National Physics Olympiad 2023

Theory Question Paper

Category B

Time: 3 Hours

Date: 3 March 2023

Name :

Registration No :

Class (in 2022) :

Institute :

Phone No :

Email :

Problem 1. Just a magazine picture! [10 Points]

Dimensional analysis is a very powerful method of guessing and estimating things in Physics. Through this task, you will be guided to apply this tool to one of the most iconic physics problems.

মাত্রা পর্যবেক্ষণ এর মাধ্যমে পদার্থবিজ্ঞানে অনেককিছু আন্দাজ করা কিংবা আনুমানিক হিসাব করা অত্যন্ত শক্তিশালী একটি পদ্ধতি। এই প্রশ্নে পদার্থবিজ্ঞানের চমৎকার একটি সমস্যা সমাধানে এই পদ্ধতি ব্যবহার করার জন্য তোমাকে দিকনির্দেশনা দেওয়া হবে ।

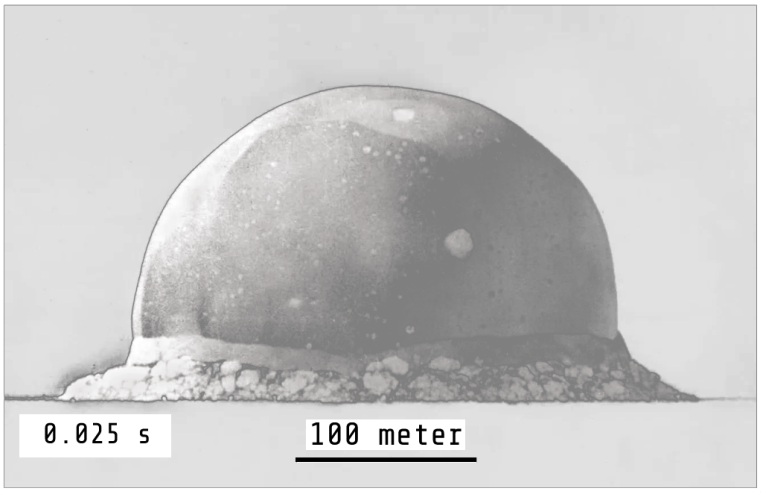

Figure 1

The first explosion of Atomic Bombs was the Trinity Test in 1945. Pictures of the explosion were published in magazines, and a Physicist named Professor Geoffrey Taylor estimated the energy released from the bomb just by looking at the picture.

প্রথম আণবিক বোমার বিস্ফোরণ হয়েছিলো 1945 সালে ট্রিনিটি টেস্টে। ম্যাগাজিনগুলোতে বিস্ফোরণের ছবি ছাপা হয়েছিলো, আর প্রফেসর জেফরি টেইলর নামের একজন পদার্থবিজ্ঞানী কেবল ছবিগুলোর পর্যবেক্ষণ করেই বোমাটি থেকে নির্গত শক্তির আনুমানিক হিসাব করে ফেলেন।

This photo was taken 0.025 s after the explosion began.

ছবিটি বিস্ফোরণ শুরু হওয়ার 0.025 s পর তোলা হয়েছিলো।

Part A

A1	By looking at the figure, make a rough estimate of the radius R of the fireball (at 0.025 s). ছবিটি পর্যবেক্ষণ করে 0.025 s সময়ে আগুনের গোলার ব্যাসার্ধ R এর একটি আনুমানিক হিসাব কর।	1 pts
A2	What is the speed of the fireball's expansion? **Hint:** Imagine the radius R increases at a constant speed. Using the time t when the photo was captured and the radius R at that time, find the speed. আগুনের গোলার প্রসারণের দ্রুতি কত? হিন্ট: ধরো, ব্যাসার্ধ R সুষম দ্রুতিতে বাড়ছে। ছবিটি তোলার সময় t এবং ঐ সময়ের ব্যাসার্ধ R ব্যবহার করে দ্রুতি নির্ণয় করো।	1 pts

Part B

We will start by defining some power rules

আমরা কিছু সূচকের নিয়ম দিয়ে শুরু করবো

$$k^0 = 1,\ k = k^1,\ k^{\frac{1}{2}} = \sqrt{k},\ k^{-1} = \frac{1}{k},\ x^a \cdot x^b = x^{a+b},\ \frac{x^a}{x^b} = x^{a-b}$$

Now note that energy, E has the units

এখন লক্ষ করো যে শক্তি, E এর একক

$$[E] = J = \frac{kg\ m^2}{s^2} = kg\ m^2\ s^{-2} \tag{1}$$

Energy can depend on the force being applied to a system F and the distance travelled because of the force x. So we know E depends on F and x. Dimensional analysis helps you find the actual form of the equation for E.

শক্তি ব্যবস্থার উপর প্রযুক্ত বল F ও বলের জন্য অতিক্রান্ত দূরত্ব x এর উপর নির্ভর করতে পারে। সুতরাং আমরা জানি E, F ও x এর উপর নির্ভরশীল। মাত্রা বিশ্লেষণ তোমাকে E এর সমীকরণের প্রকৃত রূপ নির্ণয় করতে সাহায্য করতে পারে।

We know the units of F and x are

আমরা জানি F এবং x এর একক

$$[F] = N = \frac{kg\ m}{s^2} \quad [x] = m$$

Let's assume we don't know the formula of E. Then we can assume

মনে করো আমরা E এর সূত্র জানিনা। তাহলে আমরা ধরতে পারি

$$E = F^\alpha x^\beta$$

Consider units

একক বিবেচনা করি

$$[E] = \left(\frac{kg\ m}{s^2}\right)^\alpha \cdot (m)^\beta = kg^\alpha\ m^\alpha \cdot m^\beta\ s^{-2\alpha} = kg^\alpha\ m^{\alpha+\beta}\ s^{-2\alpha}$$

But we already know $[E]$, using that

কিন্তু আমরা ইতোমধ্যে $[E]$ জানি। অতএব, সেটি ব্যবহার করে পাই

$$kg\ m^2 s^{-2} = kg^\alpha m^{\alpha+\beta} s^{-\alpha}$$

If you look at the powers, you can see that

তুমি যদি সূচকগুলো লক্ষ করো, তাহলে দেখতে পারবে

$$\alpha = 1,\ \alpha + \beta = 2,\ -2\alpha = -2$$

From here, as you know $\alpha = 1$, and if $\alpha + \beta = 2$, then obviously $\beta = 1$, so

এখান যেহেতু তুমি জানো $\alpha = 1$, আর যদি $\alpha + \beta = 2$ হয়, তাহলে অবশ্যই $\beta = 1$ হবে। তাহলে

$$E = F^\alpha x^\beta = F^1 x^1 = Fx$$

You will use this approach to find the Energy released by the bomb.

তুমি এখন এই কৌশল ব্যবহার করে বোমা থেকে নির্গত শক্তি নির্ণয় করবে।

B1	The energy released by the bomb depends on the surrounding air density, the radius of the fireball and time. We can say that বোমা থেকে নির্গত শক্তি চারিদিকের বায়ু এর ঘনত্ব, আগুনের গোলার ব্যাসার্ধ এবং সময়ের উপর নির্ভরশীল। আমরা বলতে পারি যে $$E \sim R, \rho, t$$ Note that, $[\rho] = \text{kg/m}^3$. Using the previously discussed idea, find the form of equation for E লক্ষ করো, $[\rho] = \text{kg/m}^3$। পূর্বে আলোচিত ধারণা ব্যবহার করে E এর সমীকরণের রূপ নির্ণয় করো।	2.5 pts

In **Part A**, we had assumed that the speed of the fireball was constant. But if you look at the equation carefully, you will find that the speed should not be constant.

পার্ট A তে আগুনের গোলার দ্রুতি ধ্রুব ধরে নিয়েছিলাম। কিন্তু তুমি যদি সমীকরণের প্রতি ভালোভাবে নজর দাও, তাহলে তুমি দেখবে যে দ্রুতি ধ্রুব হওয়ার কথা না।

B2	The energy released by the explosion is constant. So using the equation you found in **B1**, find a rough equation for the speed of the fireball v. **Hint:** $v \sim E, \rho, t$ বিস্ফোরণে নির্গত শক্তি ধ্রুব। তাহলে B1 থেকে প্রাপ্ত সমীকরণ ব্যবহার করে আগুনের গোলার দ্রুতি v এর একটি আনুমানিক সমীকরণ নির্ণয় করো। হিন্টঃ $v \sim E,\ \rho,\ t$	2.5 pts

Part C

Now we will try to find roughly how much energy and speed is in the fireball.

আমরা এখন আগুনের গোলার মধ্যে কী পরিমাণ শক্তি ও দ্রুতি আছে তা বের করার চেষ্টা করবো।

C1	How much energy is in the fireball? You are given, $\rho = 1.22\ \frac{kg}{m^3}$ আগুনের গোলার মধ্যে কী পরিমাণ শক্তি আছে? তোমাকে দেওয়া হলো $\rho = 1.22\ \frac{kg}{m^3}$	1 pts

C2	What is the probable speed of the fireball? Use your result from **B2**. Is your answer greater or lesser than the answer you found in **A2**? আগুনের গোলার সম্ভাব্য দ্রুতি কত? B2 থেকে প্রাপ্ত ফলাফল ব্যবহার করো। তোমার উত্তর কি A2 তে প্রাপ্ত ফলাফলের চেয়ে বৃহত্তর নাকি ক্ষুদ্রতর?	1 pts

But only knowing how many ”Joules” of energy are in the fireball is not a good answer. We need to know how many tons of TNT the explosion is equivalent to, to understand how deadly the explosion is.

কিন্তু শুধু আগুনের গোলার মধ্যে কত "জুল" শক্তি আছে তা জানলে চলবে না। বিস্ফোরণটি কতটি মারাত্মক তা বুঝতে আমাদেরকে জানতে হবে বিস্ফোরণটি কত টন TNT এর সমতুল্য।

C3	1 kiloton or 1000 tons of TNT explosions gives off 4.2×10^{12} J of energy. So how many kilotons of TNT is equivalent to an atomic bomb? 1 কিলোটন বা 1000 টন টিএনটি এর বিস্ফোরণ 4.2×10^{12} J শক্তি নির্গত করে। তাহলে একটি আণবিক বোমা কত কিলোটন টিএনটি এর সমতুল্য?	1 pts

Problem 2. A Big Water Tank [7 Points]

Are the water lines in your home gravity fed (i.e. connected to an overhead water tank without any pressure pumps)? If so, note the velocity and the amount of water gushing out of the taps when the container is full. Then take note once more when the tank is nearly depleted. You will notice there is a stark difference between the two observations. Water gushes out at a much higher pressure when the tank is full, compared to when it is almost empty.

তোমাদের বাড়ির পানির লাইনগুলি কি গ্র্যাভিটি ফিড (অর্থাৎ কোনও চাপ পাম্প ছাড়াই একটি ওভারহেড পানির ট্যাঙ্কের সাথে সংযুক্ত)? যদি তাই হয়, কলের বেগ ও কন্টেইনারটি পূর্ণ হয়ে গেলে মোট পানির পরিমাণের তথ্য নেও। তারপর ট্যাঙ্কটি প্রায় নিঃশেষ হয়ে গেলে আরও একবার তথ্যগুলো সংগ্রহ করো । লক্ষ্য করবে যে, দুটি পর্যবেক্ষণের মধ্যে একটি সম্পূর্ণ পার্থক্য রয়েছে। প্রায় খালি থাকার তুলনায় ট্যাঙ্কটি পূর্ণ হলে অনেক বেশি চাপে পানি বেরিয়ে আসে।

A water tank which sits on the ground is kept full of water to a depth of h. Water is issued horizontally from a hole which is in the sidewall of the tank with a velocity of u, a distance h' below the surface.

একটি পানির ট্যাংকের মধ্যে h গভীরতায় পানিপূর্ণ অবস্থায় ভুমির উপর অবস্থান করছে। ট্যাংকের পার্শ্বদেয়াল থেকে ছিদ্র দিয়ে পানি u আদিবেগে আনুভূমিক বরাবর বের হচ্ছে, ছিদ্রের অবস্থান পানির উপরিতল থেকে h' উচ্চতা নিচে।

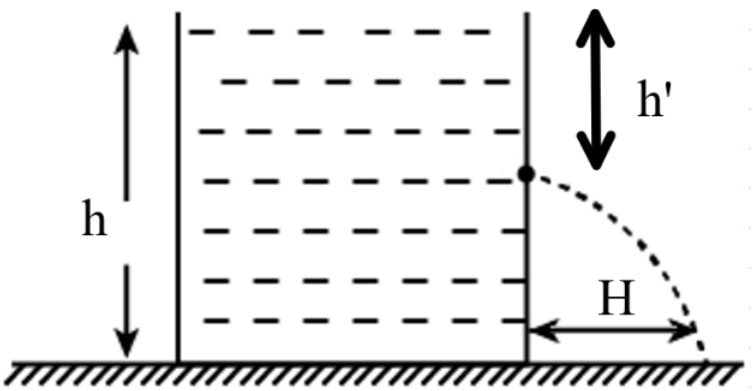

Figure 2

A	Determine the maximum horizontal distance H from the hole in the tank where the jet of water strikes the floor. ট্যাংকের পাদদেশ থেকে পানি সর্বোচ্চ আনুভূমিক দূরত্ব H কত দূরে গিয়ে ভুমিতে আঘাত করবে নির্ণয় কর।	2 pts

You wanted to empty the water tank so an electric motor was used and you submerged it into a pond with water density ρ. Now, a hollow cuboid container of mass M and height h, width a, depth b, is suspended upright from a thin cable in the water of density ρ, as shown in Figure.

তুমি পানির পাত্রটি ট্যাংকটি করতে চেয়েছিলে তাই একটি বৈদ্যুতিক মোটর ব্যবহার করতে হবে এবং এটিকে ρ ঘনত্বের পানিবিশিষ্ট একটি পুকুরে ডুবানো হলো । এখন, ভর M এবং উচ্চতা h, প্রস্থ a, গভীরতা b বিশিষ্ট একটি ফাঁপা ঘনক আকৃতির কন্টেইনার ঘনত্ব ρ এর পানিতে একটি পাতলা তার থেকে সোজাভাবে ঝুলে আছে, যেমনটি চিত্রে দেখানো হয়েছে।

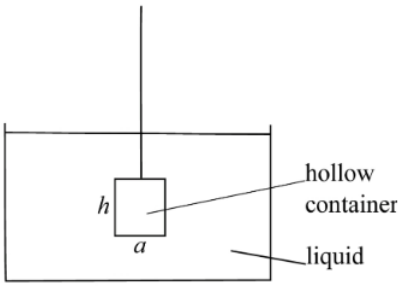

Figure 3

B	Find an expression for the tension T in the cable by considering the force due to the pressure of the liquid on the top of the container, and the force due to the pressure of the liquid on the bottom of the container. কন্টেইনারের উপরের দিকে তরল চাপের কারণে বল এবং কন্টেইনারের নীচে তরলের চাপের কারণে বল বিবেচনা করে তারের মধ্যে টান বল , T এর জন্য রাশি বের কর।	2 pts
C	The cuboid container now has a small hole pierced in the bottom surface and the liquid leaks in until the air is confined to the top part of the container, occupying a fraction λ of the internal volume, with a fraction $(1-\lambda)$ of the volume inside now being filled with liquid. The pressure of the atmosphere at the surface of the liquid is P_0 and the density of the liquid is ρ. Obtain an expression for the depth, h'' of the bottom surface of the container in terms of P_0, ρ, g, h. ঘনক আকৃতির কন্টেইনারটিতে এখন নীচের পৃষ্ঠে একটি ছোট ছিদ্র রয়েছে এবং তরল ফুটো ছিদ্র দিয়ে বের হয়ে যায় যতক্ষণ না বাতাসটি পাত্রের উপরের অংশে সীমাবদ্ধ থাকে,অভ্যন্তরীণ আয়তনের λ ভগ্নাংশ দখল করে। অভ্যন্তরীণ আয়তনের $(1-\lambda)$ ভগ্নাংশ তরল সহ পূর্ণ থাকে। তরলের পৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডলের চাপ P_0 এবং তরলের ঘনত্ব ρ। P_0, ρ, g, h এর সাহায্যে কন্টেইনারটির নীচের পৃষ্ঠের গভীরতার h'' জন্য রাশি আকারে প্রকাশ কর।	3 pts

Problem 3. The Physics of Aeroplanes [8 Points]

Aeroplanes use very complex physics to fly safely and efficiently. But that does not stop us from assuming simple models and figuring out how they work. In the following parts, we will work with different aspects of the operation of an aeroplane.

উড়োজাহাজ নিরাপদে ও সাশ্রয়ীভাবে উড়তে জটিল পদার্থবিজ্ঞান ব্যবহার করে। কিন্তু তা আমাদেরকে সহজ মডেল ধরে নিয়ে তারা কীভাবে কাজ করে তা জানা থেকে বিরত রাখতে পারে না। পরবর্তী অংশগুলোতে আমরা উড়োজাহাজের কার্যক্রমের বিভিন্ন দিক নিয়ে কাজ করবো।

Simply put, an aeroplane wing is a sheet with curved surfaces. Due to the Coandă effect, the moving air around the wing follows a path similar to the surfaces on either side, and air going above or below the wing gain and lose contact with the wing at the same time. This generates lift or upwards force according to Bernoulli's equation.

সহজভাবে বলতে, একটি উড়োজাহাজের ডানা বক্রতলযুক্ত একটি পাত। কোনাডা প্রভাবের জন্য ডানার চারপাশের বাতাস ডানার দুপাশের তলের মতো পথে চলে, আর ডানার উপরে বা নিচে যেতে থাকা বাতাস একই সময়ে ডানার স্পর্শ লাভ করে ও ত্যাগ করে। এটি বার্নুলির সমীকরণ অনুসারে উর্ধ্বমুখী বল বা "লিফট" তৈরি করে।

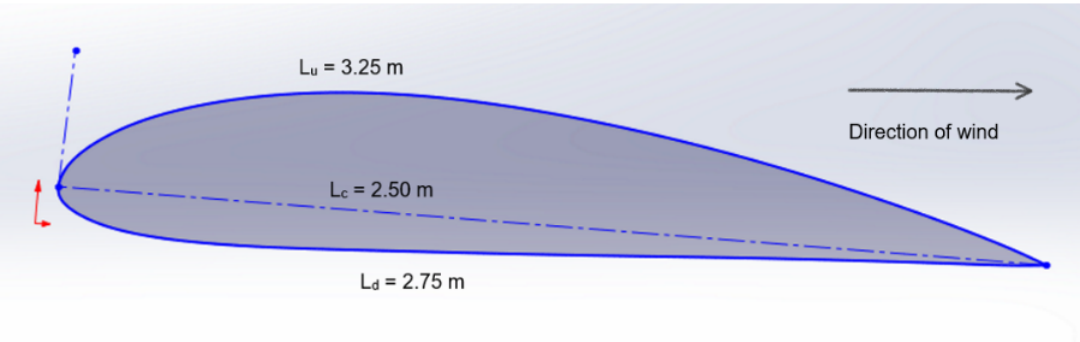

Figure 4

It states that for any part of a fluid (liquid or gas), the following quantity is constant:

এটি বলে যে কোন প্রবাহীর(তরল বা গ্যাস) এর যেকোন অংশের জন্য এই পরিমাণটি ধ্রুবঃ

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h \tag{2}$$

where the terms P, ρ, v, h mean air pressure, air density, the relative speed of air with respect to the wing and the relative height. As the term $\rho g h$ is very small compared to the other terms, you can ignore this term everywhere in this problem. Based on the information and the diagram, explain how the wing can generate lift when air flows around the wing.

যেখানে P, ρ, v, h রাশিগুলো দ্বারা যথাক্রমে বায়ুর চাপ, বায়ুর ঘনত্ব, ডানার সাপেক্ষে বাতাসের আপেক্ষিক বেগ এবং আপেক্ষিক উচ্চতা বোঝায়। যেহেতু অন্যান্য রাশিগুলোর তুলনায় $\rho g h$ রাশিটি খুব ছোট, তাই প্রশ্নের সর্বত্র তুমি এই রাশিকে উপেক্ষা করতে পারো। প্রদত্ত তথ্য ও চিত্রের ভিত্তিতে ব্যাখা করো যে কীভাবে ডানাটি লিফট তৈরি করতে পারে যখন ডানার চারদিকে বায়ু প্রবাহিত হতে থাকে।

A	Based on the information and the diagram, explain how the wing can generate lift when air flows around the wing. প্রদত্ত তথ্য ও চিত্রের ভিত্তিতে ব্যাখা করো যে কীভাবে ডানাটি "লিফট" তৈরি করতে পারে যখন ডানার চারদিকে বায়ু প্রবাহিত হতে থাকে।	1 pts

B	Suppose the plane is moving at a speed $v = 80$ ms^{-1} in stationary air. From the perspective of the wing, it will seem that air is hitting the wing head-on at a speed v. Based on the given information, calculate the amount of lift per square meter in terms of $\rho,\ v,\ L_u,\ L_c,\ L_d$. ধরো উড়োজাহাজটি স্থির বাতাসে $v = 80$ ms^{-1} দ্রুতিতে চলছে। ডানার কাছে মনে হবে যে বাতাস v দ্রুতিতে ডানাকে মুখোমুখি আঘাত করছে। প্রদত্ত তথ্যের ভিত্তিতে প্রতি বর্গমিটারে "লিফট" এর পরিমাণ $\rho,\ v,\ L_u,\ L_c,\ L_d$ এর সাপেক্ষে নির্ণয় কর।	1.5 pts

C	There are conditions to be met while designing an aeroplane wing. For instance, an aeroplane must generate 1.1 times its weight as "lift" to take off due to air drag. But the length of the wings cannot exceed 40 m. What is the maximum mass of the aeroplane m_p if its takeoff speed is v? The density of air is $\rho = 1.29$ kgm^{-3}. উড়োজাহাজের ডানার নকশা করার সময় কিছু শর্ত মানতে হয়। যেমন, একটি উড়োজাহাজকে টেক-অফের জন্য তার ওজনের 1.1 গুণ "লিফট" তৈরি করতে হয় বাতাসের বাধার কারণে। কিন্তু ডানার দৈর্ঘ্য 40 m অতিক্রম করতে পারবে না। উড়োজাহাজের টেক-অফ দ্রুতি v হলে তার সর্বোচ্চ ভর m_p কত? বাতাসের ঘনত্ব $\rho = 1.29$ kgm^{-3}	1.5 pts

A number of different weather conditions affect the minimal length of takeoff from a runway. For example, air density is dependent on its temperature, pressure and molar mass, all of which is subject to change. Specifically,

কোন রানওয়ে থেকে টেক-অফের ন্যূনতম দূরত্ব বিভিন্ন আবহাওয়া অবস্থা দ্বারা প্রভাবিত হয়। যেমন, বায়ুর ঘনত্ব তার তাপমাত্রা, চাপ ও মোলার ভরের উপর নির্ভরশীল, যার সবগুলোই পরিবর্তনশীল। বিশেষ করে,

$$\rho = \frac{PM}{RT} \tag{3}$$

where P, M, T, R means air pressure, molar mass, temperature and a constant 8.314 Jmol^{-1}K^{-1} respectively. Below the data for two airports, one in the hot, tropical region, the other in the dry, cold region, are shown: যেখানে P, M, T, R যথাক্রমে বাতাসের চাপ, মোলার ভর, তাপমাত্রা ও একটি ধ্রুবক 8.314 Jmol^{-1}K^{-1} বোঝায়। নিচে দুইটি বিমানবন্দরের উপাত্ত দেওয়া হলো, একটি উষ্ণ, আর্দ্র অঞ্চলে, আরেকটি ঠাণ্ডা, শুষ্ক অঞ্চলে:

Parameter	Pressure (Pa)	Temperature (K)	Molar mass (kgmol^{-1})
Airport 1	99365	308	14.41
Airport 2	100945	293	14.36

D	If the engines of the aeroplane can produce 125000 N of forward force, determine what is the recommended length of the runway for both airports, which is 1.3 times the minimum length. The wing parameters are unchanged, but takeoff speed may vary. যদি উড়োজাহাজের ইঞ্জিন নিট 125000 N সম্মুখমুখী বল তৈরি করতে পারে, তাহলে উভয় বিমানবন্দরের রানওয়ের প্রস্তাবিত দৈর্ঘ্য কত, যা সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্যের 1.3 গুণ? ডানার পরিমাপগুলো অভিন্ন, কিন্তু টেক-অফ দ্রুতি পরিবর্তন হতে পারে।	2 pts

E	Wind velocity can also affect takeoff performance. Tailwind means air flowing from the back to the front of the aeroplane, while headwind means air flowing from the front to the back of the aeroplane. Which one is not wanted for take-off? For the recommended length runway of Airport 1, what is the maximum speed of that type of airflow type in which the plane can still take off? বাতাসের দ্রুতিও টেক-অফ দ্রুতিকে প্রভাবিত করতে পারে। অনুকূল বায়ুপ্রবাহ দ্বারা উড়োজাহাজের পেছন থেকে সামনে বাতাসের প্রবাহ বোঝায়, যেখানে প্রতিকূল বায়ুপ্রবাহ দ্বারা উড়োজাহাজের সামনে থেকে পেছনে বাতাসের প্রবাহ বোঝায়। টেক-অফের জন্য কোনটি কাম্য নয়? বিমানবন্দর 1 এর প্রস্তাবিত রানওয়েতে ঐ ধরণের সর্বোচ্চ কত দ্রুতির বায়ুপ্রবাহের মধ্যেও উড়োজাহাজটি টেক-অফ করতে পারবে?	2 pts