

TEORI RELATIVITAS KHUSUS.

Teori gelombang Huygens telah membuat masalah yang harus memperoleh penyelesaian, yakni tentang medium yang memperlambat cahaya. Lazim disebut *eter*.

Pada tahun 1887 Michelson dan Morley mengadakan percobaan-percobaan yang sangat cermat, hasilnya sangat mengejutkan, karena adanya eter tidak dapat dibuktikan dengan percobaan.

Hasil percobaan Michelson dan Morley mencakup dua hal yang penting.

1. Hipotesa tentang medium eter tidak dapat diterima sebagai teori yang benar, sebab medium eter tidak lulus dari ujian pengamatan.
2. Kecepatan cahaya adalah sama dalam segala arah, tidak bergantung kepada gerak bumi.

AZAS RELATIVITAS EINSTEIN.

Di atas telah dibahas bahwa kecepatan cahaya ke segala arah adalah sama, tidak bergantung pada gerak bumi. Tetapi bumi bukanlah satu-satunya planet yang ada dalam jagad raya ini. Kalau begitu bagaimana kecepatan cahaya itu ditinjau dari planet lain yang gerakannya berbeda dengan gerakan bumi.

Pada tahun 1905, Einstein mengusulkan bahwa kecepatan cahaya yang besarnya sama ke segala arah itu berlaku ditempat-tempat lain dalam alam semesta ini. Tegasnya kecepatan cahaya adalah sama, tidak bergantung kepada gerak sumber cahaya maupun pengamatnya.

Teori Einstein membawa akibat-akibat yang sangat luas dirasakan agak menyimpang dari pengalaman-pengalaman yang kita peroleh sehari-hari.

- a. Relativitas penjumlahan kecepatan.
Bila v_1 adalah laju kereta api terhadap tanah, dan v_2 adalah laju orang terhadap kereta api, maka laju orang terhadap tanah :

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

c = kecepatan cahaya.

CONTOH SOAL 1

Sebuah pesawat bergerak dengan kecepatan $0,5c$ ke kanan, sambil menembakkan roket dengan kecepatan $0,3c$ ke kanan relatif terhadap pesawat, hitunglah kecepatan relatif roket terhadap pengamat yang diam di bumi menurut Newton dan Einstein.

$$\text{Newton: } V_R = V_{psw} + V_{rkt}$$

$$V_R = 0,5c + 0,3c = 0,8c$$

$$\text{Einstein: } V_R = \frac{V_{psw} + V_{rkt}}{1 + \frac{V_{psw} \cdot V_{rkt}}{c^2}}$$

$$V_R = \frac{0,5c + 0,3c}{1 + \frac{0,5c \cdot 0,3c}{c^2}} = \frac{0,8c}{1,15} = \frac{16}{23}c$$

CONTOH SOAL 2

Sebuah pesawat A bergerak ke kanan dengan kecepatan $0,6c$, pilot melihat jauh ke-depan terdapat pesawat B yang bergerak mendekat dengan kecepatan $0,2c$ relatif terhadap pesawatnya, hitunglah kecepatan pesawat B menurut Newton dan Einstein.

$$\text{Newton : } V_R = V_{pswA} - V_{pswB} \qquad 0,2c = 0,6c - V_{pswB}$$

$$V_{pswB} = 0,6c - 0,2c = 0,4c$$

$$\text{Einstein : } V_R = \frac{V_{pswA} - V_{pswB}}{1 - \frac{V_{pswA} \cdot V_{pswB}}{c^2}} \qquad 0,2c = \frac{0,6c - V_{pswB}}{1 - \frac{0,6c \cdot V_{pswB}}{c^2}}$$

$$0,2c - 0,12V_{pswB} = 0,6c - V_{pswB}$$

$$0,88V_{pswB} = 0,4c \qquad V_{pswB} = \frac{5}{11}c$$

b. Dilatasi waktu (Perpanjangan waktu)

Waktu yang diamati oleh pengamat yang diam (t_0) dengan waktu yang diamati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan v adalah berbeda.

Hubungannya :

$$t' = t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

t' adalah waktu yang tercatat menurut pengamatan pengamat yang bergerak dengan kecepatan v .

CONTOH SOAL 3

Dua anak kembar A dan B, berusia 24 tahun pada suatu hari A pergi berkelana dengan pesawat angkasa dengan kecepatan $0,6c$, pada saat B merayakan ulang tahunnya yang ke-64 A kembali kebumi dan menemui saudaranya. Berapa umur B menurut A ?

$$\Delta t' = \Delta t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta t' = (64 - 24) \sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}$$

$$\Delta t' = 40 \cdot 0,8 = 32 \text{ tahun}$$

jadi umur B menurut A = $24 + 32 = 56$ tahun

c. Kontraksi Lorentz.

Benda yang panjangnya L , oleh pengamat yang bergerak sejajar dengan panjang benda dan dengan kecepatan v , panjangnya akan teramati sebagai L' .

$$L' = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

CONTOH SOAL 4

Sebuah balok berukuran panjang 100 meter lebar 40 meter, dan tinggi 20 meter diam, jika diamati oleh seseorang yang bergerak searah panjangnya dengan kecepatan $0,8c$ Hitunglah volume balok menurut pengamat tersebut.

$$L' = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\text{panjang} = 100 \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}$$

$$\text{panjang} = 100 \cdot 0,6 = 60 \text{ meter}$$

$$\text{Volume} = 60 \cdot 40 \cdot 20 = 48.000 \text{ m}^3$$

d. Massa dan energi.

Massa benda yang teramati oleh pengamat yang tidak bergerak terhadap benda, berbeda dengan massa yang teramati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan v terhadap benda.

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

m_0 adalah massa yang teramati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan v terhadap tanah dan m_0 massa yang teramati oleh pengamat yang tidak bergerak terhadap benda.

Didalam mekanika yang disempurnakan, lazimnya disebut mekanika relativistik, energi benda yang kecepatannya v dan massanya m (dalam keadaan diam), bukan $\frac{1}{2} m \cdot v^2$, melainkan :

$$E_k = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Besaran energi kinetik menunjukkan dua besaran, yaitu :

$$\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \text{ dan } mc^2$$

Einstein menginterpretasikan bahwa $\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ sebagai energi total benda yang bermassa

m dan kecepatan v , sedangkan mc^2 energi total ketika diam.

$$\text{Jadi : } \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = mc^2 + E_k$$

$$E \text{ Total} = E \text{ diam} + E_k$$

Akibat interpretasi ini, benda yang bermassa m memiliki energi sebesar $E = mc^2$. Dengan perkataan lain massa setara dengan energi.

CONTOH SOAL 5

Sebuah benda massanya dalam keadaan diam adalah 1 ton, hitunglah massanya pada saat energi kinetiknya 2/3 energi diamnya.

$$E_k = E_o \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$\frac{25}{9} - \frac{25.v^2}{9.c^2} = 1$$

$$\frac{2}{3} E_o = E_o \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$\frac{25.v^2}{9.c^2} = \frac{16}{9}$$

$$v = 0,8 c$$

$$\frac{5}{3} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$m' = \frac{1000}{\sqrt{1-\frac{(0,8c)^2}{c^2}}}$$

$$m' = 1666 \frac{2}{3} \text{ Kg}$$

TUGAS

01. Pesawat angkasa alfa berkecepatan $0,9c$ terhadap bumi. Jika pesawat angkasa beta melewati alfa dengan kecepatan relative $0,5c$, berapakah kecepatan beta terhadap bumi ? ($0,9655c$)

02. Pilot sebuah roket yang bergerak dengan kecepatan $0,8c$ relative terhadap bumi mengamati bahwa roket kedua yang mendekatinya dalam arah berlawanan bergerak dengan kecepatan $0,7c$. Tentukan kecepatan roket kedua menurut pengukuran pengamat di bumi. ($0,227c$)

03. Seorang pengamat dalam roket A mendapatkan bahwa roket-roket C dan B bergerak menjauhnya dalam arah-arahan yang berlawanan, masing-masing dengan kecepatan $0,6c$ dan $0,8c$. Berapakah kecepatan C menurut pengukuran B ? ($0,946c$)

04. Seorang pengamat berdiri pada pelataran sebuah stasiun ruang angkasa dan mengamati bahwa terdapat dua buah roket mendekatinya dari arah yang berlawanan masing-masing pada kecepatan $0,9c$ dan $0,8c$. Pada kecepatan berapakah roket yang satu bergerak terhadap yang lainnya ?

05. Sebuah atom meluruh habis dalam waktu $2 \cdot 10^{-6}$ detik. Berapakah waktu peluruhan atom itu bila diukur seorang pengamat dalam laboratorium yang terhadaonya atom bergerak dengan laju $0,8c$? ($3,33 \cdot 10^{-6}$ detik)
06. Berapakah kecepatan sebuah pesawat roket harus bergerak jika usia seorang pegamat dalam pesawat roket menjadi separohnya menurut pengamat di bumi ? ($0,866c$)
07. Sebuah partikel yang sedang bergerak pada kelajuan $0,8c$ dalam sebuah laboratorium meluruh setelah menempuh jarak 3 meter. Berapa lamakah ia hidup menurut pengukuran pengamat di dalam laboratorium ? ($1,25 \cdot 10^{-8}$ detik)
08. Andaikan seorang pengamat bergerak bersama partikel dalam soal no. 08. Berapakah waktu yang diukurnya bagi usia hidup partikel sebelum meluruh. ($0,75 \cdot 10^{-8}$ det)
09. Dua anak kembar A dan B berusia 30 tahun, suatu ketika A memutuskan berkelana ke ruang angkasa dengan pesawat $0,8c$ ketika B merayakan ulangtahun yang ke-50, A kembali ke bumi, hitunglah umur B menurut A (42 tahun)
10. Berapa cepatkah sebuah pesawat roket harus bergerak agar panjangnya berkontraksi menjadi 99 % dari panjang diamnya ? ($0,141c$)
11. Sebuah bujursangkar yang uasnya 100 cm^2 diam dalam kerangka acuan pengamat O. Pengamat O' bergerak relative terhadap O dengan laju $0,8c$ dan sejajar dengan salah satu sisi bujursangkar. Berapakah luas bujursangkar itu menurut O' ? (60 meter)
12. Hitung energi inetik sebuah proton yang kecepataannya $0,8c$ (625,5 MeV)
13. Hitung momentum sebuah proton yang energi kinetiknya 200 MeV. ($644,5/c$ MeV)
14. Hitung kecepatan sebuah proton yang energi inetiknya 200 MeV (0,566c)
15. Pada kecepatan berapakah sebuah partikel harus bergerak sedemikian rupa sehingga energi kinetiknya sama dengan energi diamnya. ($0,866c$)
16. Berapakah massa sebuah electron jika ia bergerak melalui suatu beda potensial yang menurut fisika klasik akan mempercepat electron tersebut hingga mencapai kelajuan cahaya ? ($1,5 m_0$)
17. Berapakah energi minimum yang dibutuhkan untuk mempercepat sebuah pesawat roket hingga mencapai kelajuan $0,8c$, jika massa diam muatan akhirnya 5000 Kg. ($3 \cdot 10^{20}$ joule)
18. Andaikan massa realivistik sebuah partikel 5 % lebih bsar daripada massa diamya. Berapakah kecepataannya ? ($0,305c$ %)
19. Sebuah electron dipercepat dari keadaan diam hingga encapai kecepatan $0,5c$. Hitung perubahan energinya. (0,079 MeV)

====o0o====