



## THEORETICAL COMPETITION

### Questions and Solutions

---

**Rabu, 27 April 2005**

**Baca baik-baik ya :**

1. Waktu yang tersedia **5 jam**.
2. Gunakan pulpen yang sudah disediakan.
3. **Lembar jawab jangan bolak-balik.**
4. Kerjakan setiap bagian pada kertas yang terpisah.
5. Perhatikan **Angka Penting** untuk setiap hasil.
6. Jawablah dengan singkat dan jelas dalam bentuk persamaan, angka, gambar, dan plot grafik, sesedikit mungkin kata-kata.
7. Isi identitas diri pada bagian atas lembar jawab. Jika ada lembar kosong yang tak digunakan beri tanda silang besar pada kertas tersebut, dan tidak dimasukkan ke dalam penilaian.
8. Setelah selesai atur berkas dalam urutan :
  - Lembar jawab
  - Kertas terpakai terurut
  - Kertas yang tak akan dinilai
  - Kertas coretan dan soalMasukkan ke dalam amplop dan keluar segera.
9. Jika kurang jelas dengan edisi Indonesianya, silakan baca edisi inggrisnya.

## SOAL 1

### 1A. PEGAS, SELINDER dan PISTON BERAT (5 points)

Ada  $n = 2$  mol gas helium ideal berada pada tekanan  $P_0$ , volume  $V_0$  dan suhu  $T_0 = 300$  K dalam sebuah selinder (lihat gambar 1.1). Sebuah piston  $m = 10$  kg dapat bergerak bebas tanpa gesekan dalam selinder itu. (Anggap  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>) Luas penampang piston  $A = 500$  cm<sup>2</sup>. Piston dihubungkan dengan sebuah pegas. Piston memisahkan kedua bagian selinder dengan bagian atas selinder vakum. Mula-mula pada keadaan  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $T_0$ , piston dan gas berada pada keadaan seimbang di mana pegas dalam keadaan normal (tidak tertekan atau teregang). Abaikan kebocoran gas pada permukaan, abaikan kapasitas panas jenis dari selinder, piston dan pegas. Abaikan massa pegas

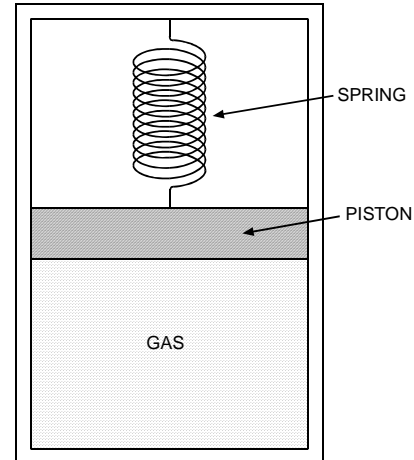


Figure 1.1

- Hitung frekuensi  $f$  dari small oscillation piston ketika piston digeser sedikit dari posisi keseimbangan awal. (2 points)
- Kemudian piston ditekan ke bawah sampai volume gas menjadi separuhnya  $V_0/2$ , setelah itu piston dilepas dengan kecepatan nol. Hitunglah **nilai-nilai** volume gas secara numerik ketika laju piston  $\sqrt{\frac{4gV_0}{5A}}$  (catatan  $V_0$  adalah volume gas mula-mula ketika gas dalam keadaan seimbang, sebelum ditekan). (3 points)

Ambil konstanta pegas  $k = MgA/V_0$  Semua proses adalah **proses adiabatik**. Gas constant  $R = 8.314$  JK<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>. Untuk gas monoatomik (Helium) gunakan Laplace constant  $\gamma = 5/3$ . (soal ini mah encer..... nggak ada apa-apanya....kalau nggak bisa kebangetan deh...)

**1B. THE PARAMETRIC SWING (5 points)**

Untuk memperbesar simpangan ayunan, seorang anak membuat gerakan berdiri dan jongkok pada ayunan tersebut. Lintasan pusat massa anak itu ditunjukkan pada gambar. 1.2. Anggap  $r_u$  adalah jarak radial dari pusat putaran ke pusat massa anak itu ketika anak itu berdiri (standing). Sedangkan  $r_d$  adalah jarak radial dari pusat putaran ke pusat massa anak itu ketika anak itu jongkok (squating). Anggap perbandingan  $r_d$  dan  $r_u$  adalah  $2^{1/10} = 1.072$ .

Untuk menyederhanakan persoalan, anggap ayunan tidak bermassa, amplitudo ayunan **SANGAT KECIL** ( $\theta \ll 1$ ), dan massa anak itu terpusat di pusat massanya (benda titik). Anggap juga bahwa transisi dari jongkok ke berdiri (dari A ke B dan dari E ke F) **SANGAT CEPAT** dibandingkan dengan siklus ayunan dan dapat dianggap **SEKETIKA** (instantaneous). Demikian juga transisi ke jongkok (dari C ke D dan dari G ke H) dapat dianggap instantaneous.

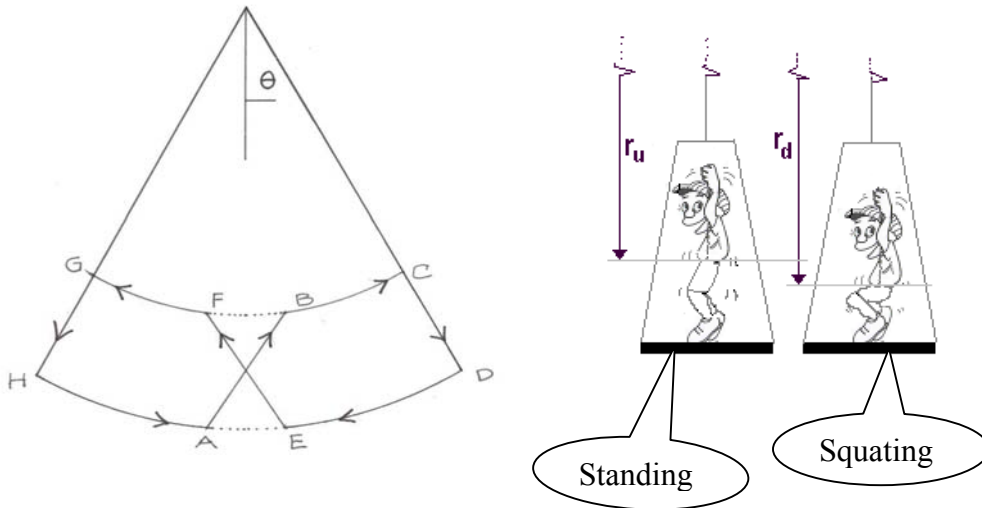


Figure 1.2

Berapa ayunan (1 ayunan = 1 siklus penuh bandul, jumlah ayunan tidak perlu bilangan bulat) dibutuhkan untuk anak itu agar amplitudo ayunannya (atau kecepatan sudut maksimumnya) meningkat 2 kali lipat? (*yang ini juga encer...*)



## THEORETICAL COMPETITION

### Questions and Solutions

---

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages

### ANSWER FORM

#### 1A

a)

$f(\text{formula}) =$

$f(\text{value}) =$  Hz

b)

$V_{\text{gas}}(\text{formula}) =$

*Value(s) of gas volume/nilai-nilai yang mungkin dari volume gas tersebut =*

#### 1B

**N (number of cycles/jumlah siklus ayunan) =**

## Question 2 MAGNETIC FOCUSING

Banyak alat yang menggunakan berkas tajam dari partikel bermuatan. Sinar katoda yang tajam digunakan dalam osiloskop, penerima televisi, atau dalam mikroskop elektron. Dalam alat ini partikel bermuatan difokuskan dan disimpangkan seperti berkas cahaya dalam alat-alat optik.

Berkas partikel dapat difokuskan dengan medan listrik dan medan magnet. Dalam soal 2A dan 2B kamu akan melihat bagaimana berkas ini difokuskan dengan medan magnet.

### 2A. MAGNETIC FOCUSING SOLENOID (4 points)

Gambar 2.1 menunjukkan suatu elektron gun yang ditempatkan pada (dekat tengah) sebuah solenoida yang sangat panjang. Elektron dipercepat sebelum keluar dari anoda dan masuk dalam medan magnet solenoida. Komponen kecepatan transversalnya (yang tegak lurus sumbu solenoida) **sangat kecil**. Sedangkan kecepatan yang sejajar sumbu solenoida cukup besar. Di dalam solenoida, Elektron akan bergerak dalam bentuk helix. Setelah **satu putaran penuh**, elektron akan kembali ke sumbunya (lihat gambar 3.1). Dengan mengatur besar **B** dalam solenoida, semua elektron dapat difokuskan pada titik F setelah satu putaran penuh.

Gunakan data berikut:

- Beda potensial yang digunakan untuk mempercepat elektron **sebelum** masuk ke dalam solenoida  $V = 10 \text{ kV}$
- Jarak antara anoda dengan titik fokus F,  $L = 0.5 \text{ meter}$
- Massa elektron  $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Muatan elektron  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
- Kerjakan **tanpa** menggunakan relativitas

- Hitung besarnya (formula dan angka)  $B$  sehingga elektron kembali ke sumbu pada titik F setelah 1 putaran penuh (**3 points**)
- Hitung besarnya arus solenoida ketika solenoida itu mempunyai 500 lilitan per meter. (**1 point**) (*kalau ini nggak bisa kembali saja pulang kampung.....*)

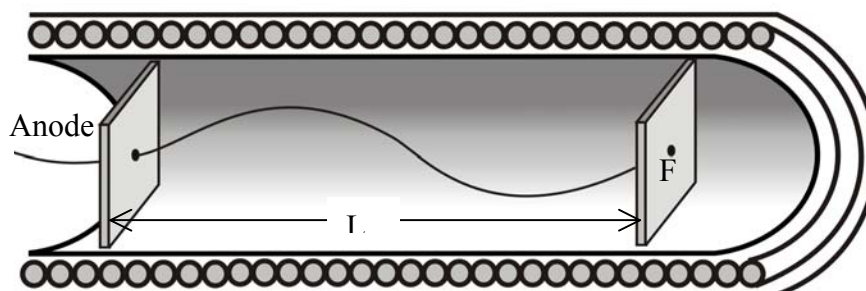


Figure 2.1

## 2B. MAGNETIC FOCUSING (FRINGING FIELD) (6 points)

Dua kutub magnet ditempatkan pada bidang mendatar. Kedua kutub ini terpisah pada jarak tertentu, sehingga ada medan magnetik  $B$  arah vertikal (lihat gambar 2.2). Ukuran kutub magnet ditunjukkan pada gambar, panjang  $l$  dan lebar  $w$ . Anggap ada fringe field (**medan akibat efek pinggir**) dekat tepi kutub-kutub magnet (fringe field is field particularly associated to the edge effects). Anggap fringe field ini hanya ada sampai suatu jarak  $b$ . (lihat Fig. 2.3). The fringe field mempunyai **dua komponen**  $B_x \mathbf{i}$  and  $B_z \mathbf{k}$ . Untuk mudahnya gunakan  $|B_x| = B|z|/b$  atau secara eksplisit:

- fringe field di sebelah kiri  $B_x = +Bz/b$ ,
- fringe field di sebelah kanan  $B_x = -Bz/b$

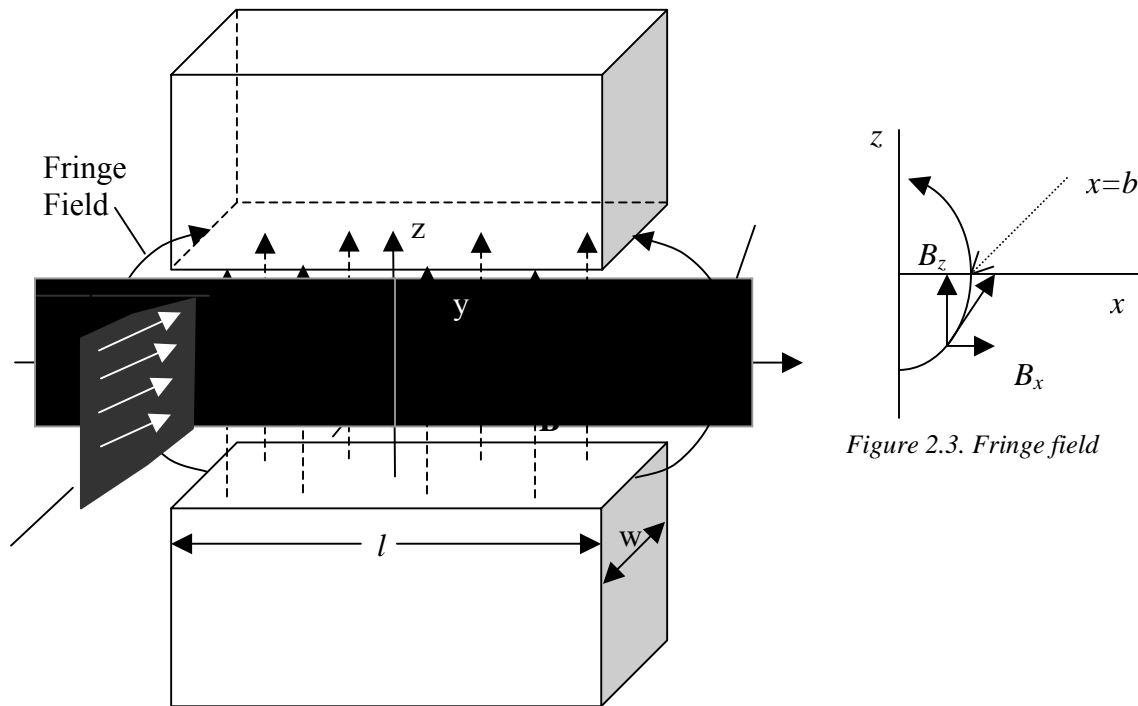


Figure 2.2. Overall view

Figure 2.3. Fringe field

Jadi dalam prosesnya, partikel masuk fringe field, kemudian ke medan uniform dan terakhir masuk lagi ke fringe field sebelum keluar dari medan magnet.

Seberkas partikel, masing-masing partikel bermassa  $m$  dan bermuatan positif  $q$  memasuki medan magnet (dekat tengah) dengan kecepatan tinggi  $v$ . Ukuran vertikal (arah  $z$ ) berkas comparable dengan jarak kedua kutub magnet. Berkas masuk dengan kecepatan sejajar bidang  $xy$  yang membentuk sudut  $\theta$  terhadap sumbu  $x$  dan keluar dgn sudut  $-\theta$  (lihat gambar 2.4. Anggap  $\theta$  **SANGAT KECIL**).

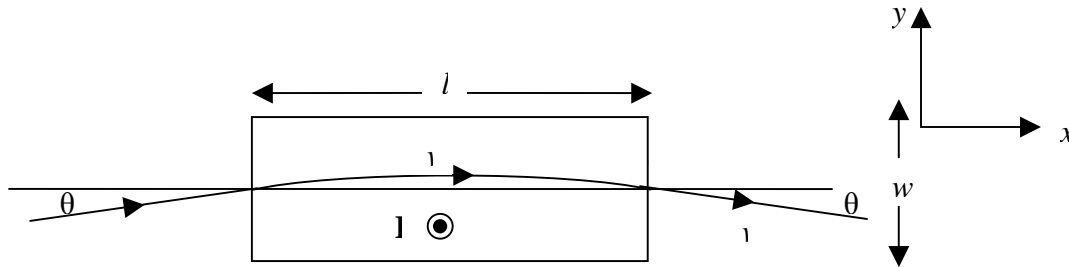


Figure 2.4. Top view

Anggap sudut  $\theta$  sama besar saat masuk dan saat keluar dari fringe field (fringe field tidak mengubah besar  $\theta$ )

Berkas akan difokuskan oleh fringe field ini. Hitung dengan pendekatan, panjang fokus (**jangan** nyatakan dalam variabel  $\theta$ ) yang didefinisikan seperti pada gambar 2.5 (anggap  $b \ll l$  dan anggap simpangan pada arah  $z$  **hanya** terjadi di fringe field saja, abaikan simpangan arah  $z$  dalam medan magnet uniform  $B$ ). (*weleh-weleh, yang ini mah cetak banget.....*)

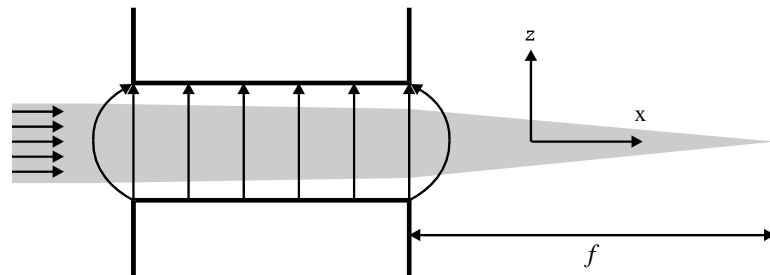


Figure 2.5. Side view



THEORETICAL COMPETITION

Questions and Solutions

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages

ANSWER FORM

**2A**

a)

$B$  (formula) =

$B =$                       mT

b)

$I$  (formula) =

$I =$                       ampere

**2B**

Focus length (formula) =



### Question 3 Pemantulan cahaya oleh cermin yg bergerak

Pemantulan cahaya oleh cermin yang bergerak dengan kecepatan relativistik secara teori bukanlah hal yang baru. Einstein menggunakan Lorentz transformation untuk mendapatkan rumus pemantulan akibat cermin yang bergerak dengan kecepatan  $v$ . Rumus ini ternyata bisa diperoleh dengan cara lain yang lebih sederhana. Ini yang kita akan lakukan. Anggap cermin pada gambar 3.1 bergerak dengan kecepatan  $\vec{v} = v\hat{e}_x$  (dimana  $\hat{e}_x$  adalah vektor satuan dalam arah  $x$ ) diamati oleh pengamat dalam lab frame F. Cermin membentuk sudut  $\phi$  (perhatikan pengambilan sudut  $\phi \leq 90^\circ$  lihat gambar 3.1). Vektor  $\vec{n}$  adalah normal dari cermin. Berkas datang dengan sudut  $\alpha$  dan dipantulkan dengan sudut  $\beta$ . Sudut-sudut  $\phi$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  adalah sudut yang diamati oleh frame F. Di sini berkas datang adalah 1 dan berkas pantul adalah 1'. Dapat dibuktikan bahwa,

$$\sin \alpha - \sin \beta = \frac{v}{c} \sin \phi \sin (\alpha + \beta) \quad (1)$$

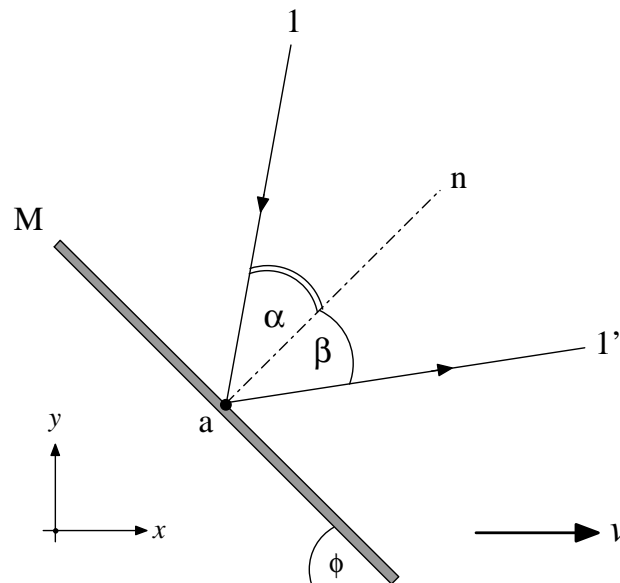


Figure 3.1. Reflection of light by a relativistically moving mirror

### 3A. Cermin Einstein (3 points)

Sekitar seabad yang lalu Einstein menurunkan rumus pemantulan dari gelombang elektromagnetik dari suatu cermin vertikal yang bergerak dengan kecepatan konstan  $\vec{v} = -v \hat{e}_x$  (lihat Fig. 3.2. perhatikan sudut cermin dan kecepatan pengamat). Einstein memperoleh rumus pemantulan ini dengan menggunakan Lorentz transformation. Hasil yang diperoleh adalah:

$$\cos \beta = \frac{(1 + \frac{v^2}{c^2}) \cos \alpha - 2 \frac{v}{c}}{1 - 2 \frac{v}{c} \cos \alpha + \frac{v^2}{c^2}} \quad (2)$$

Turunkan rumus ini, tetapi **tidak boleh** menggunakan Lorentz Transformation. Kamu harus menurunkannya dengan memanfaatkan persamaan (1)! (*gancel... hanya matematika kok....*)

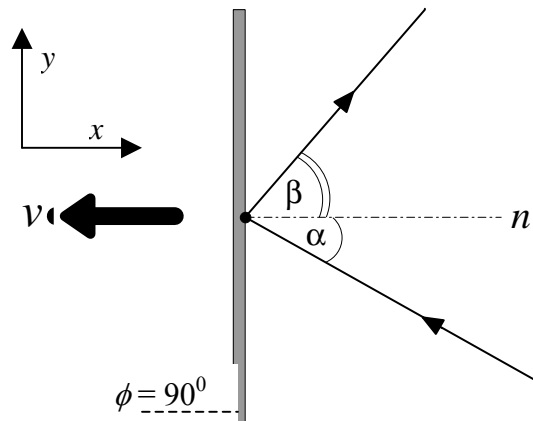


Figure 3.2. Einstein mirror moving to the left with a velocity  $v$ .

### 3B. Frequency Shift / pergeseran frekuensi (2 points)

Dengan kondisi yang sama dengan soal 3A, jika cahaya datang adalah berkas monokromatik dengan frekuensi  $f$ , hitung frekuensi baru  $f'$  setelah berkas dipantulkan oleh cermin yang bergerak ini. Jika  $\alpha = 30^\circ$  and  $v = 0.6 c$ , hitung perubahan frekuensi  $\Delta f$  dalam persen dari  $f$  ( $= \frac{\Delta f}{f}$ ). Juga harus memanfaatkan sudut dari persamaan 1, dan tidak boleh menggunakan persamaan relativitas. (*tidak sulit kok... kalo tahu caranya cukup singkat*)

3C. Relativistically moving Mirror Equation (5 Points)

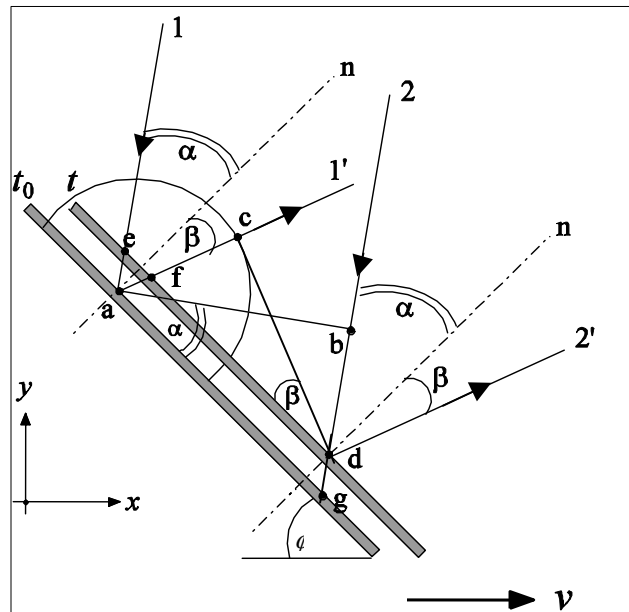


Figure 3.3.

Figure 3.3 menunjukkan posisi cermin pada waktu  $t_0$  dan  $t$ . Karena pengamat bergerak ke kiri, maka cermin bergerak relatif ke kanan (mula mula di posisi  $t_0$  kemudian pindah ke  $t$ ). Berkas cahaya 1 jatuh pada titik a saat  $t_0$  dan dipantulkan sebagai berkas 1'. Berkas 2 jatuh pada titik d pada saat  $t$  dan dipantulkan sebagai berkas 2'. Oleh karena itu,  $\overline{ab}$  adalah muka gelombang ( $\overline{ab}$  tegak lurus berkas 1 dan berkas 2) dari cahaya datang pada saat  $t_0$ . Atom pada point a diganggu oleh muka gelombang  $\overline{ab}$  dan mulai memancarkan radiasi sebagai wavelet (perhatikan lingkaran dengan pusat di a, muka gelombang yang berbentuk lingkaran ini adalah wavelet). Gangguan akibat muka gelombang  $\overline{ab}$  berhenti pada saat  $t$  ketika muka gelombang  $\overline{ab}$  mengenai titik d. Perhatikan bahwa muka gelombang pantul  $\overline{cd}$  tegak lurus 1' dan 2'.

Dengan menggunakan geometri dari gambar 3.3 (**perhatikan gambar dengan baik**) untuk perambatan gelombang, turunkan persamaan 1. Kalau tidak bisa, boleh mencoba metode lain (tetapi akan jauh lebih rumit aljabarnya) (*Agak panjang tapi tidak susah kok*)



## THEORETICAL COMPETITION

### Questions and Solutions

---

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages

### ANSWER FORM

**3**

3A) Einstein's Mirror

Proof:



## THEORETICAL COMPETITION

### Questions and Solutions

---

#### 3B. Shift Frequency

Frequency Shift =

#### 3C. Moving Mirror Equation

Proof: