



EF ACB
 po A
 OS M

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3).....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4).....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5).....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



ef
des
pe A
os
R

.....
.....
.....
.....

Seconda Parte

Il/la candidato/a risponda a 6 domande a scelta tra quelle elencate in seguito rispettando lo spazio complessivo a disposizione (2 facciate) e indicando chiaramente il numero del quesito scelto.

Attenzione: in caso si scelga di rispondere a più di 6 domande, saranno tenute in conto per la valutazione solo le prime 6 risposte.

- 1) Si descrivano i diversi termini della formula semi-empirica di Bethe-Von Weizsäcker dell'energia di legame per nucleone.
- 2) Quale è l'energia disponibile nella collisione di un protone con un altro protone a riposo?
- 3) Si vuole misurare lo spettro di eccitazione di un nucleo lontano dalla valle di stabilità di massa media, molto ricco di protoni. Descrivere i meccanismi di reazione e i setup sperimentali più adatti.
- 4) Indicare il tipo di radiazione elettromagnetica emessa (E o M) e le possibili multipolarità, sottolineando quelle più probabili, per i decadimenti tra due stati nucleari con i seguenti spin/parità iniziale e finale:
 - a. $9/2^- \rightarrow 5/2^-$
 - b. $9/2^- \rightarrow 7/2^+$
 - c. $9/2^- \rightarrow 7/2^-$
 - d. $2^+ \rightarrow 2^-$
- 5) Descrivere la tecnica $\Delta E-E$ per l'identificazione di particelle cariche, discutendone brevemente principio di funzionamento e limiti di applicabilità
- 6) Un fascio terapeutico di protoni (60 – 230 MeV) nel passaggio attraverso i tessuti umani va incontro a reazioni di frammentazione nucleare. Il candidato descriva le principali reazioni che avvengono con i nuclei più abbondanti del corpo umano ed elenchi i principali radionuclidi prodotti in tali reazioni. Descriva brevemente una tecnica che permette di rivelare la distribuzione nel corpo umano di tali radionuclidi.
- 7) Si discuta il ruolo della schermatura elettronica nella sezione d'urto di fusione in esperimenti di laboratorio. Si faccia riferimento ad alcuni valori sperimentali di Ue per reazioni di interesse astrofisico e si commenti il confronto con i valori adiabatici.
- 8) Si vuole determinare la probabilità di transizione dal primo stato eccitato 2^+ allo stato fondamentale di un nucleo radioattivo. Descrivere i metodi sperimentali più adatti.
- 9) Si illustrino le principali caratteristiche e i prodotti della "Big Bang Nucleosynthesis"

EF VCB A JES
P
P4

- 10) Se una particella di vita media t non è decaduta dopo un tempo t , qual è la probabilità che decada nel successivo intervallo di tempo Δt ?
- 11) Illustrare un metodo per la misura della sezione d'urto di scattering neutrone-neutrone.
- 12) Uno dei modelli di maggiore successo nel riprodurre le molteplicità delle varie specie di adroni leggeri prodotti in collisioni di ioni pesanti ultrarelativistici è il cosiddetto "modello di adronizzazione statistica". Quali sono le ipotesi su cui si basa, i suoi parametri liberi e come vengono fissati nel modello? Quali sono i valori approssimati dei parametri che si ottengono alle energie di LHC? Come si estende il modello per includere/descrivere anche particelle con stranezza e charm?
- 13) La produzione di QGP in collisioni di ioni pesanti è stata dimostrata in modo chiaro e inequivocabile alle energie dei collider. L'estensione a collisioni di sistemi più piccoli (quali?) dà risultati ancora non definitivi relativamente alla formazione di un mezzo deconfinato. Discutere brevemente in modo semiquantitativo due osservabili che diano indicazioni positive e negative relativamente all'avvenuta formazione del QGP in tali sistemi.
- 14) Descrivere brevemente le basi fisiche della terapia con particelle cariche (nota anche come adroterapia) sottolineandone i vantaggi e i limiti rispetto alle tecniche convenzionali che sfruttano fasci di fotoni X.
- 15) Il comportamento dei quark pesanti nel QGP può essere studiato attraverso la produzione di particelle con open charm/beauty. A quali processi fisici sono sensibili la soppressione e il flow ellittico di queste particelle, in diverse regioni di p_T ? Discutere in modo semiquantitativo le differenze osservate nel comportamento di quark leggeri, charm e beauty, dal punto di vista dei processi di cui sopra.
- 16) Da quali parametri fisici e geometrici dipende l'efficienza di un rivelatore per radiazione elettromagnetica? Il candidato discuta brevemente un esempio di rivelatore a sua scelta.
- 17) Si indichino possibili tecniche di identificazione adronica nell'intervallo di momenti fra 3 e 30 GeV/c.
- 18) Si discuta un possibile metodo di misura dell'angolo di Weinberg.
- 19) Descrivere i principali meccanismi di reazione per la produzione di nuclei superpesanti. Discutere brevemente le loro caratteristiche e limitazioni.
- 20) Descrivere una tecnica volta alla produzione di radionuclidi da impiegarsi in applicazioni di diagnostica o di terapia con radiazioni ionizzanti.
- 21) Si discuta il legame fra lo spin del nucleone e quello dei partoni costituenti.
- 22) Collisioni di ioni pesanti ultrarelativistici permettono di produrre, nella fase adronica, elevate molteplicità di mesoni e barioni fortemente interagenti. Come si possono ottenere informazioni sulle loro interazioni reciproche? Qual è il risultato più importante (dare una descrizione) ottenuto a tutt'oggi in questo tipo di studi?
- 23) Si descrivano le cause e i possibili correttivi della incertezza temporale nei discriminatori di segnale.
- 24) Si illustrino gli aspetti principali della curva di abbondanza solare legati alla fisica nucleare.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
AMMINISTRAZIONE CENTRALE

EF HCB A ES Ry
pro

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for handwritten notes or a signature.

EF MB CMA SS M



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
AMMINISTRAZIONE CENTRALE

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a template for writing.



EF MB A ES
no 14

CONCORSO N. 23523 PER TITOLI ED ESAMI PER L'ASSUNZIONE DI 11 POSTI CON IL PROFILO PROFESSIONALE DI RICERCATORE DI III LIVELLO PROFESSIONALE CON CONTRATTO DI LAVORO A TEMPO INDETERMINATO.

Note: this is a courtesy translation. The Italian version of this text is the only legally valid.

Written test – n. 1

The test should be completed in 3 hours

The test consists in two parts to be fulfilled in a synthetic and quantitative way

First part: an essay

Second part: answer 6 questions

First Part

Choose and illustrate a measurement of experimental and/or applied nuclear physics using detection techniques of particles (charged, neutrons, photons) and/or nuclei, following the scheme below:

- 1) Introduction: physics case and state of the art (max 10 lines)
- 2) Description of the measurement (max 15 lines)
- 3) Experimental details and data analysis (max 10 lines)
- 4) Comparison with analogous measurements performed in the past or with eventual competing experiments (max 10 lines)
- 5) Description of the expected results and medium and long-term prospects (max 10 lines)

Second Part

Answer 6 questions among those proposed not exceeding the available space and indicating clearly the number of the chosen query.

Warning: in case more than 6 questions are answered, **only the first 6 will be evaluated.**

1. Describe the different terms of the Bethe-Von Weizsäcker semi-empirical formula for the binding energy per nucleon.
2. Which is the available energy in the collision between a proton with another proton at rest?
3. Describe the most suitable reaction mechanisms and experimental setups to measure the excitation spectrum of a very proton rich nucleus far from the valley of stability.
4. Indicate the type of the emitted electromagnetic radiation (E or M) and the possible multipolarities, underlying the most probable ones in the transition between two nuclear states with the initial and final spins/parities listed below:
 - a. $9/2^- \rightarrow 5/2^-$
 - b. $9/2^- \rightarrow 7/2^+$
 - c. $9/2^- \rightarrow 7/2^-$
 - d. $2^+ \rightarrow 2^-$
5. Describe the ΔE -E technique for charged particles identification, briefly discussing principle of operation and limits.
6. A therapeutic proton beam (60 – 230 MeV) undergoes nuclear fragmentation reactions with human body atomic nuclei. List the main reactions occurring with the most abundant nuclei and the radionuclides produced in such reactions. Briefly describe a technique to detect the distribution in the human body of such radionuclides.

7. Discuss the role of electron screening in the fusion cross section in laboratory experiments. Refer to some experimental values of the screening potential U_e for reactions of astrophysical interest and comment on the comparison with the adiabatic values.
8. Describe the most suitable methods to determine the transition probability from the first 2^+ excited state to the ground state of radioactive nucleus.
9. Illustrate the main characteristics and products of the Big Bang Nucleosynthesis.
10. If a particle with lifetime t has not decayed after a time t , which is the probability that it decays in the subsequent time interval Δt ?
11. Describe a method for measuring the neutron-neutron scattering cross-section.
12. One of the most successful models in reproducing the multiplicity of various species of light hadrons produced in ultrarelativistic heavy-ion collisions is the so-called "statistical hadronization model". Which are the hypotheses on which it is based, its free parameters and how are they fixed in the model? Which are the approximate values of the parameters at LHC energies? How can the model be extended to include/describe particles with strangeness and charm?
13. QGP production in heavy-ion collisions has been unequivocally demonstrated at collider energies. The extension to smaller collision systems (which ones?) has given still not conclusive results on the formation of a deconfined medium. Briefly discuss in a semi quantitative way two observables that give positive or negative indications relatively to QGP formation.
14. Describe the physical basis of charged particle therapy (also known as hadrontherapy), underlying advantages and limitations with respect to conventional radiotherapy with X rays.
15. The behaviour of heavy quark in the QGP can be studied via production of hadrons with open charm/beauty. To which physical processes the suppression and elliptic flow of these particles are sensitive to, in various p_T regions? Discuss in a semiquantitative way the difference observed in the behaviour of light, charm and beauty quarks from the point of view of the above processes.
16. On which physical and geometrical parameters depends the efficiency of a detector of electromagnetic radiation? Discuss briefly the example of a detector you like best.
17. Indicate possible hadronic identification techniques in the momentum range between 3 and 30 GeV/c.
18. Discuss a possible method for the measurement of the Weinberg angle.
19. Describe the main reaction mechanisms to produce superheavy nuclei, briefly discussing the characteristics and limitations.
20. Describe a technique for the production of radionuclides to be used in diagnostic or therapeutic applications of ionizing radiation.
21. Discuss the link between the spin of the nucleon and that of the constituent partons.
22. Ultrarelativistic heavy-ion collisions allow the production, in the hadronic phase, of large multiplicity of strongly interacting mesons and baryons. How can information be obtained on their mutual interaction? Which is the most important result (give a description) obtained until today in this kind of studies?
23. Describe causes and control methods of the jitter-time in signal discriminators.
24. Illustrate the main aspects of the solar abundance curve related to nuclear physics.



CONCORSO N. 23523 PER TITOLI ED ESAMI PER L'ASSUNZIONE DI 11 POSTI CON IL PROFILO PROFESSIONALE DI RICERCATORE DI III LIVELLO PROFESSIONALE CON CONTRATTO DI LAVORO A TEMPO INDETERMINATO.

PROVA SCRITTA – Testo n. 2
il tempo per lo svolgimento della prova è fissato in 3 ore

La prova consiste in due parti da svolgere in modo sintetico e quantitativo.

Prima parte: sviluppo di un breve elaborato

Seconda parte: risposta a 6 domande a scelta.

Prima parte

Il/la candidato/a individui e illustri un **progetto di ricerca in fisica nucleare** sperimentale e/o applicata con l'utilizzo di acceleratori di particelle o nuclei, seguendo lo schema indicato:

- 1) Introduzione: caso fisico e stato dell'arte (max 10 righe)
- 2) Descrizione del progetto (max 15 righe)
- 3) Dettagli sperimentali e analisi dei dati (max 10 righe)
- 4) Confronto con analoghi progetti effettuati nel passato o con eventuali progetti concorrenti (max 8 righe)
- 5) Descrizione dei risultati attesi e prospettive a medio e lungo termine (max 10 righe)

1).....

2).....



EF HB A GS
pe M

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Seconda Parte

Il/la candidato/a risponda a 6 domande a scelta tra quelle elencate in seguito rispettando lo spazio complessivo a disposizione (2 facciate) e indicando chiaramente il numero del quesito scelto.

Attenzione: in caso si scelga di rispondere a più di 6 domande, saranno tenute in conto per la valutazione solo le prime 6 risposte.

- 1) Utilizzando la relazione di de Broglie, si determini l'impulso minimo di un fascio di elettroni necessario per sondare la struttura del protone con una risoluzione spaziale dell'ordine di un decimo del raggio del protone.
- 2) Si discutano i principali contributi alla risoluzione di un calorimetro elettromagnetico.
- 3) Si descrivano i diversi termini della formula semi-empirica di Bethe-Von Weizsäcker dell'energia di legame per nucleone.
- 4) Descrivere brevemente una tecnica volta alla rivelazione di radionuclidi da impiegarsi in applicazioni di diagnostica medica con radiazioni ionizzanti.
- 5) L'interazione delle particelle cariche con la materia è governata dalla legge di Bethe-Bloch. Descriverne l'andamento in modo semi-quantitativo e spiegare come sia possibile identificare particelle cariche basandosi sulla perdita relativa di energia dE/dx e su una misura di momento o energia.
- 6) Descrivere la simmetria di isospin e alcune delle sue conseguenze nella struttura nucleare.
- 7) Si vuole misurare lo spettro di eccitazione di un nucleo lontano dalla valle di stabilità di massa media, molto ricco di neutroni. Descrivere i meccanismi di reazione e i setup sperimentali più adatti.
- 8) Nella terapia oncologica con ioni carbonio vengono solitamente impiegati fasci di ioni carbonio accelerati fino a circa 400 AMeV. Il candidato descriva l'andamento della dose rilasciata dagli ioni in profondità nel tessuto elencando le principali interazioni che determinano la cessione di energia al mezzo biologico.



EF HB A OS
PP Hg

- 9) Descrivere un sistema di identificazione di particelle cariche basato sulla tecnica del tempo di volo. Date ad esempio due particelle di massa m_1 ed m_2 e momento P (con $P \gg mc$) derivare la dipendenza della distanza di volo da P supponendo fissa la risoluzione temporale del sistema.
- 10) Si discuta il ruolo dello stato di Hoyle del ^{12}C nella formazione del carbonio nelle stelle.
- 11) Descrivere sinteticamente i modi possibili di rivelare fotoni di 1 eV, 1 keV, 1 MeV, 1 GeV, facendo riferimento ai processi di interazione radiazione-materia in gioco.
- 12) Si discuta il processo di fusione nucleare nelle stelle evidenziandone le caratteristiche che lo rendono possibile pur essendo fortemente inibito in laboratorio.
- 13) Discutere i diversi metodi di produzione di fasci di ioni pesanti radioattivi e le loro caratteristiche.
- 14) La dinamica degli stati legati di quark pesanti c e \bar{c} nel vuoto può essere descritta tramite un potenziale. Qual è la forma di questo potenziale e come si modifica in un plasma di quark e gluoni?
- 15) La densità di energia della materia creata in una collisione nucleo-nucleo ultrarelativistica può essere studiata a partire dai dati sperimentali attraverso una formula introdotta da J.D. Bjorken nel 1983. Descrivere brevemente le ipotesi soggiacenti, la formula medesima e i valori indicativi di densità di energia alle energie del collider LHC.
- 16) La produzione di nuclei e antinuclei alle energie di RHIC e LHC è un processo raro che può venire studiato nell'ambito di vari modelli e che permette anche di verificare con precisione alcune leggi fondamentali. Descrivere, brevemente, i risultati principali ottenuti in questi studi.
- 17) Si definisca la risoluzione in tempo richiesta da un rivelatore per identificare adroni fino a 3 GeV/c ad una distanza di 2 m dal punto di interazione.
- 18) Si consideri un nucleo deformato con numero dispari di protoni e dispari di neutroni. Secondo il modello di Nilsson, il protone dispari si trova nell'orbitale $1/2[541]$ e il neutrone dispari nell'orbitale $11/2[615]$. Determinare i possibili valori di spin e la parità dello stato fondamentale. Giustificare.
- 19) Si descriva un metodo di ricerca di materia oscura agli acceleratori.
- 20) Si spieghi qualitativamente il fenomeno dello scaling di Bjorken e della sua violazione in esperimenti di deep inelastic scattering.
- 21) Il meccanismo quasi-libero viene utilizzato nello studio di reazioni nucleari di interesse astrofisico. Se ne illustrino le principali caratteristiche applicative.
- 22) Definire il range di una particella carica in termini del potere frenante massico. Si consideri ad esempio un protone da 200 MeV che ha un range in acqua pari a circa 26 g/cm^2 . Quale sarà il range in acqua di una particella alfa da 800 MeV e di un deutone da 400 MeV? Giustificare la risposta.
- 23) Si illustri il problema cosmologico del Li e le possibili soluzioni legate alla fisica nucleare.
- 24) Il flow anisotropo è una delle osservabili più studiate nella fisica con ioni pesanti ultrarelativistici. Darne la definizione, e spiegare sinteticamente a quale fisica possiamo accedere attraverso i coefficienti (i) v_1 , (ii) v_2 , (iii) v_3 e superiori.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
AMMINISTRAZIONE CENTRALE

EF

MCB

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

19

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a template for text entry.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
AMMINISTRAZIONE CENTRALE

EF

01/03
20

AD
Mg

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for handwritten notes or signatures.



CONCORSO N. 23523 PER TITOLI ED ESAMI PER L'ASSUNZIONE DI 11 POSTI CON IL PROFILO PROFESSIONALE DI RICERCATORE DI III LIVELLO PROFESSIONALE CON CONTRATTO DI LAVORO A TEMPO INDETERMINATO.

Note: this is a courtesy translation. The Italian version of this text is the only legally valid.

Written test – n. 2

The test should be completed in 3 hours

The test consists in two parts to be fulfilled in a synthetic and quantitative way

First part: an essay

Second part: answer 6 questions

First Part

Choose and illustrate a research project of experimental and/or applied nuclear physics with the use of accelerators of particles or nuclei, following the scheme below:

- 1) Introduction: physics case and state of the art (max 10 lines)
- 2) Description of the project (max 15 lines)
- 3) Experimental details and data analysis (max 10 lines)
- 4) Comparison with analogous projects performed in the past or with eventual competing projects (max 10 lines)
- 5) Description of the expected results and medium and long-term prospects (max 10 lines)

Second Part

Answer 6 questions among those proposed not exceeding the available space and indicating clearly the number of the chosen query.

Warning: in case more than 6 questions are answered, only the first 6 will be evaluated.

1. Using the de Broglie relation, determine the minimum momentum of an electron beam needed to probe the structure of the proton with a spatial resolution of the order of a tenth of the proton radius.
2. Discuss the main contributions to the resolution of an electromagnetic calorimeter.
3. Describe the different terms of the Bethe-Von Weizsäcker semi-empirical formula for the binding energy per nucleon.
4. Describe a technique for the detection of radionuclides to be used in medical diagnostic applications of ionizing radiation.
5. The interaction of charged particles with matter is ruled by the Bethe-Bloch law. Describe semi-quantitatively the behaviour of the law and explain how charged particles can be identified on the basis of the relative energy loss dE/dx and the measured momentum or energy.
6. Describe the isospin symmetry and its consequences in the nuclear structure.
7. Describe the most suitable reaction mechanisms and experimental setups to measure the excitation spectrum of a nucleus far from the valley of stability, very neutron rich.
8. In carbon ion cancer therapy, carbon ion beams accelerated up to about 400 AMeV are used. Describe the depth dose behaviour in the tissue and list the main interactions determining the energy release to the biological medium.

9. Describe a charged particle identification system based on the time-of-flight technique. Given for example two particles of mass m_1 and m_2 and momentum P (with $P \gg mc$), derive the dependency of the flight distance from P assuming a fixed time resolution.
10. Discuss the role of the Hoyle state of ^{12}C in the formation of carbon in stars.
11. Describe briefly the possible ways to detect photons of 1 eV, 1 keV, 1 MeV, 1 GeV, considering the processes of interaction of the radiation with matter at play.
12. Discuss the process of nuclear fusion in stars highlighting the characteristics that make it possible while being strongly inhibited in the laboratory.
13. Discuss the different methods to produce heavy-ion radioactive beams and their characteristics.
14. The bound states of the c and \bar{c} quarks in the vacuum can be described by means of a potential. How can this potential be written and how it is modified in a quark-gluon plasma?
15. The energy density of the matter created in an ultrarelativistic nucleus-nucleus collision can be studied from experimental measurements by means of a formula introduced by J.D. Bjorken in 1983. Briefly describe the underlying hypotheses, the formula itself and approximate values of energy density at the LHC collider energy.
16. The production of nuclei and antinuclei at RHIC and LHC energies is a rare process that can be studied in the frame of various models and that also allows a precision test of some fundamental laws. Briefly describe the main results obtained in these studies.
17. Define the time resolution required by a detector to identify hadrons up to 3 GeV / c at 2m distance from the interaction point.
18. Consider a deformed nucleus with odd number of protons and neutrons. The Nilsson model locates the odd proton in the $1/2[541]$ orbital and the odd neutron in the $11/2[615]$ orbital. Determine the possible values of spin and parity of the ground state. Justify your answer.
19. Describe a method to search for dark matter at accelerators.
20. Qualitatively explain the phenomenon of Bjorken's scaling and its violation in deep inelastic scattering experiments.
21. The quasi-free mechanism is used in the study of nuclear reactions of astrophysical interest. Illustrate the main application features.
22. Define the range of a charged particle in terms of the mass stopping power. Consider, for example, a 200 MeV proton with a range in water of 26 g/cm². What will be the range in water of an 800 MeV alpha particle and of a 400 MeV deuteron? Justify the answer.
23. Describe the cosmological Li problem and the possible solutions related to nuclear physics.
24. The anisotropic flow is one of the most studied observables in ultrarelativistic heavy-ion physics. Give its definition, and briefly explain which physics can be accessed by measuring the (i) v_1 , (ii) v_2 , (iii) v_3 and higher coefficients.

Seconda Parte

Il/la candidato/a risponda a 6 domande a scelta tra quelle elencate in seguito rispettando lo spazio complessivo a disposizione (2 facciate) e indicando chiaramente il numero del quesito scelto.

Attenzione: in caso si scelga di rispondere a più di 6 domande, saranno tenute in conto per la valutazione solo le prime 6 risposte.

- 1) Descrivere il processo di creazione di coppie $e+e-$ da interazione di un fotone con la materia. Riportare l'andamento della sezione d'urto in funzione dell'energia e del numero atomico del mezzo con cui la radiazione interagisce. Spiegare inoltre perché il processo avviene principalmente in presenza di un nucleo atomico.
- 2) Indicare il tipo di radiazione elettromagnetica emessa (E o M) e le possibili multipolarità, sottolineando quelle più probabili, per i decadimenti tra due stati nucleari con i seguenti spin/parità iniziale e finale:
 - a. $7/2^+ \rightarrow 5/2^-$
 - b. $7/2^+ \rightarrow 9/2^+$
 - c. $3/2^+ \rightarrow 7/2^-$
 - d. $5^+ \rightarrow 5^-$
- 3) Si discutano i possibili vantaggi di una acquisizione continua rispetto a quella tradizionale basata sulla generazione di segnali di trigger.
- 4) Fornire un esempio di applicazione medica basata sull'impiego di neutroni descrivendone in particolare i principi fisici alla base.
- 5) Descrivere una tecnica sperimentale per la misura del momento di una particella carica discutendone brevemente principio di funzionamento e i limiti.
- 6) Un fascio terapeutico di ioni carbonio (100 – 400 AMeV) nel passaggio attraverso i tessuti umani produce reazioni di frammentazione nucleare. Il candidato descriva le principali reazioni ed elenchi i prodotti in tali reazioni. Descrivere brevemente una tecnica che permette di rivelare i frammenti nucleari prodotti che escono dal corpo umano.
- 7) Descrivere una tecnica volta alla produzione di radionuclidi da impiegarsi in applicazioni di diagnostica o di terapia con radiazioni ionizzanti.
- 8) Si descriva il principio di funzionamento di un fotomoltiplicatore a stato solido.
- 9) Si descriva un processo che violi la simmetria di carica e parità (CP) e come questo possa essere permesso nello Standard Model.
- 10) Partendo dalla definizione di Asymptotic Normalization Coefficient (ANC), si discuta la sua applicazione nell'ambito dell'astrofisica nucleare.
- 11) In esperimenti di laboratorio, le sezioni d'urto di fusione nucleare per nuclei nudi vengono modificate a causa della presenza di elettroni. Si discuta l'azione della schermatura elettronica facendo

riferimento al valore sperimentale del potenziale di screening U_e per qualche reazione di interesse astrofisico e si commenti il confronto con il valore adiabatico.

- 12) Si illustrino brevemente i processi che caratterizzano la dinamica delle reazioni nucleari a 1,10, 100 A MeV.
- 13) In un ciclotrone, i protoni sono accelerati da un campo elettrico di frequenza di oscillazione 8 MHz. Se il diametro del magnete è di 1m, calcolare il valore del campo magnetico e la massima energia che possono raggiungere i protoni (massa del protone: $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg, $e=1.6 \cdot 10^{-19}$ C).
- 14) Si definisca il picco di Gamow e se ne descriva l'approssimazione per applicazioni relative alla combustione stellare quiescente. Se ne diano i valori caratteristici per qualche reazione nucleare di particolare interesse per l'astrofisica.
- 15) Nell'adronizzazione dei quark pesanti che fa seguito alla loro produzione in collisioni di vari sistemi (ee, pp, PbPb), vengono formati mesoni e barioni con open charm e beauty. Commentare i meccanismi che si possono studiare, dando stime quantitative delle relative osservazioni sperimentali (ad esempio rapporti di sezione d'urto barione/mesone).
- 16) La geometria della collisione nucleo-nucleo, e in particolare il parametro di impatto b , il numero di partecipanti N_{part} e di collisioni binarie N_{coll} può essere stimato a partire dal modello di Glauber. Quali sono le assunzioni alla base del modello e quali i parametri liberi in ingresso? Quali osservabili possono essere utilizzate per ottenere b , N_{part} e N_{coll} ? Approssimativamente qual è il numero medio di partecipanti e collisioni per eventi centrali a energie di LHC?
- 17) L'interazione delle particelle cariche con la materia è governata dalla legge di Bethe-Bloch. Descriverne l'andamento in modo semi-quantitativo e spiegare come sia possibile identificare particelle cariche basandosi sulla perdita relativa di energia dE/dx e su una misura di momento o energia.
- 18) Che cos'è il "flow radiale"? Come può essere valutato a partire dai dati sperimentali? Lo studio del flow radiale permette di stimare due quantità importanti relative all'evoluzione della collisione. Quali sono i valori approssimati di queste quantità alle energie di LHC?
- 19) Se una particella di vita media t non è decaduta dopo un tempo t , qual è la probabilità che decada nel successivo intervallo di tempo Δt ?
- 20) Si vuole misurare la vita media del primo stato eccitato di un nucleo radioattivo. Descrivere i metodi sperimentali più adatti.
- 21) Gli stati di bottomonio rappresentano un sistema privilegiato per lo studio di aspetti di fisica legati al deconfinamento di quark e gluoni. Quali sono gli stati che rivestono importanza in questi studi e quale è la loro approssimata energia di legame? Quali sono i risultati principali in questo ambito? Commentare differenze e analogie rispetto al caso del charmonio.
- 22) Indicare brevemente le principali tecniche di identificazione adronica utilizzate negli esperimenti Deep Inelastic Scattering Semi-inclusivo.
- 23) Si vuole misurare lo spettro di eccitazione di un nucleo lontano dalla valle di stabilità di massa media, molto ricco di neutroni. Descrivere i meccanismi di reazione e i setup sperimentali più adatti.
- 24) Descrivere brevemente i principali processi di cattura neutronica che conducono alla nucleosintesi di elementi più pesanti del ferro.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
AMMINISTRAZIONE CENTRALE

VB *eo* *A* *EF* *SS* *Ry*

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a template for writing.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
AMMINISTRAZIONE CENTRALE

no A 27 28 29
P

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a guide for writing.



CONCORSO N. 23523 PER TITOLI ED ESAMI PER L'ASSUNZIONE DI 11 POSTI CON IL PROFILO PROFESSIONALE DI RICERCATORE DI III LIVELLO PROFESSIONALE CON CONTRATTO DI LAVORO A TEMPO INDETERMINATO.

Note: this is a courtesy translation. The Italian version of this text is the only legally valid.

Written test – n. 3

The test should be completed in 3 hours

The test consists in two parts to be fulfilled in a synthetic and quantitative way

First part: an essay

Second part: answer to 6 questions

First Part

Choose and illustrate a measurement of experimental and/or applied nuclear physics carried out using one or more particle and/or nuclei detectors, following the scheme below:

- 1) Introduction: physics case and state of the art (max 10 lines)
- 2) Description of the measurement (max 15 lines)
- 3) Experimental details and data analysis (max 10 lines)
- 4) Comparison with analogous measurements performed in the past or with eventual competing experiments (max 10 lines)
- 5) Description of the expected results and medium and long-term prospects (max 10 lines)

Second Part

Answer to 6 questions among those proposed not exceeding the available space and indicating clearly the number of the chosen query.

Warning: in case more than 6 questions are answered, **only the first 6 will be evaluated.**

- 1) Describe the process of e+e- pair production when a photon interacts with matter. Show the behaviour of the cross section as a function of the energy and the atomic number of the material with which the photons interact. Explain why this process occurs mainly in the presence of an atomic nucleus.
- 2) In an electromagnetic transition between two states with the spin/parity listed below indicate the type of the emitted radiation (E or M) and the possible multipolarities, underlying the most probable ones:
 - a. $7/2^+ \rightarrow 5/2^-$
 - b. $7/2^+ \rightarrow 9/2^+$
 - c. $3/2^+ \rightarrow 7/2^-$
 - d. $5^+ \rightarrow 5^-$
- 3) Discuss the possible advantages of continuous acquisition compared to the traditional one based on the generation of trigger signals.
- 4) Provide an example of medical application with neutrons, describing in particular the underlying physical principles.
- 5) Describe an experimental technique for the momentum measurement of a charged particle. Briefly discuss the principle of operation and limits.
- 6) A carbon ions therapeutic beam (100 – 400 AMeV) undergoes nuclear fragmentation reactions with the human body atomic nuclei. Describe the main reactions occurring and list the products of such reactions. Briefly describe a technique to detect nuclear fragments escaping from the human body.
- 7) Describe a technique for the production of radionuclides to be used in diagnostic or therapeutic applications of ionizing radiation.
- 8) Describe the operating principle of a solid-state photomultiplier.

- 9) Describe a process that violates charge and parity symmetry (CP) and how this can be allowed in the Standard Model.
- 10) Starting from the definition of Asymptotic Normalization Coefficient (ANC), discuss its application in nuclear astrophysics.
- 11) In laboratory experiments, nuclear fusion cross sections for bare nuclei are modified due to the presence of electrons. Discuss the action of electron screening also referring to the experimental value of the U_e screening potential for some reactions of astrophysical interest and comment on the comparison with the adiabatic value.
- 12) Illustrate briefly the processes that characterize the nuclear reaction dynamics at 1,10, 100 A MeV
- 13) In a cyclotron, protons are accelerated by an electric field with a frequency of 8 MHz. If the diameter of the magnet is of 1m, calculate the value of the magnetic field and the maximum energy the protons can reach (proton mass: $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg, $e=1.6 \cdot 10^{-19}$ C).
- 14) Define the Gamow peak and describe its approximation for applications related to quiescent stellar burning. Give the characteristic values for some nuclear reaction of particular interest for astrophysics.
- 15) In the hadronization of heavy quarks following their production in various collision systems (ee, pp, PbPb), open charm and beauty hadrons are formed. Comment on the mechanisms that can be studied, giving quantitative estimates of the corresponding experimental observations (for example baryon/meson ratios).
- 16) The nucleus-nucleus collision geometry, and in particular the impact parameter b , the number of participants N_{part} and the number of binary collisions N_{coll} can be estimated starting from the Glauber model. Which are the assumptions at the basis of the model and which are its free parameters? Which observables can be used to obtain b , N_{part} and N_{coll} ? Approximately, which is the mean number of participants and collisions for central events at LHC energies?
- 17) The interaction of charged particles with matter is ruled by the Bethe-Bloch law. Describe semi-quantitatively the behaviour of the law and explain how charged particles can be identified on the basis of the relative energy loss dE/dx and a measure of the momentum or energy.
- 18) What is the "radial flow"? How can it be evaluated starting from experimental data? Radial flow studies allow an estimate of two important quantities relative to the collision evolution. Which are the approximate values of these quantities at LHC energies?
- 19) If a particle with lifetime t has not decayed after a time t , which is the probability that it decays in the subsequent time interval Δt ?
- 20) Which are the most suitable experimental methods to measure the lifetime of the first excited state of a radioactive nucleus?
- 21) Bottomonium states represent a privileged system for the study of physics aspects related to quark and gluon deconfinement. Which are the most important states for these studies and which is their approximate binding energy? Which are the main results? Comment on differences and analogies with respect to the case of charmonium.
- 22) Briefly indicate the main hadronic identification techniques used in the Semi-inclusive Deep Inelastic Scattering experiments.
- 23) Describe the most suitable reaction mechanisms and experimental setups to measure the excitation spectrum of a nucleus far from the valley of stability, very neutron rich.
- 24) Briefly describe the main neutron capture processes that lead to the nucleosynthesis of elements heavier than iron.