente cos'è e come si valuta il fattore di qualità dei vari tipi di radiazione. Descrivere il procedimento per calcolare il tasso di dose in Gy/s e in Sv/s assorbita da un tessuto con una sorgente α puntiforme. Eseguire il calcolo per una sorgente con attività $A = 10 \text{ Bq}$ che emette α da $E = 6 \text{ MeV}$ con range $R = 50 \mu\text{m}$.

Briefly explain what the quality factor of a radiation is and how to calculate it. Describe the procedure for calculating the dose rate, both in Gy/s and Sv/s, absorbed by an organic tissue from a point source. Solve the problem for a source with activity $A = 10 \text{ Bq}$ emitting $E = 6 \text{ MeV}$ α particles with range $R = 50 \mu\text{m}$.

Esercizio a scelta numero B15

Si vuole popolare un nucleo di ^{47}V ($Z = 23$) ad alto momento angolare. Indicare un tipo di reazione nucleare adatto a questo scopo. Inoltre, nell'ambito del modello a shell, calcolare il massimo momento angolare raggiungibile dal nucleo e la sua parità nello spazio di valenza della shell fp. Considerare vietate le eccitazioni dal core ($N = 20$, $Z = 20$) e le promozioni dei nucleoni di valenza alle shell superiori.

To populate a ^{47}V nucleus ($Z=23$) with high angular momentum. State a suitable type of nuclear reaction for this purpose. Also, in the context of the shell model, calculate the maximum angular momentum achievable by the nucleus and its parity in the shell-fp valence space. Consider forbidden excitations from the core ($N = 20$, $Z = 20$) and promotions of valence nucleons to the upper shells.

Esercizio a scelta numero B16

I neutrini prodotti dal ^8B sono solo una piccola frazione di tutti quelli prodotti dal sole, cosa li ha resi così importanti per l'osservazione delle oscillazioni di neutrino? Quale tecnica sperimentale ha permesso di dimostrare l'oscillazione di questi neutrini?

The neutrinos produced by ^8B are only a small fraction of all those produced by the sun, what made them so important for the observation of neutrino oscillations? What experimental technique was able to demonstrate their oscillation?

Esercizio a scelta numero B17

Sapendo che la vita media del muone è $2.2 \mu\text{s}$ e la sua massa $106 \text{ MeV}/c^2$ si stimi la vita media del τ sapendo che la sua massa è $1.78 \text{ GeV}/c^2$.

Knowing that the average muon lifetime is $2.2 \mu\text{s}$ and its mass is $106 \text{ MeV}/c^2$. Estimate the average lifetime of τ knowing that its mass is $1.78 \text{ GeV}/c^2$.

Esercizio a scelta numero B18

Definire il Transit Time Factor (TTR) di una particella carica che attraversa la cavità di un acceleratore e darne l'espressione nel caso di un protone ($E = 10 \text{ MeV}$) in una cavità di frequenza 10 MHz e con campo di picco $E_0 = 3 \text{ MV/m}$. Per la stessa cavità, con lunghezza $L = 1.0 \text{ m}$ e con fase $\varphi = 60^\circ$, calcolare il guadagno energetico ΔT . (Assumere in questo caso $TTR = 0.9$)

Define the Transit Time Factor (TTR) for a particle going through a cavity into an accelerator and give the expression for a proton ($E = 10 \text{ MeV}$) into a cavity with frequency 10 MHz and with a peak field of $E_0 = 3 \text{ MV/m}$. For the same cavity, with $L = 0.9$ and phase $\varphi = 60^\circ$, calculate the energy gain ΔT . (Assume $TTR = 0.9$ in this case).

Esercizio a scelta numero B19

Un nucleo eccitato decade elettromagneticamente da uno stato iniziale con spin e parità J_i^π a uno stato finale J_f^π . Indicare, per gli esempi elencati, quali sono le transizioni permesse, di carattere elettrico o magnetico, e la loro multipolarità. Indicare inoltre quali delle transizioni permesse sono le più probabili.

An excited nucleus decays electromagnetically from an initial state with spin and parity J_i^π to a final state J_f^π . Indicate, for the examples listed below, which transitions are allowed, of either electrical or magnetic character, and their multipolarity. Also indicate which of the allowed transitions are the most likely.

- A) $1/2^- \rightarrow 7/2^+$
- B) $9/2^- \rightarrow 3/2^-$
- C) $0^- \rightarrow 2^+$
- D) $3^+ \rightarrow 3^+$

Esercizio a scelta numero B20

Assumere che il campo magnetico della Terra sia dovuto ad un dipolo magnetico di momento pari a $8 \cdot 10^{22}$ Am² posizionato nel suo centro e diretto lungo l'asse di rotazione. Valutare quale deve essere la minima quantità di moto, espressa in GeV/c di una particella alfa in avvicinamento lungo una direzione zenitale per raggiungere la superficie terrestre ad una latitudine di 45°. Si consideri la Terra sferica, con raggio di 6400 km e si trascurino interazioni delle particelle incidenti con l'atmosfera.

Assume that the Earth's magnetic field is due to a magnetic dipole with a moment of $8 \cdot 10^{22}$ Am² positioned at its center and directed along the axis of rotation. Evaluate what is the minimum momentum, expressed in GeV/c, of an alpha particle approaching along a zenith direction must be for reaching the Earth's surface at a latitude of 45°. Consider the Earth to be spherical, with a radius of 6400 km and neglect interactions of the incident particles with the atmosphere.

Esercizio a scelta numero B21

Si indichi quale di queste reazioni NON può avvenire

Indicate which of these reactions CANNOT occur.

- A) $\pi^+ \rightarrow e^+ \bar{\nu}_e e^- e^+$
- B) $\Delta^{++} \rightarrow p \pi^+$
- C) $\pi^+ n \rightarrow K^+ \Sigma^0$
- D) $e^+ e^- \rightarrow e^+ e^- \nu \bar{\nu}$

Esercizio a scelta numero B22

Spiegare brevemente in cosa consiste la tecnica Spread Out Bragg Peak nella protonterapia. Un fascio di protoni (stopping power 4.8 MeV cm²/g) incide su una camera di ionizzazione in aria dello spessore di $\Delta x = 2$ mm dando una corrente $I = 12$ nA. Calcolare il numero di particelle al secondo (porre a 1 eventuali fattori correttivi).

Briefly explain the Spread Out Bragg Peak (SOBP) technique in proton therapy. A proton beam (stopping power = 4.8 MeV·cm²/g) hit an air ionization chamber with a thickness of $\Delta x = 2$ mm producing a current $I = 12$ nA. Calculate the number of particles per second (assume any correction factors equal to 1).

Esercizio a scelta numero B23

Formulare l'espressione del redshift gravitazionale di un fotone di frequenza ν emesso dal sole ed osservato sulla superficie terrestre, commentando la rilevanza dei termini utilizzati.

Si assumano: $M_{\text{SOLE}} = 2 \times 10^{30}$ kg, $R_{\text{SOLE}} = 7 \times 10^5$ km, $M_{\text{TERRA}} = 6 \times 10^{24}$ kg, $R_{\text{TERRA}} = 6400$ km, 1 unità astronomica = 1.5×10^8 km.

Give an expression for the gravitational redshift of a photon of frequency ν emitted by the Sun and observed on the Earth's surface, commenting on the relevance of the contributing terms.

Assume: $M_{\text{SUN}} = 2 \times 10^{30}$ kg, $R_{\text{SOLE}} = 7 \times 10^5$ km, $M_{\text{EARTH}} = 6 \times 10^{24}$ kg, $R_{\text{EARTH}} = 6400$ km, 1 astronomical unit = 1.5×10^8 km.

Esercizio a scelta numero B24

Indicare le dosi di protoni e carbonio equivalenti a 1 Gy di fotoni utilizzando i parametri sotto riportati per il modello lineare quadratico della sopravvivenza cellulare. (Utilizzare la forma approssimata per calcolare la Relative Biological Effectiveness).

Fotoni: $\alpha_{ph} = 0.1 \text{ Gy}^{-1}$, $\beta_{ph} = 0.04 \text{ Gy}^{-2}$.

Protoni: $\alpha_p = 0.12 \text{ Gy}^{-1}$, $\beta_p = 0.03 \text{ Gy}^{-2}$

Carbonio: $\alpha_p = 0.4 \text{ Gy}^{-1}$, $\beta_p = 0.005 \text{ Gy}^{-2}$

- A) Protoni 0.61 Gy, carbonio 0.22 Gy.
- B) Protoni 0.83 Gy, carbonio 0.25 Gy.
- C) Protoni 1.12 Gy, carbonio 0.54 Gy.
- D) Protoni 0.40 Gy, carbonio 0.10 Gy.

Indicate the doses of protons and carbons equivalent to 1 Gy of photons using the parameters below reported for the linear quadratic model for the cell survival. Use the approximate formula for the calculation of the Relative Biological Effectiveness.

Photons: $\alpha_{ph} = 0.1 \text{ Gy}^{-1}$, $\beta_{ph} = 0.04 \text{ Gy}^{-2}$.

Protons: $\alpha_p = 0.12 \text{ Gy}^{-1}$, $\beta_p = 0.03 \text{ Gy}^{-2}$.

Carbon: $\alpha_p = 0.4 \text{ Gy}^{-1}$, $\beta_p = 0.005 \text{ Gy}^{-2}$.

- A) Protons 0.61 Gy, carbon 0.22 Gy.
- B) Protons 0.83 Gy, carbon 0.25 Gy.
- C) Protons 1.12 Gy, carbon 0.52 Gy.
- D) Protons 0.40 Gy, carbon 0.10 Gy.

Esercizio a scelta numero B25

Si vuole costruire un rivelatore per la misura del tempo di volo per l'identificazione dei protoni, riducendo in particolare la contaminazione dei pioni. Si assuma che le abbondanze iniziali di protoni e pioni siano uguali e che le particelle coprano una distanza di 2 metri dal punto di produzione al rivelatore. Stimare qual è la risoluzione temporale necessaria per consentire, per particelle con momento di 3 GeV/c, l'identificazione di protoni con un'efficienza di circa il 97,7% e una contaminazione residua di pioni tale che per le particelle selezionate il rapporto pioni-protoni sia di circa il 16%. Trascurare tutte le altre specie di particelle e assumere un'incertezza trascurabile sulla quantità di moto.

An experiment is building a detector for the measurement of the time of flight for identifying protons, reducing, in particular, the contamination of pions. Assume that the initial abundances of protons and pions are equal and that the particles cover 2 meters from the production point to the detector. Estimate what is the time resolution required to allow for particles with momentum of 3 GeV/c the identification of protons with an efficiency of approximately 97.7% and a residual contamination of pions such that for the selected particles the pion-to-proton ratio is approximately 16%. Neglect all other particle species and assume negligible uncertainty on the momentum.

Concorso N. TI/INFN/R3/27372
Concorso pubblico per titoli ed esami per 40 posti con il profilo professionale di
Ricercatore di III livello professionale con contratto di lavoro a tempo
indeterminato

Prova scritta numero 3
5 giugno 2025

A courtesy translation is provided for the instructions, the essay outline and the exercises. The Italian version of the text is the only one with legal validity.

Parte 1 – Elaborato

Si presenti un progetto di ricerca per la misura di un fenomeno fisico o per lo sviluppo di una tecnica sperimentale di interesse per le attività INFN descrivendo il caso di fisica, il contesto internazionale, la tecnica sperimentale adottata e si discuta la sensibilità attesa.

Present a research project to measure a physical phenomenon or develop an experimental technique of interest to INFN activities by describing the physics case, the international context, the experimental technique adopted and discuss the expected sensitivity.

Parte 2: Gruppo A – Esercizi prefissati

Esercizio prefissato A01

Selezionare tra le possibili opzioni quella corrispondente approssimativamente alla massa di acqua necessaria per rivelare un neutrino solare al giorno tramite il processo di $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$. Si consideri un flusso di neutrini di $\approx 6.5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e una sezione d'urto $\sigma_{\nu e} \approx 10^{-44} \text{ cm}^2$ che tengono già in conto le soglie in energia per la rivelazione del processo.

Select from the possible options the one corresponding approximately to the mass of water needed to detect one solar neutrino per day via the diffusion process $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$. Let the neutrino flux be $\approx 6.5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and the diffusion cross section $\sigma_{\nu e} \approx 10^{-44} \text{ cm}^2$, which already consider the energy thresholds for the detection of the process.

- A) $\approx 0,5 \times 10^4 \text{ kg}$
- B) $\approx 0,5 \times 10^6 \text{ kg}$
- C) $\approx 0,5 \times 10^8 \text{ kg}$
- D) $\approx 0,5 \times 10^{10} \text{ kg}$

Esercizio prefissato A02

Due contatori identici sono investiti da un fascio di particelle che attraversa sempre entrambi. Su 1000 eventi, selezionati quando almeno uno dei due contatori registra un segnale, si contano 300 eventi in coincidenza. Quanto vale l'efficienza di singolo hit per i due contatori?

Two identical counters are hit by a particle beam that always passes through both. Out of 1000 events, selected when at least one of the two counters registers a signal, 300 coincidence events are counted. What is the single hit efficiency for the two counters?

AP GP-15
 MS
 SC MS
 PPS

Esercizio prefissato A03

Quando due nuclei di ^{16}O e ^{12}C a riposo si combinano per formare ^{28}Si nello stato fondamentale, si libera un'energia di 16.75 MeV. Un fascio di ^{16}O ($E_{\text{Lab}} = 56 \text{ MeV}$) incide su un bersaglio di ^{12}C . Stimare l'energia di eccitazione del nucleo composto di ^{28}Si .

When two nuclei of ^{16}O and ^{12}C at rest combine to form ^{28}Si in the ground state, an energy of 16.75 MeV is released. A beam of ^{16}O ($E_{\text{Lab}} = 56 \text{ MeV}$) impinges on a target of ^{12}C . Estimate the excitation energy of the ^{28}Si compound nucleus.

Esercizio prefissato A04

Una barra di scintillatore plastico di lunghezza D ha due fotomoltiplicatori con lo stesso guadagno accoppiati direttamente ai suoi estremi. Una particella che lo attraversa produce un impulso di 50 mV a destra e uno di 136 mV a sinistra. Qual è la posizione di passaggio della particella lungo il contatore?

A plastic scintillator of length D has two photomultiplier tubes of same gain directly coupled to its ends. A particle passing through it produces a pulse of 50 mV on the right and a pulse of 136 mV on the left. What is the particle's position along the counter?

Esercizio prefissato A05

Spiegare brevemente il significato del fattore di Fano per un rivelatore al silicio. Valutare il rapporto segnale-rumore per un rivelatore al silicio che rivela fotoni da 300 keV con una efficienza del 90% e con un rumore elettronico di $150 e^-$. Assumere 3.6 eV per l'energia di ionizzazione in silicio.

Briefly explain the meaning of the Fano factor for a silicon detector. Evaluate the signal to noise ratio for a silicon detector detecting 300 keV photons with 90% efficiency and with an electron noise 300 e^- . Take 3.6 eV for the ionization energy in silicon.

Esercizio prefissato A06

Partendo da un generatore di numeri casuali distribuiti uniformemente tra 0 e 1, descrivere un metodo ottimizzato per ottenere un insieme di numeri distribuiti una funzione di densità di probabilità lineare definita nell'intervallo $x \in [1,4]$ della forma $f(x) = 0.1 \cdot (5 - \frac{2}{3}x)$

Starting from a generator of uniformly distributed random numbers between 0 and 1, describe an optimized method to obtain a set of numbers distributed according to a linear probability density function defined in the interval $x \in [1,4]$ as $f(x) = 0.1 \cdot (5 - \frac{2}{3}x)$.

Esercizio prefissato A07

Due sorgenti radioattive dette A e B sono poste a distanza $D = 40 \text{ cm}$ su un filo sospeso tra due pareti opposte di un calorimetro omogeneo letto da fotomoltiplicatori. Per ogni evento si misura il tempo di arrivo della luce sui fotomoltiplicatori posti sulle due pareti del calorimetro distanti $L=100 \text{ cm}$ dal punto medio delle due sorgenti. Si assume che i PMT abbiano la stessa risoluzione temporale di 0.2 ns e che la velocità della luce nel mezzo sia nota e pari a $v=c/2$. Qual è la contaminazione di eventi della sorgente A in un campione che seleziona il 95% degli eventi della sorgente B?

Si allega la tabella delle aree nelle code esterne a $\pm\delta$ per distribuzione gaussiana.

Two radioactive sources called A and B are placed at a distance $D = 40 \text{ cm}$ on a wire suspended between two opposite walls of a homogeneous calorimeter read-out by photomultipliers. For each event, the arrival time of the light on the photomultipliers placed on the two walls of the calorimeter at a distance of $L = 100 \text{ cm}$ from the midpoint of the two sources is measured. It is assumed that the PMTs have the same time resolution of 0.2 ns and that the speed of light in the medium is known and equal to $v=c/2$. What is the contamination of events of source A in a sample selecting 95% of the events of source B? Attached is a table of areas in the outer tails at $\pm\delta$ by Gaussian distribution.

α	δ	α	δ
0.3173	1σ	0.2	1.28σ
4.55×10^{-2}	2σ	0.1	1.64σ
2.7×10^{-3}	3σ	0.05	1.96σ
6.3×10^{-5}	4σ	0.01	2.58σ
5.7×10^{-7}	5σ	0.001	3.29σ
2.0×10^{-9}	6σ	10^{-4}	3.89σ

Esercizio prefissato A08

Uno stato popolato da un decadimento beta decade per emissione di neutrone. Questo processo può essere utilizzato per studiare stati nucleari risonanti. Un setup sperimentale consiste in uno spettrometro di tempo di volo. Lo "start" è dato dalla rivelazione dell'elettrone e lo "stop" da un rivelatore di neutroni posto a 15 m di distanza. Calcolare la risoluzione energetica ottenuta per neutroni emessi con $\beta = 0.05$, se la risoluzione temporale di entrambi i rivelatori è di 2 ns, trascurando l'errore sulla misura della distanza tra i rivelatori.

The beta-delayed neutron emission process can be used to study resonant nuclear states. An experimental setup consists of a time-of-flight spectrometer where the "start" is given by the electron detection and the "stop" by a neutron detector placed 15m away. Calculate the energy resolution obtained for neutrons emitted with $\beta = 0.05$, if the time resolution of both detectors is 2 ns, neglecting the error on the distance between the detectors.

Esercizio prefissato A09

Stimare approssimativamente il flusso a terra dei neutrini provenienti dal sole assumendo che l'energia complessivamente liberata in forma di calore dalla reazione di fusione di $4p$ in ${}^4\text{He}$ sia $Q \approx 26,7$ MeV di cui ≈ 0.6 MeV portata via dai neutrini. Sia $k_0 = 1361$ W/m² il valore della costante solare.

Roughly estimate the ground flux of neutrinos from the sun if the total energy released in the form of heat by the fusion of $4p$ to ${}^4\text{He}$ is ≈ 26.7 MeV of which ≈ 0.6 MeV carried away by neutrinos. Let the solar constant value be $k_0 = 1361$ W/m².

Esercizio prefissato A10

Un rivelatore di raggi X, con efficienza di rivelazione ϵ costante e con tempo morto di lettura τ , è posto a una distanza $D=1.41$ m da una sorgente isotropa di attività $A=50$ MBq. Tra il rivelatore e la sorgente è posto un collimatore di superficie $s=1$ cm²; il tasso di conteggio è di $R_m=125$ s⁻¹. Si stimi l'efficienza del rivelatore sapendo che il tasso di conteggio è di $R'_m=200$ s⁻¹ quando il rivelatore e il collimatore vengono posti a distanza $D'=1$ m dalla sorgente.

An X-ray detector, with a constant detection efficiency ϵ and a read-out dead time τ , is placed at a distance $D=1.41$ m from an isotropic source of activity $A=50$ MBq. A collimator with an area $s=1$ cm² is placed between the detector and the source; the count rate is $R_m=125$ s⁻¹. Estimate the efficiency of the detector knowing that the count rate is $R'_m=200$ s⁻¹ when the detector and collimator are placed $D'=1$ m from the source.

Parte 3: Gruppo B - Esercizi a scelta

Esercizio a scelta numero B01

Spiegare brevemente il ruolo dei tubi di deriva in un acceleratore lineare. Un fascio di ioni Ca^+ ($A \sim 40$ u) viene iniettato con una energia cinetica di 100 keV attraverso tubi di deriva con RF di 10 MHz. Il guadagno di energia è di 1 MeV per ciascun tubo. Calcolare la lunghezza del primo e del quarto tubo di deriva.

Briefly explain the role of drift tubes in a linear accelerator. A beam of Ca^+ ions ($A \sim 40$ u) is injected with a kinetic energy of 100 keV through drift tubes with an RF of 10 MHz. The energy gain in each tube is of 1 MeV. Calculate the length of the first and the fourth drift tubes.

Esercizio a scelta numero B02

Tra i fenomeni più interessanti osservati in nuclei molto lontani dalla valle di stabilità, troviamo l'evoluzione della struttura a shell e lo sviluppo delle "isole di inversione". Descrivere una evidenza sperimentali di questi fenomeni e il metodo sperimentale utilizzato.

Among the most interesting phenomena observed in nuclei far from the stability valley, are the evolution of the shell structure and the development of "islands of inversion". Describe one experimental evidence of these phenomena and the experimental method used.

Esercizio a scelta numero B03

Valutare quanti elettroni per unità di lunghezza vengono emessi per effetto Čerenkov a lunghezze d'onde comprese nell'intervallo 300-600 nm da un muone relativistico ($\beta=1$) in acqua. Si consideri un indice di rifrazione indipendente dalla lunghezza d'onda $n=1.3$.

Evaluate how many electrons per unit length are emitted by the Čerenkov effect at wavelengths in the range 300-600 nm by a relativistic muon ($\beta=1$) in water. Consider a wavelength-independent refractive index $n=1.3$

Esercizio a scelta numero B04

Un protone con 1500 MeV di energia cinetica è inviato su un bersaglio di idrogeno liquido. Si indichi quali dei seguenti stati finali non può essere prodotto e si giustifichi brevemente la risposta. ($m_\eta \approx 550 \text{ MeV}$, $m_\eta \approx 775 \text{ MeV}$, $m_\eta \approx 1020 \text{ MeV}$)

A proton with 1500 MeV of kinetic energy is sent to a liquid hydrogen target. Indicate which of the listed final states cannot be produced and briefly justify the answer. ($m_\eta \approx 550 \text{ MeV}$, $m_\eta \approx 775 \text{ MeV}$, $m_\eta \approx 1020 \text{ MeV}$)

- a- $p + p \rightarrow p + n + \eta$
- b- $p + p \rightarrow p + p + \omega^0$
- c- $p + p \rightarrow p + n + \phi$

Esercizio a scelta numero B05

Un'onda gravitazionale piana e monocromatica attraversa perpendicolarmente un interferometro di Michelson con i bracci lungo gli assi x e y. La metrica dello spaziotempo perturbato nel gauge trasverso a traccia nulla (TT) è data da:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + (1 + h_+(t))dx^2 + (1 - h_+(t))dy^2 + 2h_\times(t)dxdy + dz^2,$$

con l'approssimazione $h_+(t) \approx h_\times(t) \approx h = \text{costante}$. Un laser invia impulsi di luce simultanei lungo i due bracci, che ritornano al beam splitter per essere ricombinati. Qual è la differenza di fase massima tra i due fasci alla ricombinazione? [$h \sim 10^{-21}$, $L = 3 \text{ km}$, $\lambda \approx 1000 \text{ nm}$].

A plane, monochromatic gravitational wave propagates perpendicularly through a Michelson interferometer with arms aligned along the x and y axes. The spacetime metric in the transverse-traceless (TT) gauge is given by:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + (1 + h_+(t))dx^2 + (1 - h_+(t))dy^2 + 2h_\times(t)dxdy + dz^2,$$

with the approximation $h_+(t) \approx h_\times(t) \approx h = \text{constant}$. A laser emits light pulses simultaneously along both arms, which return to the beamsplitter and are recombined. What is the maximum phase difference when the two beams upon recombination? [$h \sim 10^{-21}$, $L = 3 \text{ km}$, $\lambda \approx 1000 \text{ nm}$].

Esercizio a scelta numero B06

In collisioni centrali Pb-Pb a $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$ si misura la molteplicità di particelle cariche a rapidità centrali: $\left. \frac{dN_{ch}}{d\eta} \right|_{\eta=0} \approx 1600$. Si stimino $\frac{dE_T}{dy}$ e la densità di energia di Bjorken assumendo che: a) il tempo di formazione $\tau \approx 1 \text{ fm}/c$, b) l'energia trasversa media per particella $\langle E_T \rangle \approx 0.8 \text{ GeV}$, c) l'area trasversa di sovrapposizione $A_T \approx 150 \text{ fm}^2$ [η indica la pseudorapidità].

In central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$, the charged particle multiplicity at mid rapidities is measured: $\left. \frac{dN_{ch}}{d\eta} \right|_{\eta=0} \approx 1600$. Estimate $\frac{dE_T}{dy}$ and the Bjorken energy density assuming that: a) the formation time $\tau \approx 1 \text{ fm}/c$, b) the average transverse energy per particle $\langle E_T \rangle \approx 0.8 \text{ GeV}$, c) the transverse overlap area $A_T \approx 150 \text{ fm}^2$, [η denotes the pseudorapidity].

Esercizio a scelta numero B07

Spiegare come la costante di tempo di una camera a ionizzazione può influenzare la misura dell'attività di una sorgente radioattiva. Un dosimetro costituito da una camera a ionizzazione con una costante di tempo $\tau = 4 \text{ s}$ misura un tasso di dose $D = 10 \text{ mrem}/\text{h}$ nell'intervallo di tempo $\Delta t = 0.08 \text{ s}$. Calcolare la dose assorbita reale in mrem e Sv in quell'intervallo di tempo.

Explain how the time constant of an ionization chamber can affect the measurement of the activity of a radioactive source. A dosimeter consisting of an ionization chamber with a time constant $\tau = 4$ s measures a dose rate $D = 10$ mrem/h within the time interval $\Delta t = 0.08$ s. Compute the actual absorbed dose both in mrem and Sv in that time interval.

Esercizio a scelta numero B08

Si vuole misurare la distribuzione di carica di un nucleo atomico con un fascio di particelle. Indicare il tipo di particella più adatto e la minima energia necessaria per avere una precisione nella misura del raggio di carica di 0.2 fm. Giustificare e spiegare brevemente il metodo di misura.

The charge distribution of an atomic nucleus is measured with a particle beam. Indicate the most suitable type of particle and the minimum energy to have an accuracy in measuring the charge beam of 0.2 fm. Motivate and explain briefly the method of measurement.

Esercizio a scelta numero B09

Indicare l'energia massima a cui è stato osservato un neutrino.

Indicate the maximum energy at which a neutrino was observed.

- A) $\approx 10^{13}$ eV
- B) $\approx 10^{15}$ eV
- C) $\approx 10^{17}$ eV
- D) $\approx 10^{19}$ eV

Esercizio a scelta numero B10

Il neutrone libero decade in circa 880 s. Si stimi la larghezza di decadimento di $\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 e^- \bar{\nu}_e$ sapendo che $m_n - m_p = 1.29$ MeV e $m_\Sigma - m_\Lambda = 81$ MeV, giustificando le approssimazioni.

The free neutron decays in about 880 s. Estimate the decay width of $\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 e^- \bar{\nu}_e$ knowing that $m_n - m_p = 1.29$ MeV e $m_\Sigma - m_\Lambda = 81$ MeV, justifying the approximations.

Esercizio a scelta numero B11

Per ridurre il rumore sismico sugli specchi degli interferometri gravitazionali (che domina a basse frequenze $f < f_s \sim 10$ Hz), si usano smorzatori che ne limitano il movimento orizzontale. L'accoppiamento tra la base B e la massa M dello specchio viene descritto come un oscillatore armonico. La funzione di trasferimento del moto tra B ed M ha il comportamento:

$$|H_1(f)| \approx \begin{cases} 1 & f \ll f_0 \\ \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 & f \gg f_0, \end{cases}$$

dove f_0 è la frequenza di risonanza.

- 1) Perché si preferiscono i pendoli rispetto alle molle come smorzatori per isolare lo specchio?
- 2) Quanto vale il fattore di riduzione per un sistema di 4 pendoli di lunghezza 1 m in serie?

To reduce seismic noise on the mirrors of gravitational wave interferometers (which dominates at low frequencies $f < f_s \sim 10$ Hz), dampers are used to limit their horizontal motion. The coupling between the base B and the mirror behaves

as: $|H_1(f)| \approx \begin{cases} 1 & f \ll f_0 \\ \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 & f \gg f_0, \end{cases}$ where f_0 is the resonance frequency.

- 1) Why are pendulums preferred over springs as dampers to isolate the mirror?
- 2) What is the reduction factor for a system of 4 pendulums of 1 m length in series?

Esercizio a scelta numero B12

Elencare quali tipi di scintillatori vengono di solito utilizzati in una PET e in base a quali caratteristiche vengono scelti. Dimostrare che il rapporto R fra i tassi di coincidenze accidentali e reali non dipende dall'efficienza dei rivelatori e calcolare l'accettanza geometrica per avere un rapporto $R=0.01$ con una sorgente di attività $A = 200$ kBq. (Finestra temporale di coincidenza $\tau = 6$ ns).

List the scintillators used for PET and their characteristics. Show that the ratio R between the rates of accidental and real coincidences does not depend on the detector efficiencies. Calculate the geometrical acceptance for a ratio $R=0.01$ with a source with activity $A = 200$ kBq. (Time coincidence window $\tau = 6$ ns).

Esercizio a scelta numero B13

Per la produzione di nuclei radioattivi di ^{46}Ar tramite reazioni di frammentazione si utilizza un fascio di ^{48}Ca ad alta energia su un bersaglio primario di ^9Be . La sezione d'urto della reazione è di 1 mb. Assumendo un'efficienza del 100% per la trasmissione del separatore, calcolare il numero di nuclei di ^{46}Ar prodotti al secondo per una corrente di fascio di 150 pA (particle nA), stato di carica 1+, spessore bersaglio di ^9Be pari a 180 mg/cm². Descrivere brevemente le principali caratteristiche di questo metodo di produzione di fasci radioattivi per frammentazione (in flight) e quelle dei fasci erogati.

To produce radioactive ^{46}Ar nuclei by fragmentation reactions, a high-energy ^{48}Ca beam is used on a ^9Be primary target. The cross section of the reaction is 1mb. Assuming 100% efficiency for separator transmission, calculate the number of ^{46}Ar nuclei produced per second with a beam current of 150 pA (particle nA), charge state 1+, ^9Be target thickness: 180 mg/cm². Describe briefly the principal characteristics of this radioactive beams production method by fragmentation (in flight) and those of the delivered beams.

Esercizio a scelta numero B14

Confrontare l'energia massima per cui un nucleo di Ferro ed un protone possano essere fortemente confinati nella galassia. Si assimili la galassia ad un disco di 15 kpc di raggio e 200-300 pc di spessore, con un valore medio del campo magnetico galattico $B = 4$ μG (1 parsec=3x10¹⁶ m).

Compare the maximum energy for which an iron nucleus and a proton can be strongly confined in the galaxy. Consider the galaxy to be a disk 200-300 pc thick, with an average value of the galactic magnetic field $B=4$ μG (1 parsec=3x10¹⁶ m).

Esercizio a scelta numero B15

La $\rho^0(770)$ ha spin 1 e decade quasi esclusivamente in coppie $\pi^+\pi^-$ e raramente anche in $\pi^0\pi^0\gamma$ (10⁻⁵), ma non è stato osservato il decadimento in esclusive coppie $\pi^0\pi^0$. Fornire una spiegazione.

The $\rho^0(770)$ has spin 1 and decays almost exclusively in $\pi^+\pi^-$ pairs and rarely also in $\pi^0\pi^0\gamma$ (10⁻⁵), but decay in exclusive $\pi^0\pi^0$ pairs has not been observed. Provide an explanation.

Esercizio a scelta numero B16

Spiegare brevemente le differenze principali fra le radioterapie con protoni e con fotoni. Calcolare il numero di particelle al secondo di un fascio di protoni da 150 MeV se una camera di ionizzazione in aria (stopping power $SP = 4.8$ MeV cm²/g) dello spessore di $\Delta x = 5$ mm fornisce una corrente $I = 20$ nA (porre a 1 eventuali fattori correttivi).

Briefly explain the main differences between proton and photon radiotherapies. Calculate the number of particles per second in a 150 MeV proton beam if an air ionization chamber (stopping power $SP = 4.8$ MeV·cm²/g) with a thickness of $\Delta x = 5$ mm produces a current of $I = 20$ nA (set any correction factors to 1).

Esercizio a scelta numero B17

Si intende utilizzare una reazione di eccitazione coulombiana per popolare esclusivamente il primo stato eccitato 2⁺ di un nucleo con N e Z entrambi pari, ai fini di determinare la probabilità di transizione con lo stato fondamentale. A tale scopo quale delle seguenti opzioni risulta la più conveniente?

- A) una collisione con un bersaglio di ^{12}C a energia inferiore alla barriera coulombiana;
- B) una collisione con un bersaglio di ^{12}C a energia superiore alla barriera coulombiana;
- C) una collisione con un bersaglio di ^{197}Au a energia inferiore alla barriera coulombiana;
- D) una collisione con un bersaglio di ^{197}Au a energia pari alla barriera coulombiana.

It is intended to use a Coulomb excitation reaction to exclusively populate the first 2^+ excited state of a nucleus with N and Z both even, for the purpose of obtaining the transition probability with the ground state. For this purpose it will be convenient to use:

- A) a collision with a ^{12}C target at energy below the Coulomb barrier;
- B) a collision with a ^{12}C target at energy above the Coulomb barrier;
- C) a collision with a ^{197}Au target at energy below the Coulomb barrier;
- D) a collision with a ^{197}Au target at energy equal to the Coulomb barrier.

Esercizio a scelta numero B18

Assumiamo che il campo magnetico della terra sia dovuto a un dipolo magnetico di momento pari a $8 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ posizionato nel suo centro e diretto lungo l'asse di rotazione. Valutare quale dovrà essere la minima quantità di moto, espressa in GeV/c , affinché una particella alfa possa raggiungere la superficie terrestre all'equatore provenendo da est. Si consideri la terra sferica, con raggio di 6400 km e si trascurino interazioni delle particelle incidenti con l'atmosfera.

Let us assume that the Earth's magnetic field is due to a magnetic dipole with a moment of $8 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ positioned at its center and directed along the axis of rotation. Evaluate the minimum momentum, expressed in GeV/c , of an alpha particle to reach the Earth's surface at the equator coming from the east. Consider a spherical Earth with a radius of 6400 km and neglect the interaction of the incoming particles with the atmosphere.

Esercizio a scelta numero B19

Un calorimetro elettromagnetico misura coppie di fotoni collineari di energie $E_1 = 289 \text{ MeV}$ e $E_2 = 16 \text{ MeV}$. Si determini la massa della particella da cui sono originati e la sua velocità nel laboratorio.

An electromagnetic calorimeter measures pairs of collinear photons of energies $E_1 = 289 \text{ MeV}$ and $E_2 = 16 \text{ MeV}$. Determine the particle mass from which they originated and its velocity in the laboratory.

Esercizio a scelta numero B20

Definire brevemente l'emittanza di un fascio di particelle. Un fascio di protoni ha energia $E = 10 \text{ MeV}$, emittanza con parametri $\sigma_x = 0.5 \text{ mm}$, $\sigma_{x'} = 1.0 \text{ mrad}$ e coefficiente di correlazione di Pearson $\rho = 0.3$. Calcolare l'emittanza geometrica rms e i parametri di Twiss del fascio.

Briefly define the emittance of a particle beam. A proton beam has an energy $E = 10 \text{ MeV}$, emittance parameters $\sigma_x = 0.5 \text{ mm}$, $\sigma_{x'} = 1.0 \text{ mrad}$ and Pearson correlation coefficient $\rho = 0.3$. Calculate the geometrical rms emittance and the Twiss parameters of the beam.

Esercizio a scelta numero B21

Il nucleo ^{176}Lu ($Z=71$) decade β^- in stati eccitati del ^{176}Hf sia dallo stato fondamentale $J^\pi=7^-$ che dallo stato isomerico $J^\pi=1^-$ a 127 keV. Il ^{176}Hf presenta una banda rotazionale sopra lo stato fondamentale. Indicare quali membri della banda rotazionale sono popolati con maggiore probabilità dal decadimento di ciascuno dei due stati del ^{176}Lu . Indicare, inoltre, il carattere elettromagnetico (E, M) e la multipolarità delle transizioni gamma nella diseccitazione verso lo stato fondamentale nel ^{176}Hf . Sapendo che l'energia dello stato 2^+ è di 88 keV, e assumendo che si tratta di un rotore perfetto, calcolare l'energia di eccitazione dello stato 4^+ .

The nucleus ^{176}Lu ($Z=71$) decays β^- into excited states of ^{176}Hf , both from the ground state $J^\pi=7^-$ and the isomeric state $J^\pi=1^-$ at 127 keV. ^{176}Hf exhibits a rotational band above its ground state. Indicate which members of the rotational band are most likely populated by each of the two states of ^{176}Lu . Indicate the electromagnetic character (E, M) as well and the multipolarity of the gamma transitions in the de-excitation to the ground state in ^{176}Hf . Knowing that the energy of the 2^+ state is 88 keV, and assuming that it is a perfect rotor, calculate the excitation energy of the 4^+ state.

Esercizio a scelta numero B22

Si indichi quale di queste reazioni NON può avvenire.

Indicate which of these reactions CANNOT occur.

- A) $\pi^+ n \rightarrow K^+ \Sigma^0$
- B) $\pi^+ \rightarrow e^+ e^+ e^- \nu_e$
- C) $p n \rightarrow p p K^- K^0$
- D) $\Sigma^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$

Esercizio a scelta numero B23

Nei rivelatori per la ricerca diretta di materia oscura di tipo WIMP (Weakly Interacting Massive Particle) si cerca di rivelare lo scattering elastico della WIMP con i nuclei del bersaglio. Come varia la sensibilità alla massa m_χ della WIMP con la massa m_N del nucleo?

In detectors for the direct search of WIMP (Weakly Interacting Massive Particle) type dark matter, the goal is to detect the elastic scattering of the WIMP with the target nuclei. How does the sensitivity to the WIMP mass m_χ varies with the mass m_N of the nucleus?

Esercizio a scelta numero B24

Nell'ambito del modello lineare-quadratico della sopravvivenza cellulare in funzione della dose assorbita con parametri $\alpha = 0.2 \text{ Gy}^{-1}$ e $\beta = 0.04 \text{ Gy}^{-2}$ indicare la dose biologica efficace (BED) per un irraggiamento di 2 Gy o due irraggiamenti frazionati di 1 Gy.

Within the linear quadratic model for cell survival curve as a function of the irradiation dose with parameters $\alpha = 0.2 \text{ Gy}^{-1}$ and $\beta = 0.04 \text{ Gy}^{-2}$, select the biological effective dose (BED) with either 2 Gy of irradiation or two fractionated irradiations of 1 Gy each.

- A) 2.5; 2.0 Gy
- B) 2.8; 2.4 Gy
- C) 2.4; 3.0 Gy
- D) 2.2; 2.0 Gy

Esercizio a scelta numero B25

Indicare le reazioni principali usate per la rivelazione di neutroni termici. Un contatore di 10 cm^3 è riempito con BF_3 a pressione atmosferica e temperatura $T=300 \text{ K}$. Calcolare i conteggi al secondo quando viene esposto ad un flusso di neutroni termici $\phi = 1000/\text{s}$ nel caso in cui l'abbondanza isotopica del Boro sia quella naturale (Costante dei gas $R = 0.08 \frac{\text{l}\cdot\text{atm}}{\text{mole}\cdot\text{K}}$; Sezione d'urto $\sigma = 3840 \text{ b}$)

Indicate the reactions typically used for the detection of thermal neutrons. A 10 cm^3 counter is filled with BF_3 at the atmospheric pressure and temperature $T=300 \text{ K}$. Calculate the counts per second when exposed to a thermal neutrons flux $\phi = 1000/\text{s}$ with the natural isotopic abundance of Boron (gas constant $R = 0.08 \frac{\text{l}\cdot\text{atm}}{\text{mole}\cdot\text{K}}$; cross section $\sigma = 3840 \text{ b}$)