भारतीय राष्ट्रीय भौतिकी ओलिंपियाड(INPhO)-2023

होमी भाभा विज्ञान शिक्षा केंद्र
टाटा मूलभूत अनुसंधान केंद्र
वि न पुरव मार्ग, मानखुर्द, मुंबई – 400088

प्रश्न पत्र

दिनांक : 29 January 2023
समय : **09:00-12:00 (3 hours)** अधिकतम अंक : **60**

अनुदेश अनुक्रमांक **:**

1. इस पुस्तिका में कुल 6 पृष्ठ तथा 5 प्रश्न हैं। जहाँ कहा गया है वहां पृष्ठ पर सबसे ऊपर अनुक्रमांक (Roll Number) अवश्य लिखें।

2. उत्तर लिखने के लिए पुस्तिका अलग से दी गयी है। उत्तर लिखने के निर्देश उत्तर पुस्तिका पर हैं।

3. 'नॉन प्रोग्रामेबल साइंटिफिक कैलकुलेटर' के उपयोग की अनुमति है। मोबाइल फ़ोन का कैलकुलेटर के रूप में प्रयोग वर्जित है।

4. परीक्षा के अंत में उत्तर पुस्तिका को जमा कर दें। आप प्रश्न पत्र अपने साथ ले जा सकते हैं।

स्थिरांकों की सारणी

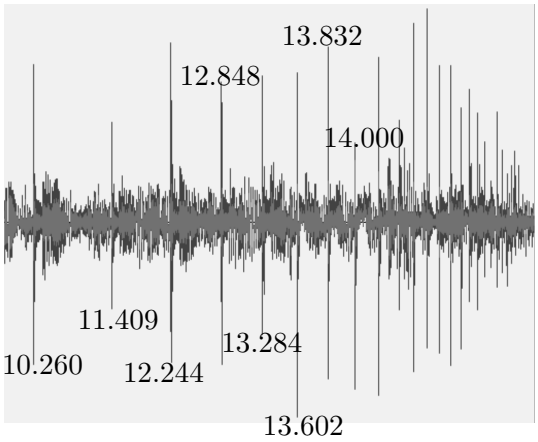
निर्वात में प्रकाश का वेग	c	3.00×10^{8} m·s^{-1}
प्लांक नियतांक	h	6.63×10^{-34} J·s
	$\hbar$	$h/2\pi$
सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक	G	6.67×10^{-11} N·m^2·kg^{-2}
इलेक्ट्रानिक आवेश का परिमाण	e	1.60×10^{-19} C
इलेक्ट्रान का स्थिर द्रव्यमान	m_e	9.11×10^{-31} kg
$1/4\pi\epsilon_0$ का मान		9.00×10^{9} N·m^2·C^{-2}
आवगाद्रो संख्या	N_A	6.022×10^{23} mol^{-1}
गुरुत्वीय त्वरण	g	9.81 m·s^{-2}
सार्वत्रिक गॅस नियतांक	R	8.31 J· K^{-1}·mol^{-1}
	R	0.0821 l·atm·mol^{-1}·K^{-1}
बोल्ट्ज़मान नियतांक	K_B	1.3806×10^{-23} J·K^{-1}
पारगम्यता नियतांक	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ H·m^{-1}
1 ऐंग्स्ट्रॉम इकाई	1Å	1×10^{-10} m
1 माइक्रो इकाई	1μ	1×10^{-6}units
1 इलेक्ट्रान वोल्ट	1 eV	1.6×10^{-19} J

प्र. संख्या	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	कुल अंक
अधिकतम अंक	6	6	16	16	16	60

HBCSE

1. [**6 marks**] फर्श पर डिस्को

ऐसे कई ऐप हैं जो ऑडियो सिग्नल की तीव्रता को रिकॉर्ड करते हैं। एक ऐसा ही ऐप (WaveEditor™), ऑडियो सिग्नल को एक तरंग के रूप में प्रदर्शित करता है, जिसका आयाम ऑडियो सिग्नल की प्रबलता (loudness) के समानुपाती होता है। इस ऐप के साथ ध्वनि संकेत रिकॉर्ड करता हुआ एक स्मार्टफोन एक कक्षा में एकसमान रूप से निर्मित समतल पर रखा गया है ।



स्टील की एक पूर्णतः छोटी गोलाकार गेंद को ऊपर की ओर इस तरह फेंका जाता है कि यह छत को लगभग छू लेती है और इस से बिना टकराए वापस आ जाती है। तत्पश्चात गेंद फर्श से टकराती है और उसके बाद उछलती रहती है। जब गेंद हर उछाल पर फर्श से टकराती है तो ऐप उत्पन्न ध्वनि सिग्नल को रिकॉर्ड करता है। रिकॉर्डिंग का एक स्क्रीनशॉट यहाँ दिखाया गया है। पहले आठ लगातार उछालों का सेकंड में काल–मुद्रांकन (timestamps) भी उच्चिष्ठ (peak) के साथ साथ दिखाया गया है। उदाहरण के लिए, जब पहली बार गेंद फर्श से टकराती है तो ऐप 10.260 s पर उच्चिष्ठ रिकॉर्ड करता है।

जब गेंद फर्श से टकराती है, तो तर्कसंगत अवधारणाएं लीजिये और दिए गए आंकड़ों से कक्षा की ऊंचाई की गणना करें। अपनी अवधारणाओं को स्पष्ट रूप से बताएं।

2. **Knock it off!**

नीले रंग के तरंग दैर्ध्य 4500Åवाले 100 W के एक छोटे समदैशिक प्रकाश स्रोत पर विचार करें। कार्य फलन 2.20 eV वाली 1.00 सेमी^{2} की धातु की सतह से इस स्रोत को 1.00 मीटर की दूरी पर रखा जाता है और अभिलम्ब दिशा में (normal) विकिरण प्राप्त करने के लिए उन्मुख किया जाता है।

(a) [**2 marks**] यह मानते हैं कि सतह की ऊपरी परत पर समस्त ऊर्जा परमाणुओं द्वारा समान रूप से अवशोषित की जाती है। साथ ही,सतह के किसी परमाणु द्वारा अवशोषित समस्त ऊर्जा एक इलेक्ट्रॉन द्वारा ले ली जाती है। परमाणु की त्रिज्या 1.00Åहै। इलेक्ट्रॉन द्वारा 1.00 eV ऊर्जा को प्राप्त करने में लगने वाले आवश्यक समय τ_e का आंकलन कीजिये।

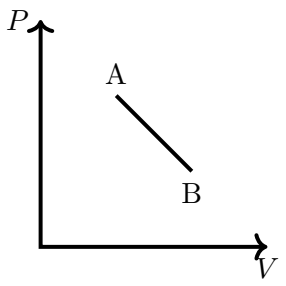
(b) [**1 marks**] उपरोक्त चिरसम्मत अवधारणा के अनुसार τ_e समय में धातु की सतह से कितने इलेक्ट्रॉन्स उत्सर्जित होते हैं ?

(c) [**2 marks**] क्वाण्टम सिद्धांत के अनुसार , फोटॉन क्वांटा के रूप में उत्सर्जित और अवशोषित होते हैं। प्रकाश विद्युतीय (Photo –electric) दक्षता को 1% लेते हुए, सतह से उत्सर्जन की दर (N_e) की गणना करें।

(d) [**1 marks**] आगे, यह मानते हुए कि सभी उत्सर्जित फोटोइलेक्ट्रॉन सतह के लम्बबत गति करते हैं अधिकतम धारा घनत्व (maximum current density) (J_{max}) क्या होगी जिसकी कोई अपेक्षा कर सकता है?

3. [**16 marks**] कार्य प्रगति पर है

एक आदर्श एक–आण्विक गैस रैखिक प्रक्रम द्वारा A से B दाब–आयतन आरेख (P–V) के अनुसार गुजरती है। A पर तापमान $T_A = 227°C$ होता है। प्रक्रम इस प्रकार है कि तापमान गिरता है और ऊष्मा लगातार दी जाती है। नियत दाब और नियत आयतन की विशिष्ट उष्माओं का अनुपात $5/3$ है। इस प्रक्रम में गैस द्वारा किये जा सकने वाले महत्तम कार्य का व्यंजक (W_{max}) प्राप्त कीजिये। W_{max} की गणना कीजिये।

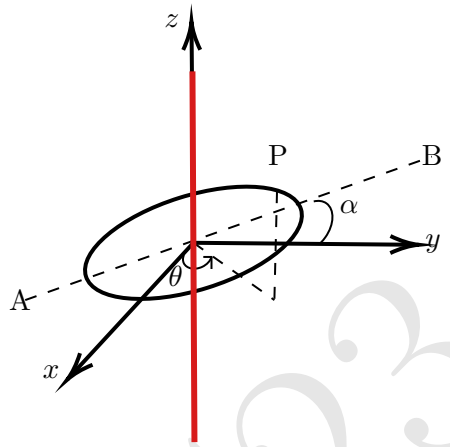


4. स्थिरवैद्युत टिकटॉक

रैखिक आवेश घनत्व λ वाली एक अनंत लम्बाई की एक नियत ऊर्ध्व पतली छड़ (जिसे नीचे चित्र में लाल रंग द्वारा दिखाया गया है) पर विचार करते हैं जो मूल बिंदु पर z–अक्ष के अनुदिश रखी गयी है। (नीचे चित्र देखें)।

कुल आवेश Q, द्रव्यमान M, और त्रिज्या a का एक समान रूप से चार्ज किया गया वलय x–y तल में मूल बिंदु के साथ सम्पाती अपने केंद्र के साथ रखा गया है। वलय पर एक स्वेच्छ बिंदु P लेते हैं । बिंदु P का x–y तल पर प्रक्षेप ऊपर से देखने पर x–अक्ष के साथ वामावर्त (anticlockwise direction) दिशा में एक कोण θ बनाता है।

वलय को अब x–अक्ष के परितः एक प्रारंभिक कोणीय वेग ω_0 दिया जाता है। हम उस कोण α को परिभाषित करते हैं जो वलय का तल x–y तल के साथ बनाता है। इसे वलय के तल में रेखाखंड AB खींचकर दर्शाया गया है। प्रारंभ में, $\alpha = 0$ लेते हैं । गुरुत्वाकर्षण की उपेक्षा कीजिये ।



निम्न अवकलन आपके लिए उपयोगी हो सकता है।

$$D = \frac{d}{d\theta}[\tan^{-1}(q\tan\theta)] = \frac{1}{1+(q\tan\theta)^2}[q(\sec^2\theta)] \tag{4.1}$$

(a) [1 marks] x, y, θ, और अन्य राशिओं के पदों में अनंत छड़ के कारण वलय के किसी एक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र ($\vec{E_0}$) के लिए एक व्यंजक प्राप्त करें यदि α= 0 लिया जाये ।

(b) [2 marks] किसी क्षण वलय α कोण बनाता है। θ, और α के पदों में वलय के किसी बिंदु पर अनंत छड़ के कारण विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ के लिए एक व्यंजक प्राप्त करें।

(c) [1 marks] वलय पर आरोपित शुद्ध बल का परिकलन कीजिये।

(d) [5 marks] वलय पर लगने वाले शुद्ध बलाघूर्ण $\vec{\tau}$ को केवल α और स्थिरांकों के पदों में ज्ञात करें। बलाघूर्ण को गुणात्मक रूप से α के फलन के रूप में चित्रित (plot) कीजिये।

(e) [2 marks] माना कि रिंग $\alpha = 0$ के सापेक्ष संतुलन में है। λ, और Q के पदों में वलय के छोटे दोलनों के दोलन काल T के लिए एक व्यंजक का निगमन करें। $\lambda = 0.1\mu$ C/m, $Q = 2\,\mu$C, $M = 50$g, त्रिज्या $a = 5$ cm, और $\omega_0 = 1$ rad/s के मान को लीजिये . T की गणना करें।

(f) [2.5 marks] α के पदों में वलय की स्थितिज ऊर्जा U के लिए एक व्यंजक प्राप्त करें । गुणात्मक रूप से U को α के फलन के रूप में चित्रित (plot) प्लॉट करें। स्थितिज ऊर्जा का शून्य मान $\alpha = 0$ पर लें।

(g) [2.5 marks] α के महत्तम मान (α_{max})के लिए ω_0 के पदों में व्यंजक लिखिए . α_{max} का परिकलन कीजिये .

HBC23

5. यदि प्रो. स्नेल के पास स्मार्टफोन होता तो?

एक स्मार्टफोन की स्क्रीन मुख्य रूप से दो घटकों की बनी होती है। – जिनमे से एक ऊपरी सतह की t मोटाई की स्पर्श–संवेदी कांच की शीट होती है (जिस पर हम अपना फोन चलाने के लिए उंगली घुमाते हैं), और दूसरी उसके ठीक नीचे वाली एक एलसीडी स्क्रीन , जिसमे प्रकाश को उत्सर्जित करने वाले " RGB अवयवों " की व्यवस्थित व्यूह–रचना होती है । दो क्रमागत RGB अवयवों के बीच d दूरी का पृथक्करण होता है। स्पर्श–संवेदी कांच की शीट और एलसीडी स्क्रीन के बीच h मोटाई की वायु की एक बारीक़ परत होती है। (इसकी अनुप्रस्थ काट के लिए चित्र (1) देखिये)

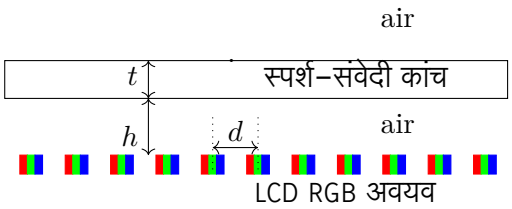


Figure 1

h के मान का आंकलन हम निम्न प्रयोग के द्वारा करते हैं। – हम दो स्मार्टफोनों (S–I और S–II) का उपयोग करते हैं। S–I वह उपकरण है जिसमें हम h के मान का आंकलन करना चाहते हैं और S–II , स्क्रीन की तस्वीरें लेकर मापन कर सकने वाला उपकरण है। इन तस्वीरों का हम एक इमेज–प्रोसेसिंग सॉफ़्टवेयर का उपयोग करके विश्लेषण कर सकते हैं।

एक स्मार्टफोन के कैमरे (यहाँ S–II के द्वारा) द्वारा ली गई किसी डिजिटल छवि में विविक्त चित्र–तत्व (picture elements) होते हैं जिन्हें पिक्सेल कहा जाता है। S–II द्वारा ली गई तस्वीर को एक सॉफ्टवेयर के जरिए प्रोसेस किया जाता है। यह सॉफ्टवेयर तस्वीर पर खींची गयी, चित्र में लाल रंग से दिखाई गयी संदर्भ–रेखा (reference – line) के प्रत्येक बिंदु पर दीप्त–मान (brightness value) को बाएं से पिक्सेल्स की संख्या के फलन के रूप में दर्शाता है। इस प्रकार, पिक्सेल की संख्या दूरी का मापक है। इसके लिए सबसे पहले हमें पिक्सेल का अंशांकन करना आवश्यक है।

फ़ोन S–I को क्षैतिज रखा गया है और इसके डिस्प्ले को चालू रखा गया है। इसकी स्क्रीन पर एक पैमाना (Ruler) रखा गया है। तस्वीरों को लेने के लिए S–II को S–I के ऊपर रखा गया है। स्क्रीन की ली गई तस्वीर चित्र में दिखाई गई है।

चित्र में लाल संदर्भ– रेखा के साथ पैमाने की तस्वीर का एक हिस्सा और इसके दीप्त–मान की रूप – रेखा (प्रोफाइल) को दिखाया गया है।

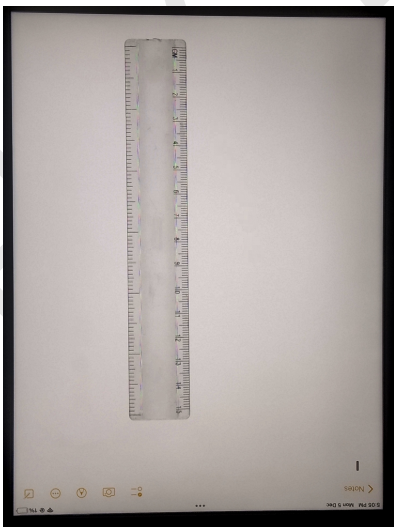


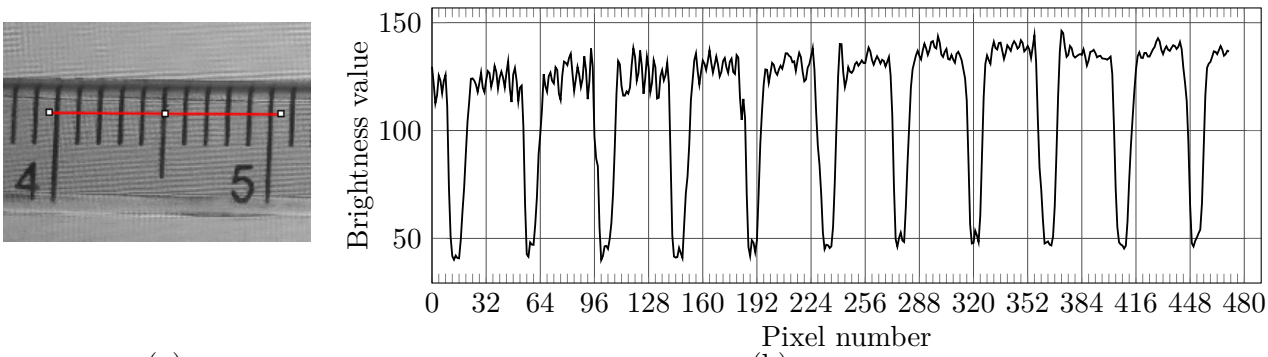
Figure 2

(a) **[2 marks]** S–I की स्क्रीन का एक सेंटीमीटर पकड़ने के लिए कैमरे S–II के द्वारा उपयोग किए जाने वाले पिक्सेल की संख्या प्राप्त कीजिये।

हम इस संयोजन को पिछले भाग के समान रखते हैं। इसके बाद, पानी की कुछ छोटी बूंदें पैमाने के साथ में S–I की कांच की स्क्रीन पर रखते हैं। इसके शीर्ष और किनारे के दृश्य के लिए क्रमशः चित्र 4 (a) और 4 (b) देखें। हम प्रत्येक बूंद को R त्रिज्या के अर्ध गोलाकार लेंस के रूप में मॉडल करते हैं। जो S–I की LCD स्क्रीन वाले RGB अवयवों के व्यूह का आवर्धन कर सकता है। (आंकड़े माप के अनुरूप नहीं है)।

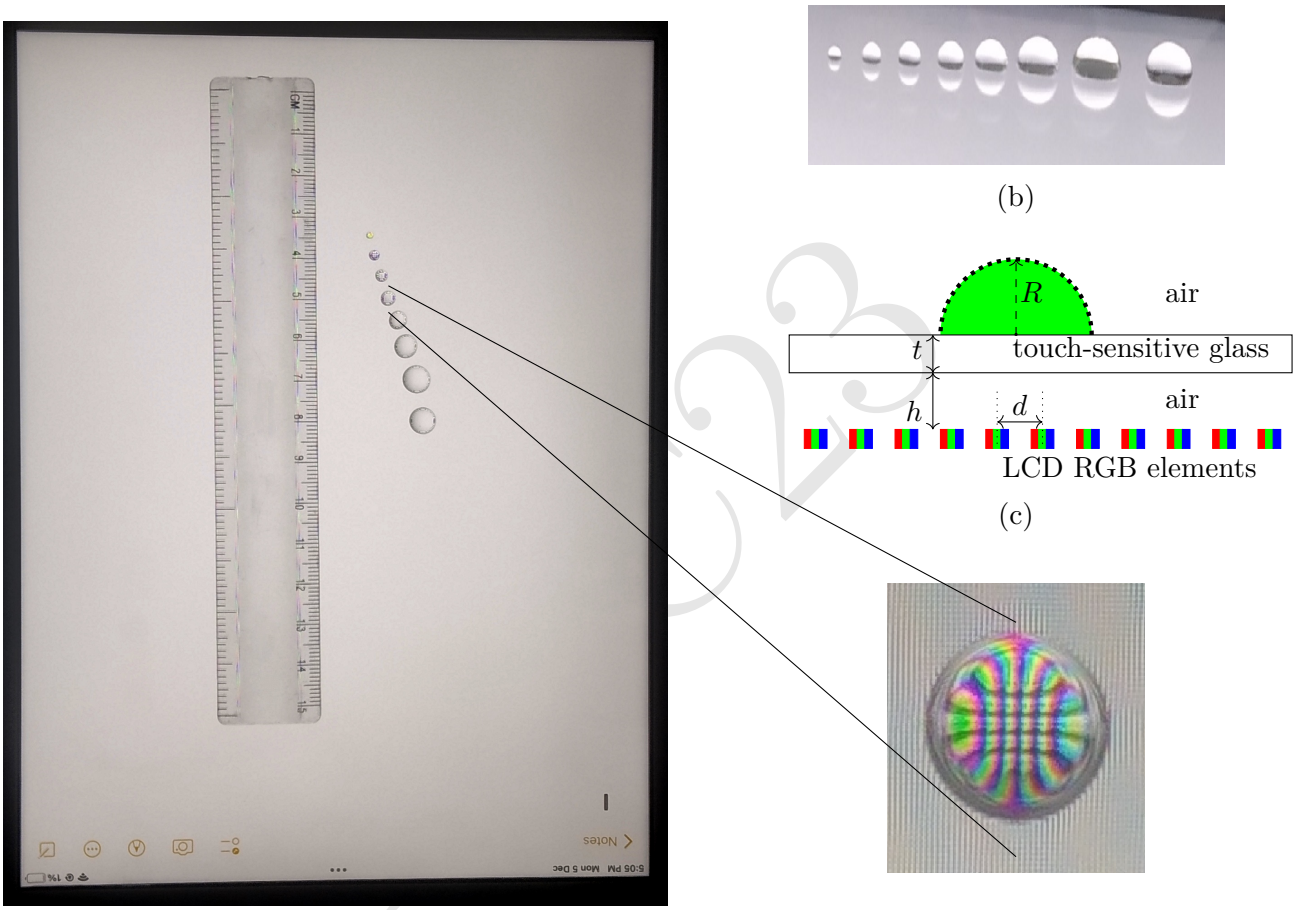
आपके द्वारा उपयोग की जाने वाली विधि का वर्णन करें एवं गणनाओं को विस्तृत उत्तर पुस्तिका में दिखाएं।

(b) **[5 marks]** चित्र 4 (d) स्क्रीन के RGB अवयवों के व्यूह की आवर्धित तस्वीर को किसी एक बूँद के शीर्ष से दिखाता है। यह तस्वीर कैमरा सेटिंग्स और दूरी को पिछले भाग की तरह ही रखते हुए स्मार्टफोन S–II द्वारा ली गई है। पांच चुनी गयी बूंदों की तस्वीरों के लिए संदर्भ रेखाओं के अनुदिश दीप्त–मान रूप रेखा अगले पृष्ठ पर चित्र (5) में दिखाई



(a) (b)

Figure 3



(b) (c)

(a) (d)

Figure 4

गयीं हैं। उत्तर पुस्तिका की तालिका में रूप – रेखा ग्राफ का उपयोग करते हुए, जल की बूंदों की त्रिज्या , R (मिमी में) लिखें, और उसके संगत S–I के RGB अवयवों के व्यूह के बीच पृथक्करण d के आवर्धन, M को प्रत्येक जल बूँद लेंस के लिए लिखिए। उत्तर पुस्तिका की तालिका में रूप – रेखा ग्राफ का उपयोग करते हुए, जल की बूंदों की त्रिज्या, R (मिमी में) लिखें, और उसके संगत S–I के RGB अवयवों के व्यूह के बीच पृथक्करण d के आवर्धन M को प्रत्येक जल बूँद लेंस के लिए लिखिए।

(c) [9 marks] दिए गए स्मार्टफोन के लिए, $t = 0.50$ मिमी, स्पर्श–संवेदी कांच, जल की बूँद और वायु के अपवर्तनांक क्रमशः 3/2, 4/3 और 1 लीजिये। पिछले भाग के आंकड़ों की तालिका का उपयोग करते हुए स्पर्श–संवेदी कांच की RGB अवयवों से दूरी, h प्राप्त करने के लिए एक उपयुक्त रैखिक ग्राफ प्लॉट करें। ग्राफ प्लॉट करने के लिए उपयोग किये जाने वाले आंकड़ों के लिए सारांश उत्तर पत्रक में दी गई तालिका का उपयोग करें। विस्तृत उत्तर पुस्तिका में अपनी विस्तृत सैद्धांतिक गणनाएँ दिखाइए।

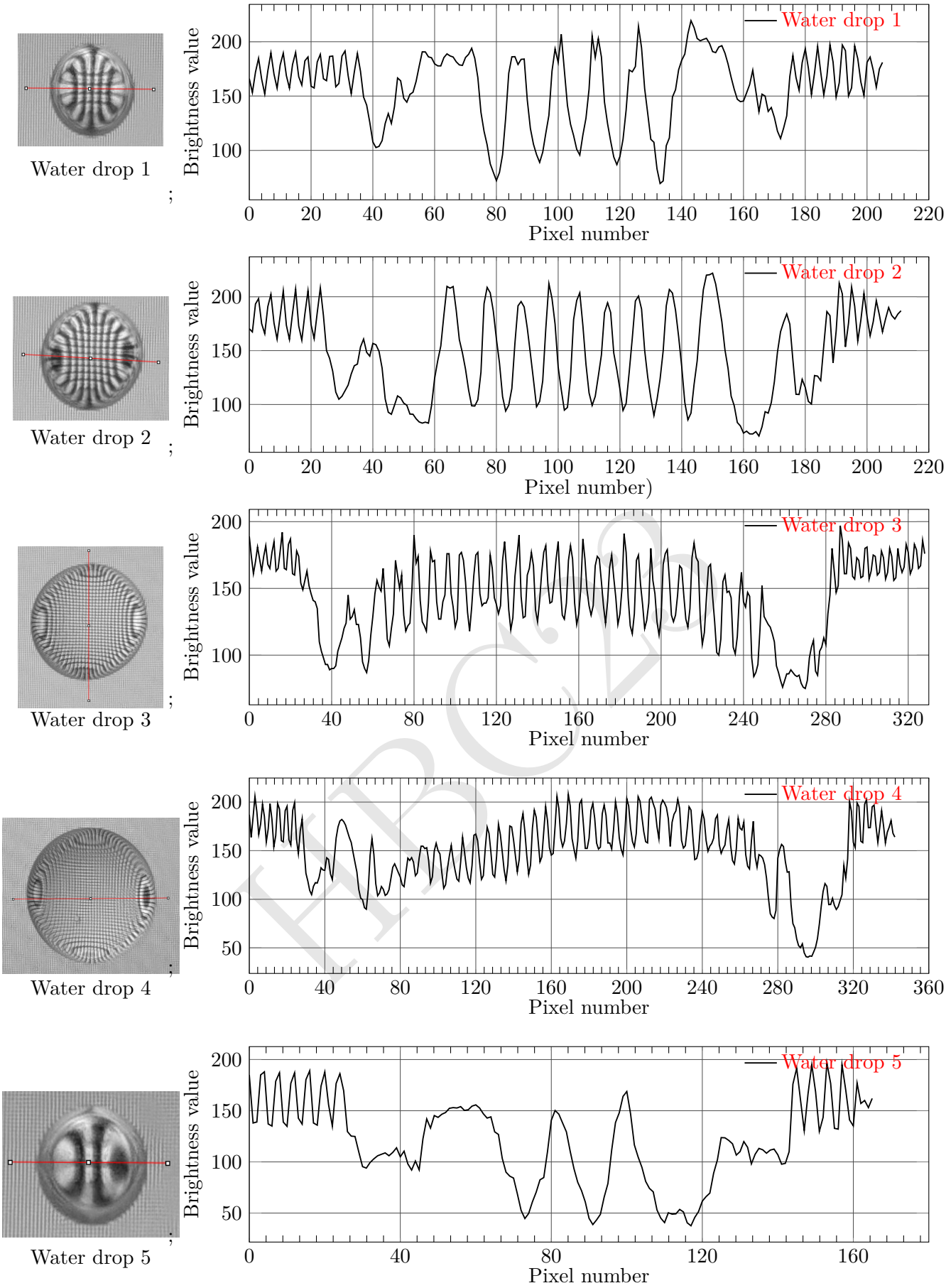


Figure 5

****** END OF THE QUESTION PAPER ******