CHAHAL ACADEMY
LEARN TODAY! LEAD TOMORROW!
96259-93995

वियोज्य DETACHABLE

भौतिकी (प्रश्न-पत्र II)

PHYSICS (Paper II)

निर्धारित समय : तीन घण्टे *Time Allowed : Three Hours*	अधिकतम अंक : 250 *Maximum Marks : 250*

प्रश्न-पत्र सम्बन्धी विशेष अनुदेश

उत्तर देने के पूर्व निम्नलिखित निर्देशों को कृपया सावधानीपूर्वक पढ़ें :

इसमें **आठ** प्रश्न हैं जो **दो खण्डों** में विभाजित हैं तथा **हिन्दी** और **अंग्रेजी** दोनों में छपे हुए हैं।

उम्मीदवार को कुल **पांच** प्रश्नों के उत्तर देने हैं।

प्रश्न संख्या **1** और **5** अनिवार्य हैं तथा बाकी प्रश्नों में से प्रत्येक खण्ड से कम-से-कम **एक** प्रश्न चुनकर **तीन** प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

प्रत्येक प्रश्न/भाग के लिए नियत अंक उसके सामने दिए गए हैं।

प्रश्नों के उत्तर उसी प्राधिकृत माध्यम में लिखे जाने चाहिए जिसका उल्लेख आपके प्रवेश-पत्र में किया गया है, और इस माध्यम का स्पष्ट उल्लेख प्रश्न-सह-उत्तर (क्यू.सी.ए.) पुस्तिका के मुखपृष्ठ पर निर्दिष्ट स्थान पर किया जाना चाहिए। प्राधिकृत माध्यम के अतिरिक्त अन्य किसी माध्यम में लिखे गए उत्तर पर कोई अंक नहीं मिलेंगे।

यदि आवश्यक हो, तो उपयुक्त आँकड़ों का चयन कीजिए तथा उनको निर्दिष्ट कीजिए।

जब तक उल्लिखित न हो, संकेत तथा शब्दाबली प्रचलित मानक अर्थों में प्रयुक्त हैं।

प्रश्नों के उत्तरों की गणना क्रमानुसार की जाएगी। यदि काटा नहीं हो, तो प्रश्न के उत्तर की गणना की जाएगी चाहे वह उत्तर अंशतः दिया गया हो। प्रश्न-सह-उत्तर पुस्तिका में खाली छोड़ा हुआ पृष्ठ या उसके अंश को स्पष्ट रूप से काटा जाना चाहिए।

QUESTION PAPER SPECIFIC INSTRUCTIONS

Please read each of the following instructions carefully before attempting questions :

There are **EIGHT** questions divided in **TWO SECTIONS** and printed both in **HINDI** and in **ENGLISH**.

Candidate has to attempt **FIVE** questions in all.

Question Nos. **1** and **5** are compulsory and out of the remaining, **THREE** are to be attempted choosing at least **ONE** question from each Section.

The number of marks carried by a question/part is indicated against it.

Answers must be written in the medium authorized in the Admission Certificate which must be stated clearly on the cover of this Question-cum-Answer (QCA) Booklet in the space provided. No marks will be given for answers written in a medium other than the authorized one.

Assume suitable data, if considered necessary, and indicate the same clearly.

Unless and otherwise indicated, symbols and notations carry their usual standard meanings.

Attempts of questions shall be counted in sequential order. Unless struck off, attempt of a question shall be counted even if attempted partly. Any page or portion of the page left blank in the Question-cum-Answer Booklet must be clearly struck off.

स्थिरांक जिनकी आवश्यकता हो सकती है

निर्वात में प्रकाश का वेग (c)	=	3×10^{8} m s^{-1}
इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान (m_e)	=	$9 \cdot 11 \times 10^{-31}$ kg
इलेक्ट्रॉन का आवेश (e)	=	$1 \cdot 602 \times 10^{-19}$ C
इलेक्ट्रॉन का विशिष्ट आवेश $\left(\frac{e}{m_e}\right)$	=	$1 \cdot 76 \times 10^{11}$ C kg^{-1}
1 u = 1 a.m.u. = $1 \cdot 6605 \times 10^{-27}$ kg	=	931·5 MeV
इलेक्ट्रॉन की विरामावस्था द्रव्यमान ऊर्जा ($m_e c^2$)	=	0·5110 MeV
मुक्त आकाश में विद्युतशीलता (ε_0)	=	$8 \cdot 8542 \times 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}
मुक्त आकाश की पारगम्यता (μ_0)	=	$4\pi \times 10^{-7}$ N A^{-2}
गैस स्थिरांक (R)	=	8·314 J mol^{-1} K^{-1}
बोल्ट्ज़मान स्थिरांक (k_B)	=	$1 \cdot 381 \times 10^{-23}$ J K^{-1}
प्लांक स्थिरांक (h)	=	$6 \cdot 626 \times 10^{-34}$ J s
($\hbar$)	=	$1 \cdot 0546 \times 10^{-34}$ J s
बोर मैग्नेटॉन (μ_B)	=	$9 \cdot 274 \times 10^{-24}$ J T^{-1}
नाभिकीय मैग्नेटॉन (μ_N)	=	$5 \cdot 051 \times 10^{-27}$ J T^{-1}
सूक्ष्म संरचना स्थिरांक (α)	=	1/137·03599
प्रोटॉन का द्रव्यमान (m_p)	=	1·0072766 u = $1 \cdot 6726 \times 10^{-27}$ kg
न्यूट्रॉन का द्रव्यमान (m_n)	=	1·0086652 u = $1 \cdot 6749 \times 10^{-27}$ kg
ड्यूटरॉन का द्रव्यमान (m_d)	=	2·013553 u
α-कण का द्रव्यमान (m_α)	=	4·001506 u
$^{12}_{6}$C का द्रव्यमान	=	12·000000 u
$^{16}_{8}$O का द्रव्यमान	=	15·994915 u
$^{87}_{38}$Sr का द्रव्यमान	=	86·99999 u
$^{4}_{2}$He का द्रव्यमान	=	4·002603 u
कक्षीय घूर्णचुम्बकीय अनुपात (g_l)	=	0 (न्यूट्रॉन), 1 (प्रोटॉन)
स्पिन घूर्णचुम्बकीय अनुपात (g_s)	=	−3·8260 (न्यूट्रॉन), 5·5856 (प्रोटॉन)

Constants which may be needed

Velocity of light in vacuum (c)	$= 3\times10^{8}$ m s^{-1}
Mass of electron (m_e)	$= 9{\cdot}11\times10^{-31}$ kg
Charge of electron (e)	$= 1{\cdot}602\times10^{-19}$ C
Specific charge of electron $\left(\frac{e}{m_e}\right)$	$= 1{\cdot}76\times10^{11}$ C kg^{-1}
1 u ≡ 1 a.m.u. $= 1{\cdot}6605\times10^{-27}$ kg	= 931·5 MeV
Rest mass energy of electron ($m_e c^2$)	= 0·5110 MeV
Permittivity in free space (ε_0)	$= 8{\cdot}8542\times10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}
Permeability of free space (μ_0)	$= 4\pi\times10^{-7}$ N A^{-2}
Gas constant (R)	$= 8{\cdot}314$ J mol^{-1} K^{-1}
Boltzmann constant (k_B)	$= 1{\cdot}381\times10^{-23}$ J K^{-1}
Planck constant (h)	$= 6{\cdot}626\times10^{-34}$ J s
($\hbar$)	$= 1{\cdot}0546\times10^{-34}$ J s
Bohr magneton (μ_B)	$= 9{\cdot}274\times10^{-24}$ J T^{-1}
Nuclear magneton (μ_N)	$= 5{\cdot}051\times10^{-27}$ J T^{-1}
Fine structure constant (α)	= 1/137·03599
Mass of proton (m_p)	$= 1{\cdot}0072766$ u $= 1{\cdot}6726\times10^{-27}$ kg
Mass of neutron (m_n)	$= 1{\cdot}0086652$ u $= 1{\cdot}6749\times10^{-27}$ kg
Mass of deuteron (m_d)	= 2·013553 u
Mass of α-particle (m_α)	= 4·001506 u
Mass of $^{12}_{6}C$	= 12·000000 u
Mass of $^{16}_{8}O$	= 15·994915 u
Mass of $^{87}_{38}Sr$	= 86·99999 u
Mass of $^{4}_{2}He$	= 4·002603 u
Orbital gyromagnetic ratio (g_l)	= 0 (neutron), 1 (proton)
Spin gyromagnetic ratio (g_s)	= −3·8260 (neutron), 5·5856 (proton)

खण्ड 'A'   SECTION 'A'

1.(a) द्रव्य तरंग की डी-ब्रोगली संकल्पना क्या है ? 300 V द्वारा त्वरित हीलियम के डी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य का मूल्यांकन कीजिए ।

(प्रोटॉन का दिया हुआ द्रव्यमान = न्यूट्रॉन का द्रव्यमान = $1 \cdot 67 \times 10^{-27}$ kg)

What is de Broglie concept of matter wave ? Evaluate de Broglie wavelength of Helium that is accelerated through 300 V.

(Given mass of proton = Mass of neutron = $1 \cdot 67 \times 10^{-27}$ kg) 10

1.(b) एक-आयामी अनंत विभव कूप में एक इलेक्ट्रॉन

$V(x) = 0$ $\quad -a \leqslant x \leqslant a$ के लिए, अन्यथा $V(x) = \infty$

द्वारा परिभाषित होता है और $n = 4$ से $n = 2$ स्तर तक जाता है तथा $3 \cdot 43 \times 10^{14}$ Hz आवृत्ति का फोटॉन उत्सर्जित करता है । कूप की चौड़ाई की गणना कीजिए । (मान लीजिए कि प्लाँक्स स्थिरांक $h = 6 \cdot 626 \times 10^{-34}$ J.S. तथा इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $m = 9 \cdot 11 \times 10^{-31}$ kg है ।)

An electron in a one-dimensional infinite potential well, defined by

$V(x) = 0$ for $-a \leqslant x \leqslant a$ and $V(x) = \infty$

otherwise, goes from $n = 4$ to $n = 2$ level and emits photon of frequency $3 \cdot 43 \times 10^{14}$ Hz. Calculate the width of the well. (Assume Plank's constant $h = 6 \cdot 626 \times 10^{-34}$ J.S. and mass of electron $m = 9 \cdot 11 \times 10^{-31}$ kg) 10

1.(c) 120 MHz पर बैंजीन में प्रोटॉन के NMR स्पेक्ट्रम का निरीक्षण करने के लिए आवश्यक चुंबकीय क्षेत्र की ताकत की गणना कीजिए । [प्रोटॉन के लिए नाभिकीय g-कारक (g_N) = 5·585]

Calculate the magnetic field strength required to observe the NMR spectrum of protons in benzene at 120 MHz. [Given the value of nuclear g-factor g_N for protons is 5·585] 10

1.(d) दिखाइए कि शुद्ध कक्षीय कोणीय संवेग और शुद्ध स्पिन कोणीय संवेग के लिए लंडे g-कारक क्रमशः 1 और 2 है । $^3P_1$ अवस्था के लिए g-कारक का मूल्यांकन कीजिए ।

Show that the Landé g-factor for pure orbital angular momentum and pure spin angular momentum are 1 and 2 respectively. Further, evaluate the g-factor for the state $^3P_1$. 10

1.(e) उठते (J_+) और गिरते (J_-) हुए आपरेटरों को क्रमशः $J_+ = J_x + iJ_y$ और $J_- = J_x - iJ_y$ द्वारा परिभाषित किया जाता है । निम्नलिखित सर्वसमिकाओं को सिद्ध कीजिए :

(i) $[J_z, J_\pm] = \pm \hbar J_\pm$

(ii) $J_- J_+ = J^2 - J_z^2 - \hbar J_z$

The raising (J_+) and lowering (J_-) operators are defined by $J_+ = J_x + iJ_y$ and $J_- = J_x - iJ_y$ respectively. Prove the following identities :

(i) $[J_z, J_\pm] = \pm \hbar J_\pm$

(ii) $J_- J_+ = J^2 - J_z^2 - \hbar J_z$ 10

2. (a) एक आयामी विभव प्राचीर के लिए श्रोडिंगर का तरंग समीकरण स्थापित कीजिए और इसकी सुरंगन (टनलिंग) की संभावना ज्ञात कीजिये ।

Set up the Schrodinger's wave equation for one dimensional potential barrier and obtain the probability of tunneling. 20

2. (b) दिखाइए कि हाइड्रोजन परमाणु के स्थायी अवस्थाओं में $E_n = < V >$ होता है ।

Show that $E_n = < V >$ in the stationary states of the hydrogen atom. 15

2. (c) (i) दिखाइए कि एक दिये गये मुख्य क्वांटम संख्या n के लिए परमाणु की संभावित अवस्थायें n^2 होती हैं ।

(ii) एक परमाणु अवस्था को $^4D_{5/2}$ द्वारा निरूपित किया जाता है, तो :
L, S और J का मान ज्ञात कीजिए । इस अवस्था के लिए शामिल इलेक्ट्रॉनों की न्यूनतम संख्या कितनी होनी चाहिए ? एक संभावित इलेक्ट्रॉनिक संरूपण का सुझाव दीजिए ।

(i) Show that for a given principal quantum number n, there are n^2 possible states of the atom.

(ii) An atomic state is denoted by $^4D_{5/2}$. Find the values of L, S and J. For this state, what should be the minimum number of electrons involved ? Suggest a possible electronic configuration. 7+8=15

3. (a) यदि इकाई सदिश η की दिशा में स्पिन घटक का मान $\frac{1}{2}\hbar$ है तो $s = \frac{1}{2}$ के लिए स्पिन तरंग फलन क्या है ?

What is the spin wave function (for $s = \frac{1}{2}$) if the spin component in the direction of unit vector η has a value of $\frac{1}{2}\hbar$? 15

3. (b) (i) परमाणु भौतिकी में स्टर्न-गेरलॉच प्रयोग का इतना महत्त्व क्यों है ?

(ii) इस प्रयोग का योजनाबद्ध आरेख बनाइए और चुंबक के ध्रुवीय खंडों की आकृतियों पर टिप्पणी कीजिए ।

(iii) इस प्रयोग में चाँदी के परमाणु पुंज का प्रयोग क्यों किया गया था ?

(i) Why does Stern-Gerlach experiment enjoy so much importance in atomic physics ?

(ii) Draw the schematic diagram of this experiment and comment on the shapes of the magnet pole pieces.

(iii) Why was the atomic beam of silver used in this experiment ? 20

3. (c) फ्रांक-कॉन्डन सिद्धांत को परिभाषित कीजिए । यह द्विपरमाणुक अणुओं के कंपनिक और इलेक्ट्रॉनिक स्पेक्ट्रमों के तीव्रता वितरण को समझाने में कैसे मदद करता है ।

Define Franck-Condon principle. How does it help in explaining the intensity distribution of vibrational-electronic spectra of diatomic molecules. 15

4. (a) (i) एक द्विपरमाणुक अणु में जब एक घटक परमाणु को उसके भारी समस्थानिकों में से एक द्वारा प्रतिस्थापित किया जाता है तो घूर्णनी स्पेक्ट्रम में क्या परिवर्त्तन होते हैं ?

(ii) जब हाइड्रोजन अणु में हाइड्रोजन को ड्यूटेरियम द्वारा प्रतिस्थापित किया जाता है तो घूर्णनी स्थिरांक B में परिवर्त्तन की गणना कीजिए ।

(iii) घूर्णनी ऊर्जा स्तरों के योजनाबद्ध निरूपण का उपयोग करके कठोर और गैर-कठोर रोटरों का स्पेक्ट्रा बनाइए और उस पर टिप्पणी कीजिए ।

(i) In a diatomic molecule when one constituent atom is replaced by one of its heavier isotopes, what change takes place in the rotational spectrum ?

(ii) Calculate the change in rotational constant B when hydrogen is replaced by deuterium in the hydrogen molecule.

(iii) Draw the spectra of rigid and non-rigid rotors by using the schematic representation of the rotational energy levels and comment on it. 20

4. (b) (i) द्विपरमाणुक अणुओं के कंपनिक स्पेक्ट्रा पर अप्रसंवादिता (एनहार्मोनिसिटी) के प्रभाव को संक्षेप में समझाइए ।

(ii) HCl अणु के घूमने (घूर्णन) की औसत अवधि की गणना कीजिए यदि यह $J=3$ अवस्था में है । HCl की अंतरा-अणुक दूरी और जड़त्व-आघूर्ण क्रमशः 0·1274 nm और $0{\cdot}0264\times10^{-45}$ kg.m^2 है ।

(i) Briefly explain the effect of anharmonicity on the vibrational spectra of diatomic molecules.

(ii) Calculate the average period of rotation of HCl molecule if it is in the $J=3$ state. The internuclear distance and the moment of inertia of HCl are 0·1274 nm and $0{\cdot}0264\times10^{-45}$ kg.m^2 respectively. 15

4. (c) σ_x और σ_y आव्यूहों के सामान्यीकृत अभिलक्षणिक सदिशों को प्राप्त कीजिए ।

Obtain the normalized eigenvectors of σ_x and σ_y matrices. 15

खण्ड 'B' SECTION 'B'

5. (a) यदि नाभिकीय बल आवेश से स्वतंत्र है और एक न्यूट्रॉन और एक प्रोटॉन बाध्य अवस्था बनाते हैं तो दो न्यूट्रॉनों के लिए बाध्य अवस्था क्यों नहीं है ? यह न्यूक्लिऑन-न्यूक्लिऑन बल पर क्या जानकारी प्रदान करता है ?

If the nuclear force is charge independent and a neutron and proton form a bound state then why is there no bound state for two neutrons ? What information does this provide on the nucleon-nucleon force ? 10

5. (b) स्पष्ट कीजिए कि इनमें से प्रत्येक कण क्वार्क-माडल के अनुसार क्यों विद्यमान नहीं हो सकता ।

(i) 1 स्पिन (प्रचक्रण) का एक बेरियान एवं

(ii) विद्युत आवेश +2 का एक एंटी-बेरियान

Explain why each of the following particles cannot exist according to the quark model.

(i) A Baryon of spin 1 and

(ii) An anti-Baryon of electric charge +2 10

5.(c) व्याख्या कीजिए कि क्यों अतिचालक चुंबकों के अनुप्रयोग में टाइप-II अतिचालक टाइप-I अतिचालक से बेहतर होता है।

Explain why Type-II superconductor is better than Type-I superconductor in the application of superconductor magnets. 10

5.(d) क्षेत्र प्रभाव ट्रांजिस्टर (फेट) को क्यों एक ध्रुवी ट्रांजिस्टर कहा जाता है ? कैसे यह द्विध्रुवी संधि ट्रांजिस्टर से श्रेष्ठ है, व्याख्या कीजिए।

Why is the Field Effect Transistor (FET) called Unipolar Transistor ? Discuss how it is superior than Bipolar Junction Transistor. 10

5.(e) NAND और NOR गेट्स को सार्वत्रिक गेट्स क्यों कहा जाता है ? X–OR गेट का तर्क-आरेख, बूलियन समीकरण, और सत्य-टेबल दीजिए।

Why NAND and NOR gates are called universal gates ? Give the logic diagram, Boolean equation and the truth table of a X–OR gate. 10

6.(a) दर्शाइए कि एक विशिष्ट स्तर (n, l) के लिए क्वांटम संख्या (N) की विशेषता वाली ऊर्जा के सापेक्ष एक बड़ी अपभ्रष्टता (डि-जनरेसी) होती है। आवर्त्ती दोलक विभव द्वारा अनुमानित शेल क्लोजर और जादुई संख्याओं को ज्ञात कीजिए।

Show that for a specific value (n, l), there exists a large degeneracy relative to the energy characterized by the quantum number (N). Find the shell closures and the magic numbers predicted by harmonic oscillator potential. 15

6.(b) परमाणुओं को कठोर, एकसमान गोले मानते हुए साधारण घन, बीसीसी और एफ़सीसी संरचनाओं के लिए प्रति एकक कोष्ठिका (सेल) परमाणुओं की संख्या और संकुलन गुणांक ज्ञात कीजिए।

Considering atoms hard, uniform spheres, find the number of atoms per unit cell and packing fraction for simple cubic, bcc and fcc structures. 15

6.(c) वाइजेकर के अर्ध अनुभवसिद्ध द्रव्यमान सूत्र को लिखिए और प्रत्येक पद की व्याख्या कीजिए। समझाइए कि क्यों $^{238}_{92}U$ एक α-उत्सर्जक है और क्यों यह β^--उत्सर्जक नहीं है ?

Write down the Weizsäcker semi-emperical mass formula and explain each term. Explain why $^{238}_{92}U$ nuclide is an α-emitter and not a β^--emitter ? 10+10

7.(a) आइंस्टीन के विशिष्ट ऊष्मा सिद्धांत की कमियों की व्याख्या कीजिए और यह भी समझाइए कि कैसे डिबाय के द्वारा इसे दूर किया गया था।

Explain the drawbacks of Einstein's theory of specific heat and how it was overcome by Debye. 20

7.(b) दर्शाइए कि एक न्यूट्रॉन और एक प्रोटॉन विराम अवस्था में विकिरणी प्रग्रहण कर सकते हैं :

$$n+p \longrightarrow d+\gamma$$

इसे प्रग्रहण में उत्सर्जित फोटोन की ऊर्जा प्राप्त कीजिए। क्या ड्यूटरॉन का प्रतिक्षेप महत्त्वपूर्ण है ?

A neutron and a proton can undergo radiative capture at rest :

$$n+p \longrightarrow d+\gamma$$

Find the energy of the photon emitted in this capture. Is the recoil of the deuteron important ? 15

7. (c) एक अतिचालक के तापक्रम पर एक सामान्य चालक के साथ प्रतिरोध की निर्भरता की तुलना कीजिए। कूपर-युग्मों के निर्माण का संक्षेप में वर्णन कीजिए।

Compare the dependence of resistance on temperature of a superconductor with that of a normal conductor. Describe briefly the formation of Cooper pairs. 15

8. (a) दिखाइए कि एक n-प्रकार के अर्द्धचालक के लिए फर्मी-स्तर कम तापक्रम पर दाता अवस्थाओं और चालन बैंड कोर के बीच में स्थित होता है। ($E_v = 0$ मानते हुए)

Show that for an n-type semiconductor, the Fermi level lies midway between the donor states and the conduction band edge at low temperature (assuming $E_v = 0$). 20

8. (b) तांबे के लक्ष्य (टारगेट) से निर्गत एक प्रमुख एक्स-रे लाइन की तरंग दैर्घ्य 0·1512 m है। fcc संरचना वाले क्रिस्टल के (111) तलों से विवर्तित विकिरण 20·2° के ब्रेग-कोण के अनुरूप होता है। यदि क्रिस्टल का घनत्व 2698 kg/m^3 है और परमाणु-भार 26·98 kg/k mol है तो अवगाद्रो संख्या की गणना कीजिए।

The wavelength of a prominent X-ray line from a copper target is 0·1512 m. The radiation, when diffracted with (111) plane of a crystal with fcc structure, corresponded to a Bragg angle of 20·2°. If the density of the crystal is 2698 kg/m^3 and atomic weight is 26·98 kg/k mol, calculate the Avogadro number. 15

8. (c) निम्नलिखित में से कौन से क्षय अनुमन्य और कौन से वर्जित हैं ? अगर क्षय अनुमन्य है तो उल्लिखित कीजिए कि कौन सी अन्योन्यक्रिया इसके लिए उत्तरदायी है। अगर क्षय वर्जित है तो उल्लेख कीजिए कि इसमें कौन से संरक्षण नियम का उल्लंघन होगा।

(a) $n \longrightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

(b) $\wedge^\circ \longrightarrow \pi^+ + \pi^-$

(c) $\pi^- \longrightarrow e^- + \gamma$

(d) $\pi^\circ \longrightarrow e^- + e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_e$

(e) $\pi^+ \longrightarrow e^- + e^+ + \mu^+ + \nu_\mu$

Which of the following decays are allowed and which are forbidden ? If the decay is allowed, state which interaction is responsible. If it is forbidden, state which conservation law its occurrence would violate.

(a) $n \longrightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

(b) $\wedge^\circ \longrightarrow \pi^+ + \pi^-$

(c) $\pi^- \longrightarrow e^- + \gamma$

(d) $\pi^\circ \longrightarrow e^- + e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_e$

(e) $\pi^+ \longrightarrow e^- + e^+ + \mu^+ + \nu_\mu$ 15