Indian National Chemistry Olympiad 2026
Theory (3 hours)

Total 106 marks **Time- 3 hours**

Date: January 31, 2026

छात्रों के लिए निर्देश

अनुक्रमांक - ☐☐☐☐ – ☐☐☐☐ – ☐☐☐☐

- अपना अनुक्रमांक ऊपर दिये हुए बक्सों में लिखें।
- जांच लें की इस प्रश्नपत्र में **14** मुद्रित पन्ने (आवर्त सारणी को गिनकर) हैं। यदि नहीं हैं तो निरीक्षक को तुरंत सूचित करें।
- आपका कोई भी उत्तर इस प्रश्न पत्र में न लिखें।
- तत्वों की आवर्त सारणी की प्रति अंत में दी गई हैं।
- परीक्षा कक्ष को तभी छोड़े जब निर्देश दिये जाएँ।

उपयोगी स्थिरांक और सूत्र

Avogadro number $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ mol^{-1}

Molar gas constant $R = 8.314$ J K^{-1} mol^{-1}

$= 0.08205$ L atm K^{-1} mol^{-1}

1 atm $= 101325$ Pa

Density of water at 4 ºC = 1000 kg m^{-3}

Electronic Charge, $e = 1.602 \times 10^{-19}$C

Mass of electron, $m_e = 9.109 \times 10^{-31}$kg

HBCSE

© Homi Bhabha Centre for Science Education, Tata Institute of Fundamental Research
V. N. Purav Marg, Mankhurd, Mumbai 400 088

प्रश्न 1 **28 अंक**

पेट्रोल इंजन के ईंधन

पेट्रोल एक आम द्रव ईंधन हैं जो दो और चार पहियों वाले हल्के यात्री वाहनों में उपयोग किया जाता हैं। यह लगभग 4 से 12 कार्बन वाले 150 वाष्पशील हाइड्रोकार्बन का मिश्रण हैं। पेट्रोल के घटक हैं – सतत और शाखित श्रृंखला वाले ऐल्केनस (पैराफिन), चक्रीय ऐल्केनस (नैफ्थीन्स) एक द्विआबंध वाले असंतृप्त हाइड्रोकार्बन (ओलेफ़िन), और ऐरोमैटिक हाइड्रोकार्बन, जिनका औसत रासायनिक संघटन $C_{8.26}H_{15.5}$ होता हैं। यह प्रश्न पेट्रोल इंजनों मे आमतौर पर इस्तेमाल किए जाने वाले पेट्रोल और संबंधित इंधनों के दहन की छान-बीन करेगा।

उपयोगी डेटा :

यौगिक	*n*-ऑक्टेन (*l*)	चक्रिय-हेक्सेन (*l*)	आइसो-ऑक्टेन (*l*)	इथेनॉल (*l*)
घनत्व (g cm^{-3})	0.7	0.77	0.69	0.79
$\Delta H_{\text{दहन}}$ (kJ mol^{-1})	-5470.3	-3918.6	-5461.0	-1366.8

भाग A: पेट्रोल इंजन में दहन

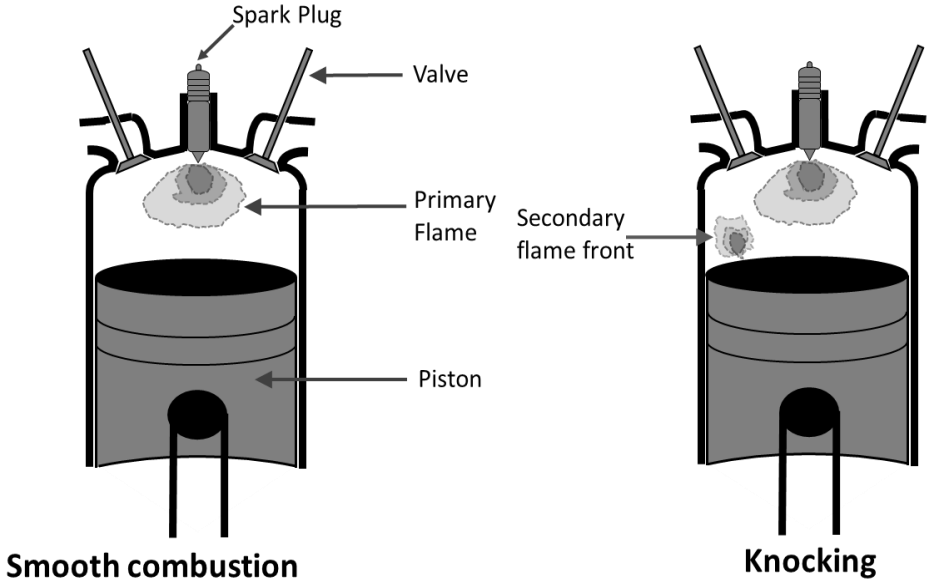
ऑक्टेन को एक प्रतिमान ईंधन लेकर पेट्रोल का दहन समझा जा सकता है।

1.1 ऑक्टेन के दो किरल केंद्र वाले सभी संभावित त्रिविमसमावयवों का वेज- डेश प्रतिरूप में संरचनाएँ बनाएँ।

ईंधन के दहन की शुरुआत हाइड्रोकार्बन के C-H बंध के समापघटनी विदलन से होती है जिससे ऐल्किल मूलक बनते हैं। ये मूलक पुनर्व्यवस्थित होकर स्थायी मूलक बना सकते हैं। यदि पुनर्व्यवस्थापना के बाद भी बने हूए मूलक अस्थायी हों तो ईंधन कम तापमान पर भी जल सकता है। दहन के दौरान ऑक्टेन के समावयवों से बने ऐल्किल मूलकों में से आइसो-ऑक्टेन (2,2,4-trimethylpentane) से बने मूलक सबसे स्थायी होते है, कुछ पुनर्व्यवस्थापना से और स्थायी बन जाते हैं।

1.2 सारे संभावित ऐल्किल मूलकों का चित्र बनाएँ जो आइसो- ऑक्टेन से सीधे या पुनर्व्यवस्थापन के बाद बने हों। सबसे स्थायी मुक्त मूलक को पहचान कर उसकी संरचना पर गोल करें।

निचे दिए रेखाचित्र में दिखाया गया है, कुछ विशेष परिस्थितियों में, पेट्रोल इंजन में ईंधन मिश्रण के कुछ घटक जो कम स्थायी मुक्त मूलक बनाते हैं वे स्वयं ज्वलित हो सकते हैं, मुख्य ज्वाला-अग्र द्वारा प्रज्वलन के बिना। ये गौण ज्वालाएँ, मुख्य ज्वाला के बाहर ऊष्मा और दाब तरंगे उत्पन्न करती हैं। विभिन्न दाब लहरें सिलिन्डर में प्रघाती तरंगें उत्पन्न कर सकती हैं और पिस्टन की झटकेदार गति देती हैं। ये प्रघाती तरंगें एक विशेष 'पिंगिंग' ध्वनि भी उत्पन्न करती हैं जिसे नॉकिंग कहते हैं। ईंधन की नॉकिंग की प्रवृत्ति (जिससे वाहन मे झटकेदार गति होती है) को ऑक्टेन नंबर से मापा जाता है। जिस ईंधन से कम नॉकिंग होती है उसे बेहतर मानकर बड़ा ऑक्टेन नंबर दिया जाता है।

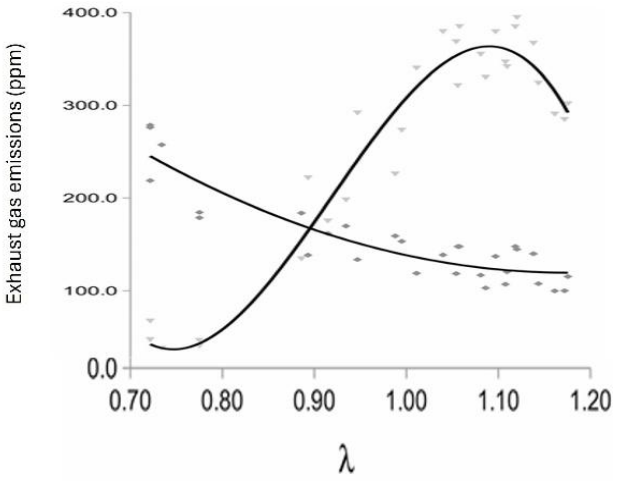


1.3 निम्नलिखित हाइड्रोकार्बनों को उनकी नॉकिंग प्रवृत्ति के आरोही क्रम में लिखें।
मिथाइलचक्रिय-हेक्सेन, आइसो-ऑक्टेन, *n*-ऑक्टेन, टॉलूईन (मिथाइल बेन्ज़ीन)

1.4 एक 100 cm^3 तरल ईंधन मिश्रण जिसमें *n*-ऑक्टेन और चक्रिय-हेक्सेन [70:30 (v/v) मान लीजिए आयतन योगात्मक हैं] हैं। इसका पूर्णत दहन करने हेतु हवा की स्टॉइकियोमीट्रीक मात्रा का (g में) अनुमान लगाएँ। प्रत्येक घटक के दहन के लिए संतुलित समीकरण लिखें। [वायु की संचरना (एनटीपी पर) मान लीजिए : आर्गन (0.95%), नाइट्रोजन (78.08%) और ऑक्सीजन (20.95%)]

वायु-ईंधन अनुपात (λ) इंजन में अंदर आने वाली हवा और ईंधन के वजन का सापेक्ष स्टॉइकियोमेट्रीक अनुपात होता हैं। जब $\lambda = 1$, इंजन के दहन मिश्रण में हवा और ईंधन की स्टॉइकियोमीट्रीक मात्रा होती हैं; $\lambda < 1$ मूल्य दर्शाते हैं ईंधन आधिक्य मिश्रण, जबकि $\lambda > 1$ हवा आधिक्य मिश्रण होंगा। यह अनुपात ईंधन से निष्काषित गैस के संघटन पर प्रभाव डालता है।

पेट्रोल इंजन के निकास में दो गैसों के सांद्रता मानों को λ के एक फलन के रूप मे यहा ग्राफ मे दो वक्रों के रूप मे प्रस्तुत किया गया है।



1.5 यदि एक पेट्रोल इंजन में ईंधन मिश्रण के दहन हेतु 20% अधिक हवा (λ = 1.2) दी जाए जहाँ ईंधन मिश्रण में *n*-ऑक्टेन (85% v/v), चक्रिय-हेक्सेन (5% v/v), 2- ब्यूटीन (5% v/v) और टॉलूईन(5% v/v) है, वहाँ निकास में काफी सांद्रता (200 ppm से अधिक) में उत्सर्जित गैसों को पहचानें।

a) CO_2 b) CO c) Ar d) NOx

e) N_2 f) O2 g) अधजली हाइड्रोकार्बन (CH)

भाग B: इथेनॉल और आइसो-ऑक्टेन को मिलाना

ज्यादातर सरकारें वाहन उत्सर्जन नियम लागू कर रही हैं जो नियमित रूप से सख़्त बनाएँ जा रहे हैं। भारत सरकार द्वारा अधिसूचित BS VI उत्सर्जन मानक में दो पहिया चिंगारी-प्रज्वलन इंजन से उत्सर्जित गैसों की सीमा इस प्रकार है : CO (500 mg km^{-1}), HC (100 mg km^{-1}), NO_x (90 mg km^{-1}).

[संदर्भ : भारत उत्सर्जन मानक चरण VI (BS-VI), सड़क परिवहन और राजमार्ग मंत्रालय, मई 2020]

ईंधन के संघटन में बदलाव कुछ हद तक उत्सर्जन संबंधी समस्याओं को कम कर सकते हैं। इथेनॉल एक वैकल्पिक परिवहन ईंधन हैं, जो कृषि क्षेत्र के उप-उत्पाद के रूप मे उपलब्ध हैं।

1.6 मानो एक इंजन के तरल ईंधन आइसो-ऑक्टेन (F_0) को बदलकर एक मिश्रण लिया जिसमें 80% आइसो-ऑक्टेन और 20% इथेनॉल (v/v, मान लीजिए आयतन योगात्मक हैं) हैं, जिसे F_{20} कहेंगे।

i) दो ईंधनों के कैलोरीफिक मान के अंतर, $C(F_{20})$ - $C(F_0)$, का अनुमान, उत्सर्जित ऊष्मा प्रति ग्राम में लगाएँ।

ii) ईंधन को F_0 से F_{20} मे बदलने से वाहन द्वारा तय की गई समान दूरी मे CO_2 के उत्सर्जन में कितनी प्रतिशत घटौती होंगी? मानिए की दहन की पूर्णता 100% और इंजन की कार्यक्षमता दोनों मामलों में एक सी हैं।

भाग C: इथेनॉल मिश्रित पेट्रोल

भारत सहित दुनिया के अलग अलग हिस्सों में, भिन्न अनुपात में इथेनॉल मिश्रित पेट्रोल उपयोग किया जा रहा हैं। E_{85} मिश्रण हैं 85% इथेनॉल और 15% पेट्रोल का, E_{20} मिश्रण हैं 20% इथेनॉल और 80% पेट्रोल का आदि। किसी ईंधन का प्रज्वलन तापमान वह तापमान होता है जिस पर वह सामान्य वातावरण में बिना किसी बाहरी प्रज्वलन स्रोत के स्वतः ही प्रज्वलित हो जाता है। इथेनॉल मिश्रित ईंधन से जुड़े कुछ तथ्य इस प्रकार हैं:

F1. इथेनॉल पानी के साथ स्थिरक्वाथी मिश्रण बनाता है।
F2. ईंधन मिश्रण की ऐल्किल श्रृंखला में द्विआबंध को डालने से उसके कुछ ऐल्किल मूलक स्थायी हो जाते हैं।
F3. इथेनॉल के अणु मूल रूप से ऑक्सीजन युक्त होते हैं।
F4. इथेनॉल का प्रज्वलन तापमान 365 °C है और पेट्रोल का 247-280 °C है।
F5. इथेनॉल मिश्रित पेट्रोल वातावरण से पानी सोखता है।
F6. ऑक्सीजन युक्त ईंधन कालिख के निर्माण को रोकते हैं।
F7. एथेनॉल की वाष्पीकरण की गुप्त ऊष्मा ऑक्टेन की तुलना में काफी अधिक होती है।

1.7 बताइए की पेट्रोल इंजन के लिए निम्नलिखित में से कौन से कथन सही/गलत हैं और अपने उत्तर को सही ठहराने वाले तथ्य(F1-F7) लिखिए।

S1. E_{20} मिश्रित ईंधन E_0 से कम नॉकिंग दर्शाएगा।
S2. दहन की शुरुआत में इंजन में वायु-ईंधन मिश्रण का तापमान E_{85} में E_{20} की तुलना से कम होगा।
S3. E_{20} की तुलना में E_{85} ईंधन, इंजन के धात्विक हिस्सों के लिए ज्यादा घातक हो सकता है।
S4. जब $\lambda = 1$ है, E_{85} ईंधन से अधजली CH का उत्सर्जन E_{20} से ज्यादा होगा।
S5. E_{85} ईंधन से कणिकीय पदार्थों का उत्सर्जन काफी मात्रा में बढ़ता हैं।

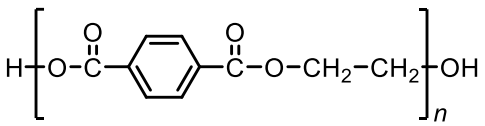
प्रश्न 2 **21 अंक**

बहुलक पुनर्चक्रण

बहुलक पुनर्चक्रण का उद्देश्य कचरे को कम करने के साथ-साथ नए कच्चा माल प्राप्त करने के लिए बहुलक को पुनर्प्राप्त करना और पुन: उपयोग करना है। यह यांत्रिक या रासायनिक पुनर्चक्रण के द्वारा किया जाता है। यांत्रिक पुनर्चक्रण में, बहुलक को पिघलाया जाता है और फिर से आकार दिया जाता है। रासायनिक पुनर्चक्रण में, बहुलक को नए पदार्थ बनाने या उसी सामग्री को वापस प्राप्त करने के लिए आणविक बिल्डिंग खण्ड (एकलक) में तोड़ दिया जाता है। दोनों प्रणालियों का उद्देश्य एक चक्रीय अर्थव्यवस्था बनाना या मूल्य वर्धित उत्पाद देना है। यहाँ हम दो बहुलक देखते हैं।

भाग A: पॉलीइथाइलीन टेरेफ्थेलेट

पॉलीइथाइलीन टेरेफ्थेलेट (PET) का रासायनिक पुनर्चक्रण इसके एस्टर आबंध को तोड़कर किया जाता है, जिससे यह अपने एकलकों में परिवर्तित हो जाता है, जिनमें से एक टेरेफ्थेलिक अम्ल (TPA, बेंजीन-1,4-डाइकारबॉक्सिलिक अम्ल) है ।



PET

एस्टर आबंध को विभिन्न तरीकों द्वारा तोड़ा जा सकता है, जिनमें से दो हैं :

1. **उदासीन हाइड्रोलिसिस**: पीईटी (PET) को पानी या भाप की उपस्थिति में उच्च तापमान और उच्च दाब पर तोड़ा जाता है।

2. **अम्लीय या क्षारीय हाइड्रोलिसिस**: उत्प्रेरक के रूप में अम्ल (जैसे H_2SO_4) या क्षार (जैसे NaOH) की उपस्थिति में पीईटी (PET) अपेक्षाकृत कम तापमान और मध्यम दाब पर तोड़ा जाता है।

मानिए 1 किलो पीईटी के टुकड़ों को जलीय NaOH (मोलर तुल्यांक > 2*n* पीईटी) के साथ गरम किया गया।

2.1. (i) NaOH के साथ अभिक्रिया पूरी होने पर प्राप्त यौगिकों की संरचनाएँ लिखिए।

(ii) इस अभिक्रिया मिश्रण से, दो एकलक अलग किए जा सकते हैं जिनकी एक साथ अभिक्रिया करके ताजा पीईटी का उत्पादन किया जा सकता है। इन यौगिकों में से एक कमरे के तापमान पर ठोस है और दूसरा पानी में घुलनशील तरल है (क्वथनांक 196°C)।

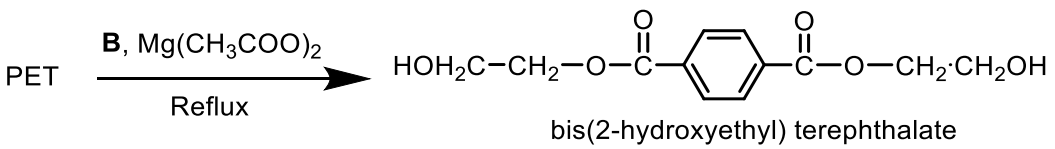
संभावित प्रक्रियाओं की निम्नलिखित सूची (I से IX) में से, उपरोक्त अभिक्रिया मिश्रण से दोनों एकलक प्राप्त करने के लिए आवश्यक चरणों का क्रम पहचानें।

(I) निस्यंदन
(II) 100 °C और दाब < 1 atm पर आसवन
(III) Toluene के साथ विलायक निष्कर्षण
(IV) जलीय $NaHCO_3$ के साथ अभिक्रिया
(V) पानी डालना
(VI) I_2 (s) के साथ अभिक्रिया
(VII) जलीय H_2SO_4 के साथ अभिक्रिया
(VIII) 100 °C और 1 atm दाब पर आसवन
(IX) अक्रिय गैस वातावरण में गर्म करना

दी गई तालिका में दूसरे कॉलम में चरण संख्याओं को सही क्रम में लिखें (यह मानते हुए कि प्रत्येक पृथक्करण चरण 100% सफल है)। प्रत्येक चरण के लिए, उस मिश्रण के घटकों को तीसरे कॉलम में लिखें जिस पर यह प्रक्रिया की जानी है, और उन यौगिकों को चौथे कॉलम में लिखें जो उस प्रक्रिया में अलग हो जाते हैं।

क्र.सं.	**प्रक्रिया संख्या (I - IX)**	**उस मिश्रण के घटक जिस पर प्रक्रिया की जानी है**	**प्रक्रिया के बाद यौगिक जो अलग हुए (यदि लागू हो)**
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			

एक तीसरी विधि में, पीईटी (PET) को निम्नलिखित योजना के अनुसार $Mg(CH_3COO)_2$ की उपस्थिति में तरल **B** (3*n* समतुल्य) के साथ उबाला (भाटा) जाता है।



bis(2-hydroxyethyl) terephthalate

2.2. (i) B की संरचना बनाएँ।

(ii) उपरोक्त अभिक्रिया में मैग्नीशियम एसीटेट की भूमिका पहचानिए: [सही विकल्प/विकल्पों को X से चिह्नित करें]

(a) लुईस अम्ल उत्प्रेरक
(b) निर्जलीकरण कर्मक
(c) एसिटिलेटिंग अभिकर्मक
(d) ब्रोंस्टेड क्षार उत्प्रेरक

(iii) यह प्रक्रिया इसका एक उदाहरण है: [सही विकल्प/विकल्पों को X से चिह्नित करें]

(a) उन्मूलन अभिक्रिया
(b) जोड़ अभिक्रिया
(c) न्यूक्लियोफिलिक प्रतिस्थापन अभिक्रिया
(d) इलेक्ट्रोफिलिक प्रतिस्थापन अभिक्रिया

चौथी प्रक्रिया में, पीईटी के टुकड़ों को $Zn(CH_3COO)_2$ की उपस्थिति में अतिरिक्त तरल इथेनॉलमाइन (2-एमिनोएथेनॉल, 4*n* समतुल्य) के साथ गर्म किया जाता है।

2.3. अभिक्रिया के पूर्ण होने के बाद प्राप्त उत्पादों की संरचनाएँ लिखिए।

ऊपर वर्णित चार विधियों का उपयोग (उपयुक्त क्रमशः प्रथककरण और अभिक्रिया चरणों के साथ) नए पीईटी को प्राप्त करने के लिए किया जा सकता है।

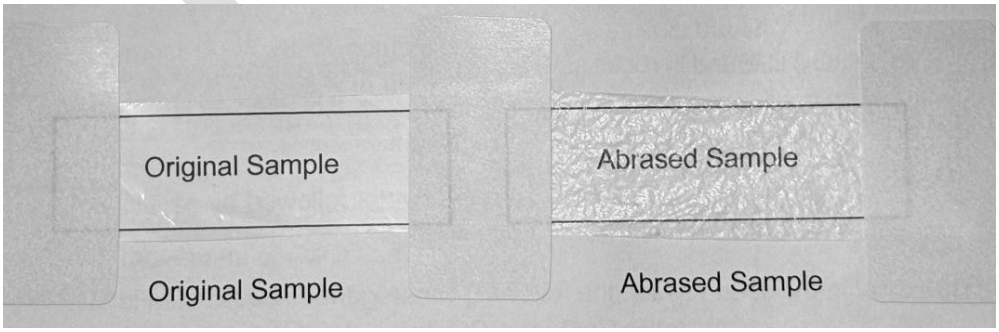
2.4. चार विबहुलकीकरण मार्गों में से किस में मूल पीईटी बहुलक को कम से कम मात्रा में रासायनिक अपशिष्ट/उपउत्पाद के बनने और सबसे कम ऊर्जा इस्तेमाल के साथ उच्च शुद्धता में वापस प्राप्त करना संभव है। [सही विकल्प को X से चिह्नित करें]

(a) H_2O के साथ हाइड्रोलिसिस
(b) जलीय NaOH के साथ हाइड्रोलिसिस
(c) $Mg(CH_3COO)_2$ की उपस्थिति में **B** के साथ अभिक्रिया
(d) $Zn(CH_3COO)_2$ की उपस्थिति में इथेनॉलमाइन के साथ अभिक्रिया

भाग B: पॉलिथीन

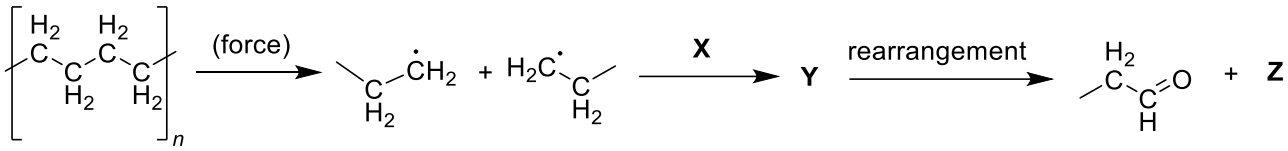
पॉलिथीन को आमतौर पर यांत्रिकी द्वारा पुनर्चक्रण किया जाता है। पुनर्चकृत उत्पादों की गुणवत्ता बहुत हद तक पॉलिथीन की शुद्धता पर निर्भर करती है। जबकि पॉलिथीन कई पदार्थों (गैसों, पानी, अम्ल, क्षारों, तेल, आदि) के साथ निष्क्रिय है, यांत्रिक तनाव/संपीड़न या घर्षण इसमें रासायनिक परिवर्तन का कारण बन सकता है। जब पॉलिथीन के अणुओं को खीचा जाता है, तो बल कुछ आबंधो को तोड़ सकता है। हवा की उपस्थिति में घिसे गए एक पॉलीथीन नमूने का अध्ययन स्पेक्ट्रोस्कोपी का उपयोग करके किया गया था, इसमें -CHO कार्यात्मक समूहों की उपस्थिति दिखाई दी। एल्डिहाइडस हवा मे धीमी गति से फ्री-रेडिकल मार्गों से ऑक्सीकृत भी हो सकता हैं।

मूल और घिसे हुए (क्षतिग्रस्त) पॉलिथीन शीट का नमूना नीचे दिया गया है।



मूल नमूना घिसा हुआ नमूना

यांत्रिक घर्षण के दौरान एल्डिहाइड का बनना निम्नलिखित मार्ग द्वारा हो सकता है।



2.5. **X**, **Y**, **Z** प्रजातियों की संरचनाएँ बनाएँ।

2.6. घिसा हुआ प्लास्टिक ताज़े बहुलक की तुलना में कम पारदर्शी दिखता है। ऐसा इसलिए है क्योंकि [सही विकल्प/विकल्पों को X से चिह्नित करें]:

(a) कार्बोनिल समूह कुछ क्षेत्रों में प्लास्टिक के अपवर्तनांक को बदलते हैं।

(b) कार्बोनिल समूह पूरे दृश्यमान स्पेक्ट्रम में बहुलक द्वारा प्रकाश अवशोषण को बढ़ाते हैं।

(c) कार्बोनिल समूह प्लास्टिक की ओर अधिक धूल के कणों को आकर्षित करता है क्योंकि ये धनात्मक रूप से चार्ज होते हैं।

(d) घर्षण के दौरान, आणविक व्यवस्था/पैकिंग बदलती है, जिससे नमूने में से प्रकाश का प्रकीर्णन बढ़ जाता है।

पॉलिथीन के बहुलक को (परिवेशी वायु में) पिघलाकर और ठंडा होने पर ज़रूरत अनुसार आकार में फिर से ढालकर पुनर्चक्रण किया जाता है।

2.7 यह मानते हुए कि पिघलने के दौरान कोई बाहरी पदार्थ नहीं मिलाया जाता है, -CHO समूह वाली एल्काइल श्रृंखलाएं अपघर्षित पॉलिथीन के पुनर्चक्रण को प्रभावित कर सकती हैं [सही विकल्पों को X से चिह्नित करें]:

(a) पॉलिथीन के गलनांक को कम करके।

(b) बहुलक श्रृंखलाओं में मुक्त-मूलकों द्वारा विदलन करके।

(c) पिघले हुए बहुलक की श्यानता बढ़ाकर।

(d) बहुलक में शाखाओं को कम करके।

2.8. बहुलक पुनर्चक्रणकी निम्नलिखित में से कौन सी परिसीमा यांत्रिक और रासायनिक पुनर्चक्रण पर लागू होती है। उपयुक्त कक्षों में X चिह्नित करें।

क्र.सं.		**यांत्रिक पुनर्चक्रण**	**रासायनिक पुनर्चक्रण**
(a)	कम गुणवत्ता वाले प्लास्टिक उत्पाद		
(b)	पुनर्चक्रण के दौरान अपशिष्ट के रूप में उत्पन्न उप-उत्पाद		
(c)	प्रत्येक चक्र के बाद संरचना में परिवर्तन के कारण पुनर्चक्रण चक्रों की सीमित संख्या		

प्रश्न 3 **21 अंक**

CaO उत्पादन

कैल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) चट्टानों में खनिजों के रूप जैसे कि कैल्साइट और अर्गोनाइट, चूना पत्थर, अंडे के छिलके, आदि में पाया जाता है। इसका उपयोग चिकित्सा मे कैल्शियम पूरक के रूप में और अम्लनाशक के रूप में होता है। इसका बड़े पैमाने पर उपयोग निर्माण उद्योग में निर्माण सामग्री के रूप में और सीमेंट के घटक के रूप में किया जाता है।

3.1 कैल्शियम ऑक्साइड को पानी को मिलाने के बाद CO_2 गैस को पारित करके $CaCO_3$ को बनाया जा सकता है। इन दो अभिक्रियाओं के लिए संतुलित समीकरण लिखिए।

जब $CaCO_3$ को एक बंद बर्तन में गर्म किया जाता है, तो निम्नलिखित विषमांगी साम्य प्राप्त होता है

$$CaCO_3\,(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2\,(g) \qquad \text{----} \qquad \text{अभिक्रिया 1}$$

3.2 यदि K_c संतुलन स्थिरांक है, जहाँ "c" अभिकारक प्रजातियों की सांद्रता को प्रति लीटर मोल में इंगित करता है। 835 °C और 0.236 atm आंशिक दबाव पर CO_2 को आदर्श गैस मानते हुए साम्यावस्था के लिए K_c की गणना करें।

3.3 नीचे दी गई तालिका में दिए गए मानों का उपयोग करके, गणना करें

(i) अभिक्रिया 1 में 25 °C और 850 °C पर मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन (मान लें कि एंथैल्पी और एन्ट्रापी मान तापमान पर निर्भर नहीं हैं)।

(ii) वह तापमान जिसके नीचे $CaCO_3$(s), 1 atm के आंशिक दबाव पर CO_2 की उपस्थिति में CaO(s) में परिवर्तित नहीं होगा।

1 atm तथा 25 °C पर ऊष्मागतिक आँकड़े		
पदार्थ	$\Delta H°_f$ (kJ mol^{-1})	$S°$ (J K^{-1} mol^{-1})
CO_2 (g)	– 393.5	213.6
CO_3^{2-} (aq)	– 676.3	– 53.1
Ca^{2+} (aq)	– 542.9	– 55.2
$CaCO_3$ (s)	–1206.9	92.9
CaO(s)	– 635.6	39.8
CO2 (aq)	– 412.9	121.3

3.4 20 लीटर के बंद कंटेनर में 10 kg का $CaCO_3$ टुकड़ा लिया गया और इस निकाय को 600°C पर साम्यावस्था तक पहुंचने दिया। नीचे दी गई तालिका में, कुछ परिवर्तन सूचीबद्ध हैं। कॉलम I में प्रत्येक परिवर्तन के लिए, मूल 20 L निकाय की तुलना में साम्य अवस्था पर संशोधित निकाय में देखे गए सापेक्ष परिवर्तनों को नीचे दी गई सूची A-E से चुनें।

A) CaO (s) की मात्रा बढ़ जाती है।
B) CO_2 (g) की मात्रा बढ़ जाती है।
C) निकाय में कोई बदलाव नहीं।
D) CaO (s) की मात्रा कम हो जाती है।
E) CO_2 (g) की मात्रा कम हो जाती है।

संशोधन	**देखे गए सापेक्ष परिवर्तन (A-E)**
1) 20 L कंटेनर का तापमान बढ़ाया जाता है।	
2) $CaCO_3$ की समान मात्रा 600 °C के तापमान पर 40 L कंटेनर में ली जाती है।	
3) $CaCO_3$ का आधा हिस्सा 600 °C के तापमान पर (मूल) 20 L कंटेनर से हटा दिया जाता है।	
4) 10 किलो ठोस $CaCO_3$ के बारीक पाउडर को में 600 °C के तापमान पर एक अन्य 20 L कंटेनर में लिया जाता है।	

चूना पत्थर को चूने में बदलने के लिए भट्टी का एक व्यवस्था आरेख नीचे दिया गया है।

HBCSE

3.5 नीचे दिए गए स्थान में जोन 3 और 4 के औसत तापमान (T) की तुलना करते हुए **सही चिह्न** (> / = / <) लिखें और अपने उत्तर को सही ठहराने वाले विकल्पों a-d को X से चिह्नित करें।

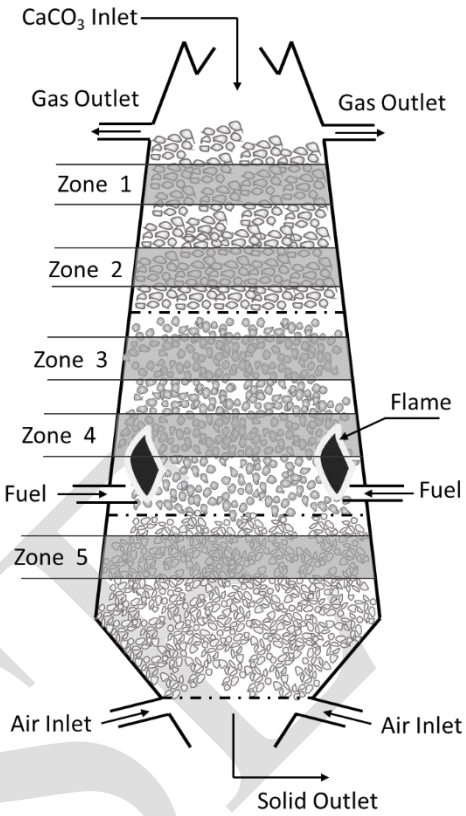
T (जोन 3)_____ T (जोन 4), क्योंकि :

(a) $CaCO_3$ (s) की अधोमुखी गति

(b) अभिक्रिया 1 की सकारात्मक ΔH

(c) $CaCO_3$ (s) की कम विशिष्ट ऊष्मा

(d) हवा का ऊपर की ओर प्रवाह



3.6 आरेख में उन क्षेत्रों की पहचान करें जहाँ

A) CO_2 दाब सबसे कम है

B) $CaCO_3$ सबसे गर्म है

C) $CaCO_3$ का अधिकतम प्रतिशत परिवर्तन हुआ है

D) ठोस में CaO का अधिकतम प्रतिशत है

E) गैसीय मिश्रण का उच्चतम दाब होता है

पोर्टलैंड सीमेंट चार मुख्य घटकों से बना है जिन्हे C_2S (Ca_2SiO_3), C_3S, (Ca_3SiO_5), C_3A और C_3AF के रूप में नामित किया गया है, जहां C का अर्थ कैल्शियम ऑक्साइड, S सिलिका के लिए, A एल्यूमिना के लिए और F आयरन (III) ऑक्साइड के लिए है।

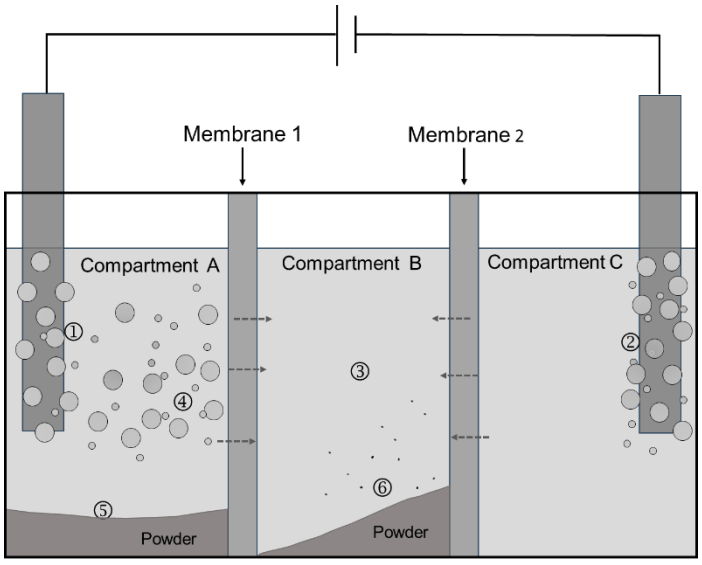
3.7 CaO और उपयुक्त ऑक्साइड से C_4AF बनने के लिए संतुलित समीकरण लिखिए।

सीमेंट उत्पादन सबसे बड़ा एकल औद्योगिक CO_2 उत्सर्जक है (वैश्विक CO_2 का ~ 8%) क्योंकि 1 किलो उत्पादित सीमेंट वातावरण में1 किलो CO_2 छोड़ता है। सीमेंट उत्पादन से CO_2 उत्सर्जन को कम करने के लिए $CaCO_3$ के अपघटन और CaO भट्टी में ईंधन के दहन से निकलने वाले CO_2 को कम करने या उपयोग करने की आवश्यकता होगी।

सीमेंट उत्पादन में सामग्री के रूप में CaO के स्थान पर आंशिक रूप से $Ca(OH)_2$ का उपयोग करके इस उत्सर्जन में से कुछ को कम किया जा सकता है, जो सीमेंट घटकों के हाइड्रेटेड अवस्था का उत्पादन करता है।

3.8 कैल्शियम हाइड्रॉक्साइड और उपयुक्त ऑक्साइड से शुरू करके C_3A के हाइड्रेटेड अवस्था के उत्पादन के लिए संतुलित समीकरण लिखिए।

एक इलेक्ट्रोकेमिकल सेट अप $CaCO_3$ का उपयोग करता है और $Ca(OH)_2$ का उत्पादन करता है गैसों के साथ जिन्हें अलग से एकत्रित कर उपयोग किया जा सकता है। यहाँ दिए गए चित्र में दिखाए गए इस सेटअप में दो आयन-चयनशील झिल्लियों द्वारा अलग किए गए तीन कक्ष होते हैं। $CaCO_3$(s) को इन कक्षों में से एक में डाला जाता है और सभी डिब्बों को पानी से भर दिया जाता है।



तीन डिब्बों में अलग-अलग क्षेत्रों में अलग-अलग अभिक्रियाएँ होती हैं। उदाहरण के लिए, 3 द्वारा लेबल किए गए क्षेत्र में, प्रमुख अभिक्रिया है: $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

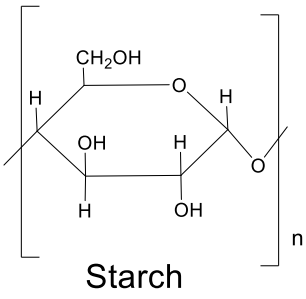
3.9 (i) क्षेत्र 1, 2, 4, 5 तथा 6 में प्रमुख अभिक्रियाओं के लिए संतुलित रासायनिक समीकरण लिखिए।

(ii) विद्युत रासायनिक सेटअप में होने वाली प्रक्रिया के लिए समग्र अभिक्रिया लिखिए।

प्रश्न 4 **17 अंक**

मूत्र एमाइलेज़

एमाइलेज़ एक एंजाइम है जो स्टार्च का हाइड्रोलिसिस करके छोटे कार्बोहाइड्रेट देता है जैसे कि ग्लूकोज, माल्टोज, माल्टोट्रिओज (तीन ग्लूकोज इकाइयों वाला) और ओलिगोसाकेराइड्स (कुछ ग्लूकोज की इकाइयों से युक्त)। समय के साथ एमाइलेज़ ओलिगोसेकेराइड, माल्टोट्रियोज आदि को भी ग्लूकोज इकाइयों में तोड़ सकता है। यह पौधों और जानवरों के शरीर में मौजूद होता है जो स्टार्च के उपापचय में मदद करता है। एमाइलेज़ या अन्य एंजाइम बहुत कम सांद्रता में मानव और पशु के मूत्र में पाए जा सकते हैं।



Starch

4.1. उचित स्टीरियोकेमिस्ट्री के साथ माल्टोज के चक्रीय रूप की संरचना को बनाएँ। (नोट: फिशर प्रोजेक्शन में नहीं बनाए)

मनुष्यों और जानवरों में, एमाइलेज़ का काफी उत्पादन अग्न्याशय में होता है और आँत पथ में भोजन को पचाने के लिए उपयोग होता है। हालांकि, अगर अग्न्याशय रोगग्रस्त या क्षतिग्रस्त होता है, तो एमाइलेज़ रक्त में निकल सकता है और बाद में मूत्र में आ सकता है। इस प्रकार, मूत्र में एमाइलेज़ का बढ़ा हुआ स्तर अग्नाशय की अकार्यक्षमता का संकेतक है।

एक जैव रासायनिक प्रशिक्षण पाठ्यक्रम में छात्र विभिन्न विश्लेषणात्मक तरीकों से मूत्र विश्लेषण करने का प्रयत्न कर रहे थे। दो व्यक्तियों से मूत्र के नमूने प्राप्त किए गए थे, जिनमें से एक का अग्नाशय अकार्यक्षम था। इन मूत्र के नमूनों को 10 गुणा तनु किया गया और इन तनुकृत नमूनों U1 और U2 को तीन छात्रों को दिया गया, जिन्होंने विभिन्न तरीकों से उन नमूनों का विश्लेषण किया।

छात्र 1: दो परखनलियों में U1 और U2 प्रत्येक का 10 mL लिया, और उसमें 1% स्टार्च के घोल का 2 mL को डाला। इन मिश्रणों को 10 मिनट तक रखने के बाद, उसने 2 mL टॉलेन अभिकर्मक मिलाया और परखनालियों को गर्म पानी के बर्तन में रखा। 30 मिनट में दोनों परखनलियों में एक रजत दर्पण विकसित हुआ।

छात्रा 2: उसने निम्नलिखित चरणों का पालन किया:

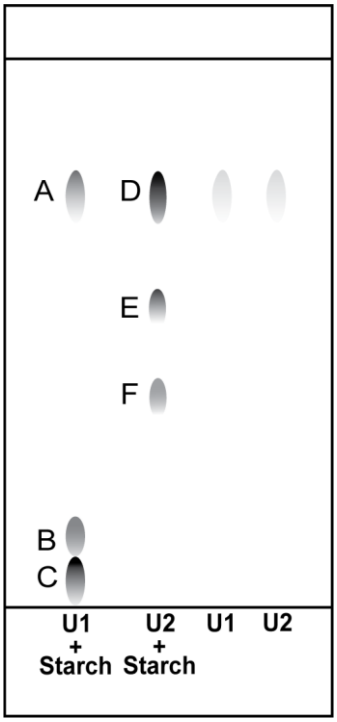
i. दो परखनलियों में U1 और U2 प्रत्येक के 5 mL लिए और प्रत्येक में 1 mL 1% स्टार्च का घोल मिलाया।

ii. 10 मिनट के बाद, उसने इन दो मिश्रणों को लिया (U1 + स्टार्च; U2 + स्टार्च) और इनके सिलिका जेल की परत वाली TLC प्लेट पर स्पॉट लगाये। उसने TLC प्लेट पर U1 और U2 के भी स्पॉट लगाये।

iii. उसने क्रोमैटोग्राम चलाया जिसमे एलुएंट (चलायमान अवस्था) के रूप में लिया ब्यूटेनॉल-पानी का मिश्रण, जिसमें थोड़ी मात्रा में एसिटिक अम्ल था (पानी में ब्यूटेनॉल की घुलनशीलता को बढ़ाने के लिए)।

iv. उसने प्लेट को सुखाया और फिर उसे 0.1% $AgNO_3$ घोल में डुबोया, इसके बाद 2 M NaOH के घोल में डुबोया। प्लेट पूरी तरह से भूरे-काले रंग की हो गई।

v. उसने इस भूरे-काले रंग की प्लेट को 1 M $Na_2S_2O_3$ घोल में डुबोया। प्लेट पर अधिकांश रंग गायब हो गए, कुछ स्थानों को छोड़कर जो यहाँ दिखाए गए हैं।



4.2. a) छात्र 1 (टेस्ट ट्यूब में) द्वारा देखे गए सकारात्मक टोलेन परीक्षण के लिए, टॉलेन अभिकर्मक के साथ मूत्र-स्टार्च मिश्रण के घटकों में से किसी एक की अभिक्रिया का संतुलित रासायनिक समीकरण लिखें। सही स्टीरियोकेमिस्ट्री के साथ घटकों और उत्पादों की संरचनाओं को बनाएँ।

b) छात्र 2 द्वारा किए गए चरण (iv) के दौरान होने वाली अभिक्रिया/ओं के लिए संतुलित रासायनिक समीकरण लिखें, जिससे पूरे TLC प्लेट पर भूरा-काला रंग बनता है।

c) वह संतुलित रासायनिक अभिक्रिया लिखें जिसके कारण चरण (v) में TLC प्लेट के अधिकांश क्षेत्रों से काला रंग गायब हो गया।

d) स्पॉट B और E क्रमशः ओलिगोसेकेराइड और माल्टोज के हैं। TLC प्लेट में माल्टोज के लिए रंगीन स्पॉट के बनाने वाली अभिक्रिया के लिए संतुलित रासायनिक समीकरण लिखिए।

e) TLC प्लेटों में A, D, F के स्पॉट देने वाले अभिक्रिया मिश्रण में यौगिकों की पहचान करें।

f) TLC प्लेट में, स्पॉटस का क्रम और स्थान अनुरूप है (सही विकल्प को X से चिह्नित करें)

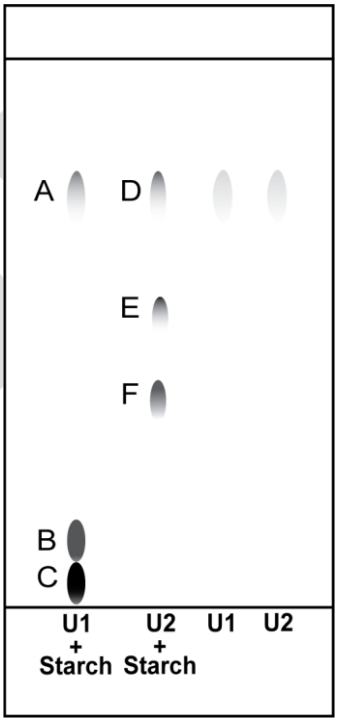
(A) एलुएंट (मोबाइल अवस्था) में -OH समूहों की अधिक संख्या वाले यौगिकों की गतिशीलता कम -OH समूहों वाले यौगिकों की तुलना में अधिक होती है।

(B) -OH समूहों की अधिक संख्या वाले यौगिकों का कम संख्या वाले -OH समूहो के यौगिको की तुलना मे सिलिका जेल (स्थिर अवस्था) के साथ कम आकर्षण के।

(C) -OH समूह प्रति इकाई मोलर द्रव्यमान के बढ़ने से यौगिको की गतिशीलता मे वृद्धि के।

(D) छोटे अणुओं की तुलना में बड़े कार्बोहाइड्रेट अणुओं की कम गतिशीलता के।

छात्रा 3: उसने छात्रा 2 के चरण i से iii का अनुसरण किया, लेकिन TLC चलाने के बाद, TLC प्लेट को फिनोल और सांद्र सल्फ्यूरिक अम्ल के मिश्रण में डुबो दिया। उसे भी वही स्पॉट मिले, लेकिन उनकी रंग की सघनता छात्रा 2 द्वारा प्राप्त TLC से अलग थी। वह याद कर पाई कि (i) किसी स्पॉट की रंग की सघनता लगभग उसमें मौजूद रंगीन पदार्थ/पदार्थों की मात्रा पर निर्भर करेगी और (ii) TLC प्लेट पर शुरू में लगाये गए प्रत्येक घोल की मात्रा थोड़ी भिन्न हो सकती है।



4.3. a) फिनोल-अम्ल मिश्रण के साथ TLC प्लेट परअभिक्रिया के बाद माल्टोज स्पॉट का रंग एक यौगिक **Z** (आणविक सूत्र: $C_{18}H_{14}O_4$) के कारण था। **Z** के बनने से पहले, स्पॉट क्षेत्र में एक मध्यवर्ती **Y**($C_6H_6O_3$) बना था। **Y** और **Z** की संरचनाएँ लिखिए।

b) मानें I (S_i) स्पॉट S_i की प्रकाश अवशोषण सघनता को दर्शाता है। छात्रा 3 के TLC में अनुपात $I(D)$: $I(E)$ छात्रा 2 की TLC की तुलना में कम था । छात्रा 3 की TLC पर हुई अभिक्रिया का संतुलित समीकरण लिखिए जिसके कारण सघनता के अनुपात I(D):I(E) में कमी आई।

c) छात्रा 3 की TLC में स्पॉट का सघनता अनुपात I (F): I (B) (सही वाक्य/वाक्यों के आगे X को चिह्नित करें)

(A) **4.3 (b)** में उल्लिखित अभिक्रिया के कारण ही छात्रा 2 की TLC में स्पॉट के अनुपात से हमेशा अधिक होगा।

(B) **4.3 (b)** में उल्लिखित से भिन्न रासायनिक अभिक्रिया के कारण हमेशा छात्रा 2 के TLC में स्पॉटस के अनुपात से हमेशा कम होगा।

(C) की तुलना छात्रा 2 की TLC में स्पॉटस के अनुपात से नहीं की जा सकती है क्योंकि हो सकता है ये सभी स्पॉटस नमूनों के मिश्रण की विभिन्न मात्राओं को लगाकर प्राप्त किये गए हों।

4.4. मूत्र के दो नमूनों में से कौन सा अग्नाशय की अकार्यक्षमता वाले रोगी से आया था।

(A) U1 **(B)** U2

4.5. इस प्रयोग में, TLC प्लेटों पर मूत्र के नमूने (स्टार्च के बिना) लगाये गए जिससे (सही डब्बों के आगे X को चिह्नित करें):

(A) यह सुनिश्चित होता है कि मूत्र के नमूनों में एक समान संघटन नहीं है।

(B) मूत्र में ऐसे किसी भी पदार्थ की पहचान हो सकती है जिससे मूत्र स्टार्च मिश्रण के विश्लेषण से गलत निष्कर्ष निकल सकता है।

(C) TLC में मूत्र एमाइलेज़ के संदर्भ स्पॉटस की पहचान हो।

(D) यह जांच हो सकती है कि क्या मूत्र में ग्लूकोज या स्टार्च की कोई मात्रा पहले से मौजूद है।

प्रश्न 5 **19 अंक**

एक बैंगनी धुंध

कमरे के तापमान पर आयोडीन एक बैंगनी-काला क्रिस्टलीय ठोस है जिसकी बैंगनी-नीले वाष्प में उधर्वपतित होने की एक अनूठी क्षमता होती है।

फ्रांसीसी रसायनज्ञ बर्नार्ड कूर्तुआ द्वारा आकस्मिक रूप से बारूद के लिए पोटेशियम नाइट्रेट तैयार करते समय आयोडीन की खोज हुई थी। उन्होंने समुद्री शैवाल की राख ली और इसे सल्फ्यूरिक अम्ल के साथ मिलाया। मिश्रण से बैंगनी वाष्प निकली, जिसने बर्तन के किनारों पर चमकदार बैंगनी-काले क्रिस्टल बनाए। कूर्तुआ ने ठोस आयोडीन क खोज कर ली थी!

5.1. आयोडीन परमाणु के तलस्थ अवस्था इलेक्ट्रॉनिक विन्यास को निम्न द्वारा दर्शाया जात है (सही उत्तर को X से चिह्नित करें):

(a) $[Ar]3d^{10}4s^24p^5$ **(b)** $[Xe]5d^{10}6s^2\ 6p^5$ **(c)** $[Kr]4d^{10}5s^25p^5$ **(d)** $[Ar]4d^{10}5s^25p^5$

भाग- A: आयोडीन का निष्कर्षण

आयोडीन की खोज का चिकित्सा कर्म पर गहरा प्रभाव पड़ा। आयोडीन के कई व्यावसायिक उपयोग बने, जिनमें शामिल थे विसंक्रामक के रूप में, फार्मास्यूटिकल्स में, उत्प्रेरक के रूप में, स्याही के लिए रंगद्रव्य के रूप में, आदि। आयोडीन के रेडियोधर्मी समस्थानिक आज थायराइड कैंसर के इलाज के लिए उपयोग किए जाते हैं।

तात्त्विक आयोडीन प्रकृति मे अपनी मुक्त अवस्था में नहीं पाया जाता। यह समुद्री शैवाल में आयोडाइड (I^-) और कैलिच (साल्टपीटर निक्षेप) और जुड़े हुए भूजल में आयोडेट (IO_3^-) के रूप में पाया जाता है।

5.2. बर्नार्ड कूर्तुआ द्वारा की गई आकस्मिक खोज में आयोडीन उत्पन्न करने वाली अभिक्रिया/ओं का/के संतुलित रासायनिक समीकरण लिखिए।

बढ़ती हुई बाज़ार की मांग को पूरा करने के लिए, प्राकृतिक संसाधनों से आयोडीन का निष्कर्षण बढ़ गया है, जिसमें चिली और जापान जैसे प्रमुख उत्पादक देश हैं। आयोडीन की व्यावसायिक प्राप्ति मात्रा, स्रोत पर निर्भर करती है। दो विधियाँ नीचे दी गई हैं -

विधि 1 (आयोडेट् से): चिली साल्टपीटर के ढेरों पर, जिन में आयोडेट की थोड़ी मात्रा होती है, साल्टपीटर और आयोडेट को घोलने के लिए पानी डाला जाता है। नाइट्रेट लवण को क्रिस्टलीकृत करने के बाद, मूल द्रव (मदर लिकर) को एकत्रित और सांद्रित करके दो भागों में बांटा जाता है।

i) सबसे पहले सांद्रण के एक हिस्से को सोडियम बाइसल्फाइट की थोड़ी अधिकता के साथ अपचयित किया जाता है जिससे आयोडाइड प्राप्त होता है।

ii) फिर चरण (i) में प्राप्त घोल को शेष सांद्रण के साथ मिलाने से आयोडीन प्राप्त किया जाता है।

5.3. आयोडेट से आयोडीन के उत्पादन के दो चरणों के लिए संतुलित आयनिक समीकरण लिखिए।

5.4. उपरोक्त अभिक्रिया मिश्रण में सभी आयोडीन प्रजातियों की ऑक्सीकरण संख्या लिखिए।

5.5. आयोडीन के बनने के बाद चरण ii) में विलयन की प्रकृति इस प्रकार होगी: (सही उत्तर को X से चिह्नित करें)

a) अम्लीय **b)** क्षारीय **c)** उदासीन

विधि 2 (आयोडाइड से): प्राकृतिक स्रोतों से आयोडाइड के घोल की अभिक्रिया पहले जलीय कॉपर सल्फेट और फेरस सल्फेट के साथ की जाती है। जो सफेद ठोस अवक्षेपित होता है उसे निस्यंदित किया जाता है, पानी से धोया जाता है, सुखाया जाता है और बारीक पीसा जाता है। इस शुद्ध सफेद ठोस को पोटेशियम कार्बोनेट के साथ गर्म किया जाता है जिससे पोटेशियम आयोडाइड का घोल और लाल-भूरे रंग का अवक्षेप प्राप्त होता है। अवक्षेप को निस्यंदित किया जाता है और घोल को सोडियम डाइक्रोमेट और सल्फ्यूरिक अम्ल के साथ ऑक्सीकृत किया जाता है जिससे आयोडीन प्राप्त होता है।

5.6. विधि 2 में उल्लेखित तीन चरणों के संतुलित रासायनिक समीकरणों को लिखिए।

सामान्य टेबल नमक को आयोडाइज (आयोडीन युक्त) बनाने के लिये पोटेशियम आयोडाइड या आयोडेट को मिलाया जाता है। एक प्रयोग में, 50 ग्राम आयोडीन युक्त (आयोडेट के रूप में) नमक को 250 mL पानी में घोला गया। 50 mL नमक के घोल को 250 mL शंक्वाकार फ्लास्क में लिया गया, जिसमें 2 M सल्फ्यूरिक अम्ल का 2 mL और 0.6 M पोटेशियम आयोडाइड के घोल का 5 mL डाला गया। इसके बाद प्राप्त हुए पीले-भूरे रंग के घोल का 0.002 M सोडियम थायोसल्फेट घोल के साथ तब तक अनुमापन किया गया जब तक कि घोल का रंग हल्का पीला न हो जाए। फिर 1 mL स्टार्च को संकेतक के रूप में डाला गया, और अनुमापन तब तक जारी रखा गया जब तक कि गहरा नीला-काला रंग पूरी तरह से गायब न हो जाए। ब्यूरेट रीडिंग 12.4 mL थी।

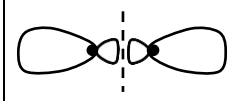
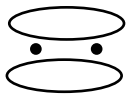
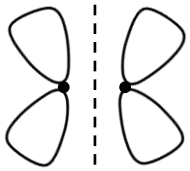
5.7. अनुमापन में शामिल अभिक्रियाओं के लिए संतुलित रासायनिक समीकरण लिखिए और प्रति किलो नमक में आयोडीन की (mg में) मात्रा निकालिए।

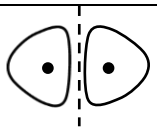
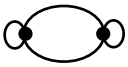
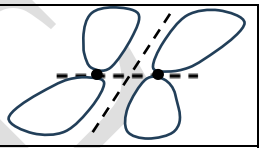
भाग- B: आयोडीन में बंधन और रंग

आयोडीन एक दो परमाणुओं वाला अत्यधिक रंगीन अणु के रूप मे पाया जाता है और इसका रंग आयोडीन के आणविक ऑर्बिटल्स (MOs) के बीच इलेक्ट्रॉनिक संक्रमण से उत्पन्न होता है

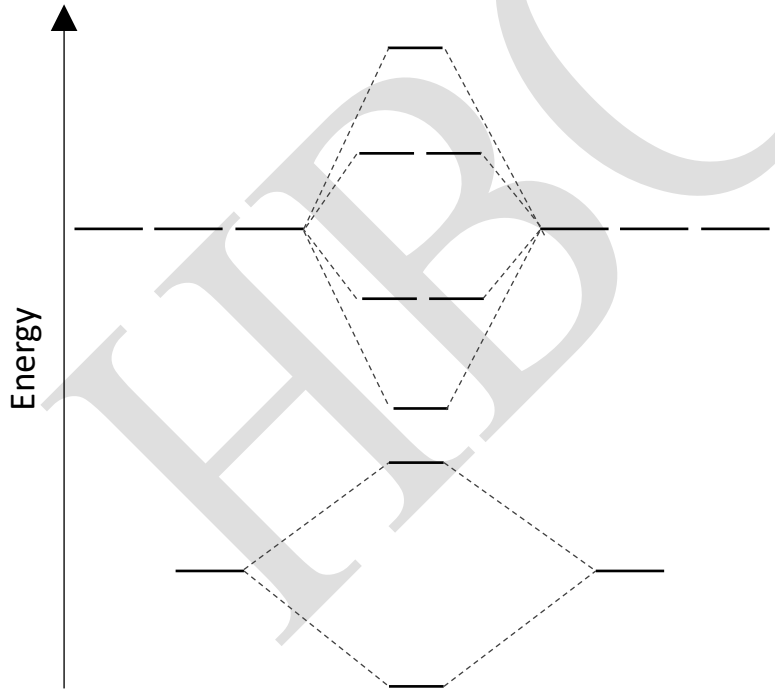
5.8. I_2 अणुओं के उपयुक्त आण्विक कक्षकों के आकार के उचित अंकितक लिखें, जो दो आयोडीन परमाणुओं के संयोजी कोश परमाणु कक्षकों से उत्पन्न होते हैं। *z*-अक्ष को अंतर-परमाणु अक्ष के रूप में लें। आठ अंकितको मे से चार दिए गए हैं:

σ_{5s}, σ^*_{5s}, π_{5px}, π_{5py}

कक्षकीय आकार				
अंकितक				

कक्षकीय आकार				
अंकितक				

5.9. नीचे दिया गया आरेख आयोडिन के कुछ संयोजी कोश परमाणु कक्षकों (AOs) की सापेक्ष ऊर्जाओं को दर्शाता है जो मिलकर I_2 के आण्विक कक्षकों (MOs) को बनाते हैं। I_2 के आण्विक कक्षकों (MOs) के **अंकितक** लिखें और उनमें इलेक्ट्रॉनों को भरें।



5.10. आयोडीन वाष्प का बैंगनी रंग आणविक कक्षकों के बीच इलेक्ट्रॉनों के संक्रमण का परिणाम है। इस इलेक्ट्रॉनिक संक्रमण में प्रारंभिक और अंतिम अवस्था में शामिल आण्विक कक्षकों (MOs) की पहचान करें।

5.11. आयोडीन की पानी में कम घुलनशीलता होती है, परन्तु पोटेशियम आयोडाइड के घोल में घुलनशीलता बढ़ जाती है ट्राईआयोडाइड आयन (I_3^-) बनने की वजह से। I_2 के आण्विक कक्षक (MO) और I^- के परमाणु कक्षक (AO) पहचानें, जो मिलकर ट्राईआयोडाइड आयन में HOMO बनाते हैं।

HBCSE

IUPAC Periodic Table of the Elements

1																	18
1 H hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]	2		Key: atomic number **Symbol** name conventional atomic weight standard atomic weight										13	14	15	16	17	2 He helium 4.0026
3 Li lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.0122												5 B boron 10.81 [10.806, 10.821]	6 C carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 N nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 O oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	9 F fluorine 18.998	10 Ne neon 20.180
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.305 [24.304, 24.307]	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13 Al aluminium 26.982	14 Si silicon 28.085 [28.084, 28.086]	15 P phosphorus 30.974	16 S sulfur 32.06 [32.059, 32.076]	17 Cl chlorine 35.45 [35.446, 35.457]	18 Ar argon 39.95 [39.792, 39.963]
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630(8)	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.971(8)	35 Br bromine 79.904 [79.901, 79.907]	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38 [204.38, 204.39]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson

57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36(2)	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018.

Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

2019 IYPT International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

IUPAC