



**Bando n. 18221/2016**

Concorso per titoli ed esami per 58 posti con il profilo di Ricercatore III livello professionale con contratto di lavoro a tempo indeterminato per attività di ricerca nel campo della fisica sperimentale delle interazioni fondamentali, delle tecniche di accelerazione di particelle, dello sviluppo tecnologico di metodologie fisiche utilizzabili in diversi contesti applicativi

**Prima prova scritta**

19 settembre 2016

Il tempo per lo svolgimento della prova è fissato in 4 ore

*Rispondere alle domande elencate nella "Lista Domande A" e a 20 domande a scelta fra le 40 elencate nella "Lista Domande B". Rispettare rigorosamente gli spazi assegnati e indicare con chiarezza quali domande della lista B dovranno essere valutate.*

**Lista Domande A**

- 1) Come dipende da  $E/m$  la potenza emessa da una particella relativistica di energia  $E$  e massa  $m$  in moto in un'orbita circolare (ad es. in un sincrotrone)? Indicare qualche applicazione o conseguenza rilevante di questa emissione.  
.  
.
- 2) Quanta energia perde in media un elettrone di energia iniziale 1 GeV attraversando uno spessore di materiale pari a una lunghezza di radiazione?  
.  
.
- 3) In un acceleratore di particelle che funzione svolgono i quadrupoli?  
.  
.
- 4) Un muone da 400 GeV/c penetra verticalmente in mare. Tramite quale processo fisico può essere rivelato? Stimare la profondità a cui arriva e decade.  
.  
.  
.
- 5) Uno scintillatore emette  $10^4$  fotoni/MeV. Calcolare la risoluzione (FWHM) ottenibile per particelle da 4 MeV assumendo un'efficienza di raccolta della luce pari a 1.  
.  
.  
.
- 6) Si osserva che 2500 misure di una grandezza  $x$  sono distribuite normalmente. Da questi valori si ottiene  $\bar{x} = 34.00 \pm 0.06$  (68% c.l.). Qual è la probabilità che in una successiva misura si ottenga un valore  $x$  maggiore di 37 ?  
.  
.  
.

Handwritten signatures and initials at the bottom of the page, including 'VB', 'GR', 'per', 'NF', 'GA', 'JA', 'MA', and 'DA'.



7) In quale regione di energia si collocano i raggi X caratteristici della serie K degli elementi dall'ossigeno all'uranio?

·  
·

8) Qual è il range di protoni da 60 MeV in un tessuto biologico molle? Qual è il principale vantaggio terapeutico dell'adroterapia oncologica rispetto alla tradizionale radioterapia?

·  
·  
·

9) Un tubo proporzionale cilindrico ha raggio  $R$ , raggio del filo  $r$  e tensione applicata  $V_0$ . Esprimere il valore del campo elettrico a distanza  $d$  dall'asse del tubo.

·  
·

10) Un fascio di mesoni  $K_L$  puro attraversa un sottile strato di materiale. Perché in uscita dal materiale si trova nel fascio una componente significativa di  $K_S$ ?

·  
·

11) Un nucleo  $A$  decade  $\alpha$  in un nucleo  $B$  con vita media  $\tau_A = 2$  min.  $B$  decade in  $C$  con vita media  $\tau_B = 5 \cdot 10^3$  s. All'inizio vi sono  $N_A = 2.7 \cdot 10^7$  nuclei di tipo  $A$ . Calcolare l'attività di  $B$  dopo 1.2 s e quella dopo  $5 \cdot 10^3$  s.

·  
·  
·

12) Perché il doppio decadimento beta senza neutrini è possibile solo per neutrini di Majorana di massa non nulla?

·  
·

13) Uno stato eccitato del  $^{57}\text{Fe}$  decade emettendo un fotone da 14.4 keV ( $t_{1/2} = 68$  ns). Si determini la FWHM della distribuzione in energia del fotone.

·  
·

14) Indicare quali fra le seguenti transizioni elettromagnetiche sono permesse in approssimazione di dipolo elettrico (E1) o di dipolo magnetico (M1).

$$\frac{1^+}{2} \rightarrow \frac{1^-}{2} \quad 0^+ \rightarrow 0^- \quad \frac{3^+}{2} \rightarrow \frac{1^-}{2} \quad 2^+ \rightarrow 1^+ \quad 1^+ \rightarrow 0^+$$

·

15) Indicare la composizione in termini di quark e antiquark di valenza per un barione, un mesone, un tetraquark, e un pentaquark.

·  
·

16) In un anello circolare di lunghezza 300 m circola un fascio di anti-protoni di impulso 6 GeV/c e corrente totale 0.16 mA. Il fascio attraversa ad ogni giro un bersaglio gassoso di idrogeno di densità superficiale  $10^{14}$  atomi/cm<sup>2</sup>. Calcolare: a) la frequenza di rivoluzione; b) il numero di anti-protoni; c) la luminosità integrata in 6 min. Se si volesse ottenere la stessa energia nel c.m. in un collisore protone-anti-protone, quale dovrebbe essere l'energia dei fasci?

·  
·  
·  
·

VB  
CR

per  
MA

NP  
JA

ser  
MA



17) Perché un diodo a semiconduttore utilizzato come rivelatore di radiazione viene normalmente polarizzato inversamente?

.  
.

18) La risonanza  $J/\psi$  ha massa 3096 MeV e larghezza circa 100 keV. Perché è così stretta?

.  
.

19) I dipoli di LEP permettevano un massimo campo magnetico pari a  $B = 0.135$  T e coprivano i 2/3 dell'anello di accumulazione lungo 27 km. Qual era la massima energia raggiungibile dagli elettroni accumulati?

.  
.  
.

20) Si vogliono studiare le proprietà di un sistema con dimensione lineare  $d=1$  fm mediante un fascio di elettroni. Si stimi l'energia minima del fascio necessaria.

.  
.  
.

### Lista domande B

1) Che tipo di decadimento devono avere i radioisotopi che si usano per marcare le molecole delle sostanze iniettate per fare una diagnostica con PET, e perché?

.  
.  
.

2) L'elicità di un neutrino che viaggia libero dopo essere stato prodotto in un decadimento debole è una costante del moto oppure no? Motivare la risposta.

.  
.

3) Quali sono i due metodi utilizzabili, nell'accelerazione a plasma, per ottenere l'eccitazione delle onde ("wakes")? Quali sono in prospettiva i vantaggi di un'acceleratore al plasma rispetto a quelli convenzionali?

.  
.  
.

4) Quali sono le differenze essenziali tra ciclotrone e sincrotrone? Quali fattori limitano la massima energia raggiungibile in ciascuno?

.  
.  
.  
.

5) In collisioni ione-ione di altissima energia come è possibile identificare anti-nuclei leggeri e quale informazione fisica si può ricavare dalla misura della loro massa?

.  
.  
.

VB GR per TH NP JLT [signature] [signature] [signature]



6) Indicare almeno un processo fisico di produzione del quark top a Tevatron e a LHC. Come è stato possibile determinare al LEP la massa del top?

.  
. .  
. .  
. .  
. .

7) Qual è indicativamente l'attuale limite delle età misurabili col metodo del  $^{14}\text{C}$ ? Motivare il perché di tale limite.

.  
. .  
. .  
. .  
. .

8) Che cosa è il triangolo di unitarietà e come sono definiti i suoi angoli? Indicare almeno un processo utile a misurare uno degli angoli e/o uno dei lati.

.  
. .  
. .  
. .  
. .

9) Quali processi fisici sono dominanti nella produzione di  $H^0$  a LHC e quali canali di decadimento sono più semplici da misurare? Quali aspetti del rivelatore sono cruciali per la misura della massa?

.  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .

10) Quali prospettive aprirebbe la realizzazione di un collisore  $\mu^+\mu^-$  ad alta energia e quali difficoltà tecnologiche devono essere affrontate e risolte per realizzarlo?

.  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .

11) Come è stato possibile determinare il numero di famiglie del Modello Standard studiando la risonanza  $Z^0$  al LEP?

.  
. .  
. .  
. .  
. .

12) Indicare almeno due tecniche di rivelazione diretta e indiretta di materia oscura, confrontandone brevemente vantaggi e svantaggi.

.  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .

UB

Met

per

QR

NP

~~MA~~

or

Jan

MA  
MA



13) Perché non è possibile il processo  $n \rightarrow pe^-$ , anche senza invocare il principio di conservazione del numero leptonico?

.  
.

14) Quali processi fra produzione di coppie, effetto Compton e effetto fotoelettrico sono non trascurabili nell'interazione in un rivelatore al Ge dei  $\gamma$  emessi dal  $^{60}\text{Co}$ ? Quale processo deve necessariamente avvenire per misurarne l'energia totale?

.  
.  
.  
.  
.

15) Cosa inibisce il processo di fusione fra nuclei e lo rende difficile da utilizzare per la produzione di energia? Perché invece questo processo accade nelle stelle?

.  
.

16) Perché i rivelatori al Ge, al contrario di quelli al Si, devono essere necessariamente raffreddati?

.  
.  
.

17) Indicare quale dei tre principali processi di interazione (assorbimento fotoelettrico, scattering Compton, produzione di coppie) dei fotoni nella materia è dominante in ciascuna delle seguenti situazioni:

- a) fotoni da 1 MeV in alluminio;
- b) fotoni da 100 keV in idrogeno;
- c) fotoni da 100 keV in ferro;
- d) fotoni da 10 MeV in carbonio;
- e) fotoni da 10 MeV in piombo;

18) Un protone e un elettrone, entrambi di energia totale 2 GeV, attraversano due scintillatori posti a 30 m di distanza. Qual è il tempo di volo delle due particelle?

.  
.  
.

19) Un calorimetro elettromagnetico è in grado di separare due sciami indotti da fotoni di alta energia quando l'angolo di apertura fra le direzioni dei  $\gamma$  è superiore a  $5^\circ$ . Il calorimetro è usato per rivelare  $\pi^0$ . Qual è la massima energia alla quale un  $\pi^0$  viene sempre riconosciuto?

.  
.  
.  
.

20) Un fascio di  $\nu_\mu$  da 30 GeV entra in Ar liquido. Per una frazione degli eventi si osserva la traccia di un  $\mu^-$  lunga vari metri dal vertice di interazione, mentre per una frazione più piccola di eventi le tracce sono tutte contenute in un volume ridotto. Perché? Quali processi fisici distinguono le due classi di eventi?

.  
.  
.  
.

VB

Ge

per

MT

NP

ser



21) Si considerino i seguenti decadimenti leptonici dei mesoni B:

$$B^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \qquad B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

Si dica se, con considerazioni basate sulle proprietà delle interazioni deboli, ci si aspetta che i processi abbiano rate di decadimento confrontabili, o se uno dei due sia molto soppresso rispetto all'altro e in tal caso indicare quale.

.

22) In una camera a drift è presente un campo magnetico di 0.8 T. Un fotone converte in una coppia  $e^+e^-$  e si osservano due tracce con raggio di curvatura 20 cm, inizialmente parallele. Calcolare l'energia del fotone.

.

23) Ricordando che la costante di Boltzmann è  $8.6 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$ , si stimi la lunghezza d'onda tipica di un fotone della radiazione cosmica di fondo e si dica a che parte dello spettro elettromagnetico corrisponde.

.

24) Il processo partonico  $b \rightarrow s\gamma$  è rappresentabile da un diagramma di Feynman ad albero nel Modello Standard delle interazioni fondamentali?

.

25) Qual è l'energia massima che possono avere particelle  $\alpha$  ottenute da un acceleratore Tandem da 5 MV di tensione massima di terminale, e perché?

.

26) I pixel di un rivelatore di vertice di silicio hanno dimensioni  $100 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ . Qual è la massima risoluzione spaziale nelle due dimensioni con lettura digitale?

.

27) Un rivelatore di radiazione accoppiato in AC con l'elettronica di lettura avrà in generale, a parità di altre condizioni, un rumore maggiore o minore di un analogo rivelatore accoppiato in DC con la stessa elettronica?

.

28) Qual è il termine dell'equazione di stato nucleare (nEoS) che si sonda mediante collisioni fra nuclei esotici (ad esempio con SPES)?

.

VB

CP

pen

TA

NP  
JK

or

or

JA  
MA



29) Il tasso medio di conteggio su un singolo elettrodo di raccolta di un rivelatore è 150 kHz. Stimare il limite superiore del tempo di processamento della catena analogica preamplificatore e shaper per limitare la probabilità di pile-up al 3%.

.  
.  
.

30) Per un rivelatore al silicio per applicazioni spettroscopiche, stimare il contributo alla risoluzione energetica (in eV FWHM) dovuto alle fluttuazioni statistiche nel numero di portatori di carica generati per fotoni di energia:

- a) 2 keV
- b) 6 keV
- c) 15 keV

31) Avendo a disposizione due scintillatori, si disegni lo schema a blocchi di una catena di acquisizione per realizzare un sistema di misura di tempo di volo.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

32) Definire il concetto di emittanza di un fascio di particelle in un acceleratore. Qual è la relazione tra emittanza e brillantezza?

.  
.

33) Quali proprietà dei SiPM li fanno preferire ai PMT convenzionali per l'impiego come fotorivelatori in un sistema di imaging integrato PET-MRI?

.  
.  
.

34) Per la ricerca della violazione di CP nel sistema dei mesoni B si è utilizzato un acceleratore  $e^+e^-$  asimmetrico con massa invariante uguale alla massa della  $Y(4S)$ . Perché  $Y(4S)$ ? Perché asimmetrico? Quali vantaggi presenta rispetto ad un collisore simmetrico?

.  
.  
.  
.

35) Un fascio di protoni da 10 GeV attraversa una lastra di ferro di spessore 0.1 cm. Il flusso di protoni corrisponde ad una corrente di 0.016 nA. La lunghezza di interazione del ferro è 17 cm. Stimare il numero di pioni carichi e di pioni neutri per unità di tempo in uscita dalla lastra.

.  
.  
.

VB

CP

per  
tho

MP  
let

es

for  
Jan  
44  
A



36) Un fascio di neutrini è prodotto con un acceleratore di protoni da 120 GeV. Dopo il bersaglio un sistema magnetico seleziona particelle positive di impulso  $20 \pm 5$  GeV/c che decadono in un tubo riempito di elio. Si vuole un fascio per quanto possibile puro di  $\nu_\mu$ . Stimare la lunghezza del tubo e indicare almeno un processo fisico che contamina la purezza del fascio.

37) Perché la rivelazione di nuclei di anti-deuterio è di particolare interesse per la ricerca indiretta di materia oscura?

38) Una massa  $m$  orbita intorno a un'altra massa  $M$ , con  $m \ll M$ . Per un osservatore posto a grande distanza,  $m$  è accelerata dal campo gravitazionale di  $M$  ed emette radiazione gravitazionale. Esaminiamo ora la stessa situazione dal punto di vista di un osservatore in caduta libera con  $m$ . Per il principio di equivalenza, secondo questo osservatore, in una regione di spazio sufficientemente piccola intorno a  $m$  il campo gravitazionale si annulla. Per questo osservatore la massa  $m$  non è accelerata e quindi non emette radiazione gravitazionale. Spiegare brevemente questo apparente paradosso.

39) Per sospendere gli specchi di un rivelatore interferometrico di onde gravitazionali, con bracci della lunghezza di qualche chilometro, viene proposto un sistema di  $N$  pendoli in cascata, dove ciascun pendolo ha una frequenza caratteristica  $f_0 \simeq 1$  Hz. L'elasticità del filo al quale sono sospesi i pendoli determina una frequenza di risonanza verticale  $f_v \simeq 10$  Hz. Determinare il rapporto tra la funzione di trasferimento verticale ed orizzontale del sistema al di sopra della frequenza di risonanza verticale. Il risultato ottenuto sarebbe accettabile per un sistema di isolamento realistico? Motivare la risposta.

40) Si scriva la formula semi-empirica per l'energia di legame dei nuclei e se ne descriva brevemente i vari termini.

UB

CP

per

MA

NP

JA

per

per

MA  
JA



ALLEGATO VP3 - 20 VERBALE, ANNO III



Bando n. 18221/2016

Concorso per titoli ed esami per 58 posti con il profilo di Ricercatore III livello professionale con contratto di lavoro a tempo indeterminato per attività di ricerca nel campo della fisica sperimentale delle interazioni fondamentali, delle tecniche di accelerazione di particelle, dello sviluppo tecnologico di metodologie fisiche utilizzabili in diversi contesti applicativi

## Seconda prova scritta

20 settembre 2016

Il tempo per lo svolgimento della prova è fissato in 2 ore e mezza

Si illustri in modo sintetico e quantitativo, secondo i punti elencati, un'attività di ricerca in fisica sperimentale di interesse dell'INFN: una misura, o uno sviluppo di rivelatori, di acceleratori, di tecnologie o di metodologie applicative.

1. Obiettivo scientifico
2. Stato delle attuali conoscenze
3. Strumentazione e/o sviluppi tecnologici richiesti (descritti se necessario con disegni schematici)
4. Analisi dei dati
5. Misure o tecnologie sinergiche
6. Confronto con esperimenti o attività concorrenti
7. Descrizione dei risultati attesi e/o delle eventuali ricadute
8. Prospettive, sviluppi o miglioramenti a lungo termine

Qualora non si ritenga necessario discutere uno o più fra i punti elencati, motivare brevemente la scelta.

face  
~~face~~  
NP  
VB

GR

PT  
es

face  
R  
MA