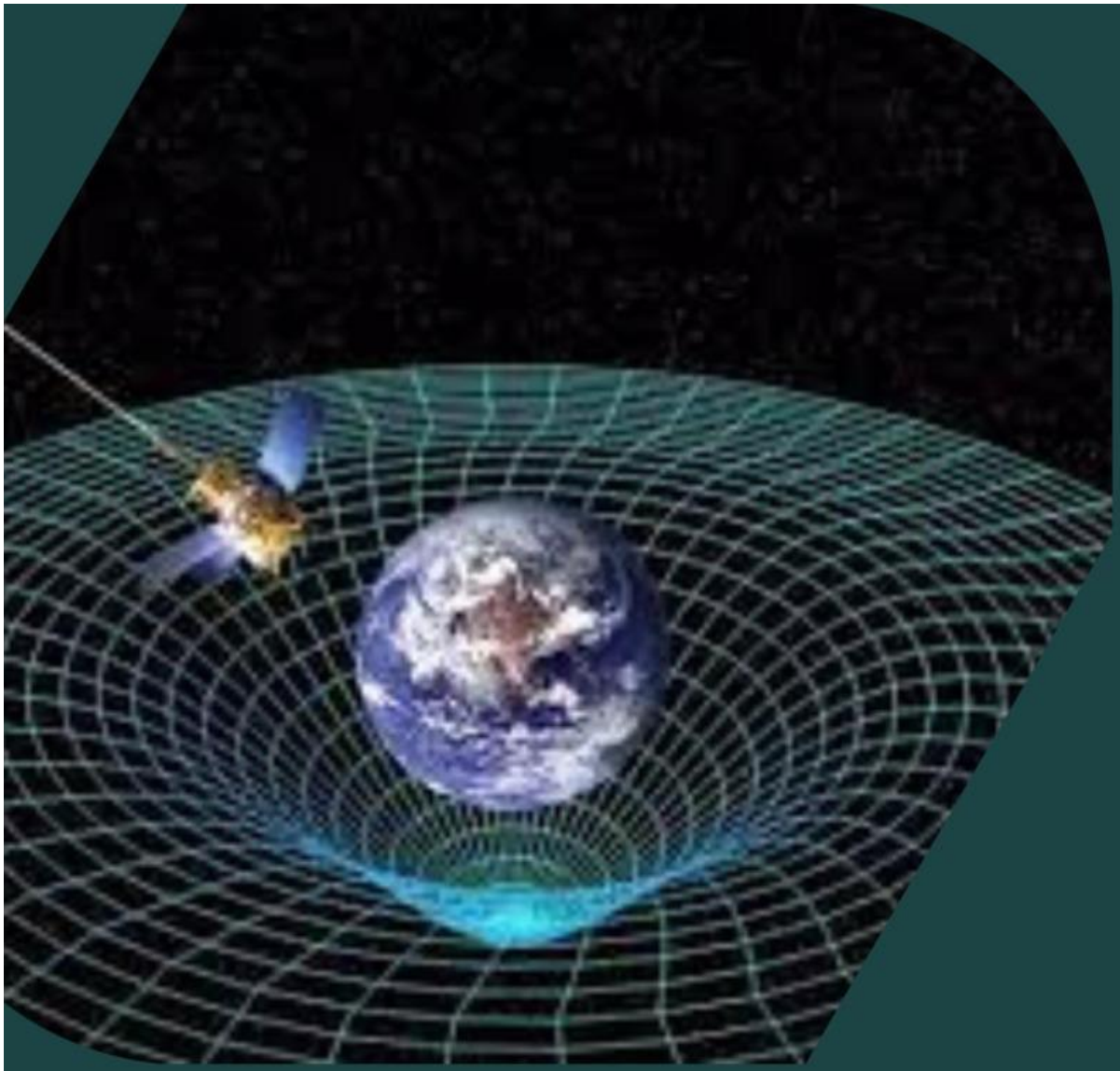


MODUL PEMBELAJARAN FISIKA SMA/MA

RELATIVITAS KHUSUS

DISUSUN OLEH

SALSABILA BILQISTI
06111282126045

XII

LIVEWORKSHEETS

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur tidak lupa kita panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan modul ini dengan tepat waktu sebab tanpa pertolongan-Nya tentunya penulis tidak akan sanggup untuk menyelesaikan modul ini dengan baik. Sholawat serta salam tetap terhanturkan kepada jujungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabatnya.

Adapun tujuan pembuatan modul ini adalah untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai Teori Relativitas Khusus, agar kita semua menjadi mahasiswa yang berguna bagi agama, bangsa dan negara. Penulis sangat bersyukur karena telah menyelesaikan modul ini dengan tepat waktu.

Dalam penyusunan modul "Teori Relativitas Khusus" penulis menyadari masih banyak kekurangan-kekurangan baik pada teknis penulisan maupun materi, mengingat akan kemampuan yang dimiliki. Untuk itu kritik dan saran dari semua pihak sangat penulis harapkan demi penyempurnaan pembuatan modul ini.

Palembang, 3 April 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ii

DAFTAR ISI iii

GLOSARIUM iv

PETA KONSEP v

PENDAHULUAN 1

A. Identitas Modul 1

B. Kompetensi Dasar 1

C. Deskripsi Singkat Materi 1

D. Petunjuk Penggunaan Modul 1

E. Materi Pembelajaran 2

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 3

A. Tujuan Pembelajaran 3

B. Uraian Materi 3

C. Rangkuman 8

D. Latihan Soal 10

E. Penilaian Diri 12

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 13

A. Tujuan Pembelajaran 13

B. Uraian Materi 13

C. Rangkuman 16

D. Penugasan Mandiri 17

E. Latihan Soal 17

F. Penilaian Diri 18

EVALUASI 21

KUNCI JAWABAN EVALUASI 23

DAFTAR PUSTAKA 24

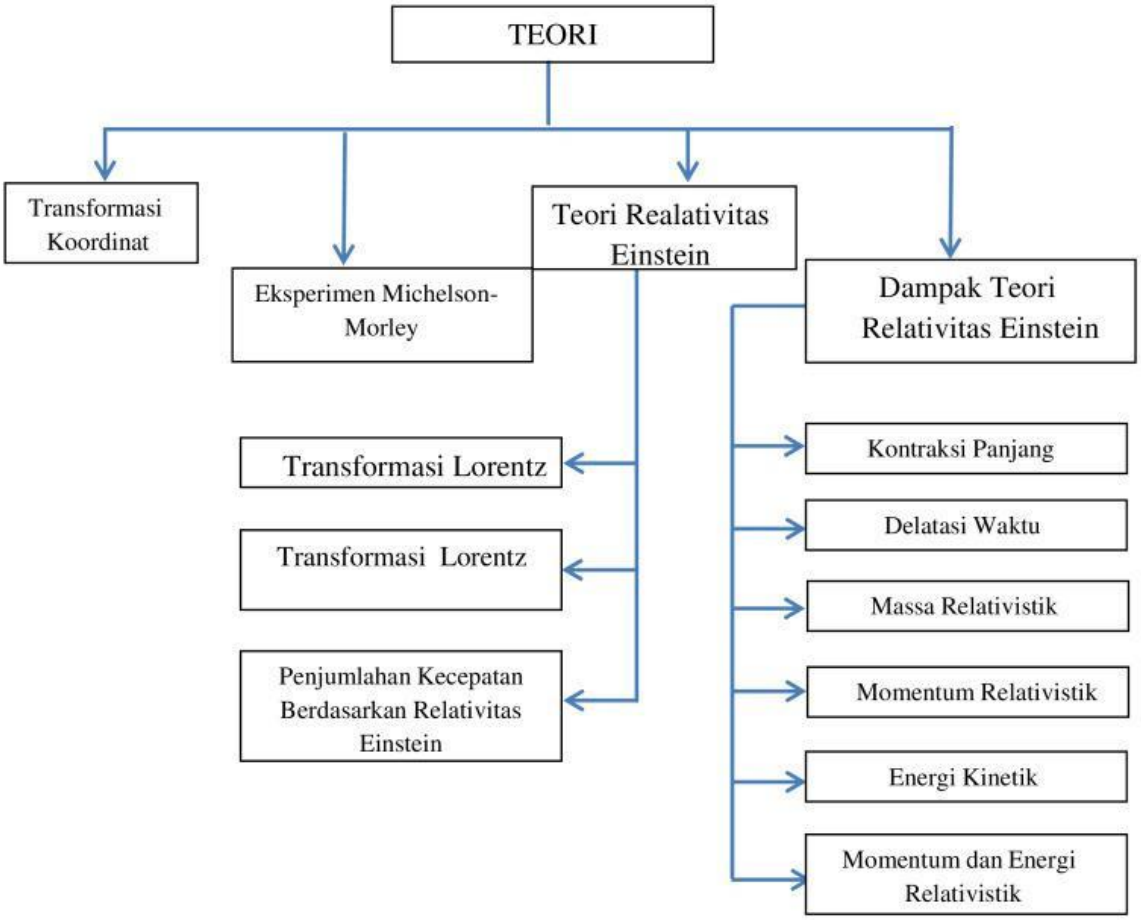
LIVEWORKSHEETS

GLOSARIUM

Teori Relativitas	:	Teori relativitas umum dan relativitas khusus yang diciptakan Albert Einstein. Kedua teori ini diciptakan untuk menjelaskan bahwa gelombang tidak sesuai dengan teori gerak Newton
Kontraksi Lorentz	:	Fenomena memendeknya sebuah objek yang diukur oleh pengamat yang sedang bergerak pada kecepatan bukan nol relatif terhadap objek tersebut
Dilatasi waktu	:	Konsekuensi dari teori relativitas khusus di mana dua pengamat yang bergerak relatif terhadap satu sama lain akan mengamati bahwa jam pengamat lain berdetak lebih lambat dari jamnya.
Momentum	:	Besaran vektor yang merupakan perkalian dari massa dan kecepatan dari suatu benda atau partikel.
Energi	:	Kemampuan melakukan kerja

LIVEWORKSHEETS

PETA KONSEP



Gambar 1

Peta Konsep Teori Relativitas

LIVEWORKSHEETS

PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Fisika
Kelas/Semester	: XII/Genap
Alokasi Waktu	: 8 JP (2 x 4 JP)
Judul Modul	: Teori Relativitas Khusus

B. Kompetensi Dasar

3.7 Menjelaskan fenomena perubahan panjang, waktu, dan massa dikaitkan dengan kerangka acuan dan kesetaraan massa dengan energi dalam teori relativitas khusus.

4.7 Mempresentasikan konsep relativitas tentang panjang, waktu, massa, dan kesetaraan massa dengan energi.

C. Deskripsi Singkat Materi

Dalam modul ini akan dibahas mengenai teori relativitas khusus yang dikemukakan oleh Albert Einstein. Salah satu yang dijelaskan dalam teori ini adalah bahwa waktu, massa, dan panjang adalah relatif, tergantung dari kecepatan pengamat terhadap suatu kerangka acuan. Teori inilah yang mendasari pemanfaatan energi nuklir untuk berbagai keperluan. Diharapkan peserta didik dapat memahami teori ini dengan baik untuk dapat menganalisa berbagai fenomena alam dan meningkatkan ketakwaan terhadap Tuhan Y.M.E.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Agar kalian berhasil mencapai kompetensi dalam mempelajari modul ini maka ikuti petunjuk-petunjuk berikut:

1. Petunjuk Umum:
   a. Bacalah modul ini secara berurutan dan pahami isinya
   b. Pelajari conto-contoh penyelesaiaan permasalahan dengan seksama melalui pemahaman atau bukan dihafalkan
   c. Laksanakan semua tugas-tugas yang ada dalam modul ini agar kompetensi kalian berkembang sesuai kompetensi yang diharapkan
   d. Setiap mempelajari materi, kalian harus mulai dari penguasaan materi dalam setiap kegiatan pembelajaran dan melaksanakan tugas-tugas atau

LIVEWORKSHEETS

tes formatif yang diberikan.

e. Dalam melaksanakan tugas-tugas atau mengerjakan tes formatif yang diberikan, kalian jangan melihat kunci jawaban terlebih dahulu sebelum kalian menyelesaikan tugas atau tes formatif tersebut

f. Konsultasikan dengan guru mata pelajaran apabila kalian mengalami kesulitan dalam mempelajari modul ini.

2. Petunjuk Khusus:

a. Dalam kegiatan Pembelajaran 1 kalian akan mempelajari mengenai konsep - konsep transformasi dan postulat relativitas khusus dan dilatasi waktu. Pada kegiatan Pembelajaran 2 kalian akan mempelajari bagaimana menentukan massa, momentum, dan energi relativitastik. Dan pada kegiatan 3 kalian akan mempelajari tentang kesetaraan massa dengan energi dalam teori relativitas khusus.

b. Pahamilah contoh-contoh soal yang ada dan kerjakanlah semua soal latihan yang disediakan pada bagian tes formatif 1, 2 dan 3.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi dua kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Pertama : Konsep-konsep transformasi dan postulat relativitas khusus, kontraksipanjang dan dilatasi waktu

Kedua : Massa, momentum, energi relativitastik, kesetaraan massa denganenergi

LIVEWORKSHEETS

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

TEORI RELATIVITAS EINSTEIN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan kalian mampu menjelaskan konsep-konsep transformasi dan postulat relativitas khusus, dan dilatasi waktu.

B. Uraian Materi

1. Relativitas Newton

Teori Relativitas Newton menjelaskan gerak-gerak benda jauh di bawah kecepatan cahaya. Teori relativitas mempelajari bagaimana pengukuran besaran fisika yang bergantung pada pengamat seperti halnya dengan peristiwa yang diamati. Relativitas merupakan salah satu dari beberapa teori mengenai gerak, yang dirancang untuk menjelaskan penyimpangan dari mekanika Newton yang timbul akibat gerak relative yang sangat cepat. Teori ini telah mengubah pandangan kita mengenai ruang, waktu, massa, energi, gerak, dan gravitasi. Teori relativitas Newton terdiri atas teori khusus dan teori umum, yang keduanya bertumpu pada dasar matematika yang kuat dan keduanya telah diuji dengan percobaan-percobaan dan pengamatan.

Newton mengatakan bahwa semua gerak itu relatif. Benda akan dikatakan bergerak apabila kedudukan benda tersebut berubah terhadap kerangka acuannya. Kerangka acuan di mana Hukum Newton berlaku disebut kerangka acuan inersia. Jika kita memiliki dua kerangka acuan inersia yang bergerak dengan kecepatan konstan relatif terhadap yang lainnya, maka tidak dapat ditentukan bagian mana yang diam dan bagian mana yang bergerak atau keduanya bergerak. Galileo dan Newton mengemukakan tentang apa yang sekaran kita sebut sebagai prinsip relativitas Newton, yaitu hukum – hukum mekanika berlaku sama pada semua kerangka acuan inersial.

2. Postulat Relativitas Khusus

Pada tahun 1888 Hertz berhasil membuktikan hipotesis Maxwell bahwa cahaya termasuk gelombang elektromagnetik, yang merambat melalui udara

LIVEWORKSHEETS

dengan kecepatan c = 3 x 10^8 m/s. Sesuai dengan pendapat umum pada saat itu bahwa gelombang memerlukan medium untuk merambat, para ilmuwan kemudian mengemukakan hipotesis eter: "Jagat raya dipenuhi oleh eter stasioner yang tidak mempunyai wujud tetapi dapat menghantarkan perambatan gelombang".

Namun keberadaan eter akhirnya terbantahkan melalui percobaan Michelson- Morley dimana pada saat itu mereka ingin mengukur kelajuan Bumi relatif terhadap eter. Keinginan untuk membukikan bahwa eter itu ada berakhir dengan kesimpulan eter sebenarnya tidak ada. Melalui percobaan yang berulang-ulang di lakukan hasilnya tetap bahwa eter tidak ada.

Teori relativitas Einstein merujuk pada kerangka acuan inersial yaitu kerangka acuan yang bergerak relatif pada kecepatan konstan (tetap) terhadap kerangka acuan lainnya. Dari hasil kajiannya, Einstein mengemukakan dua postulat, yaitu:

1. Hukum-hukum fisika memiliki bentuk yang sama pada semua kerangka acuan inersial.
2. Cahaya yang merambat di ruang hampa dengan kecepatan c = 3 x 10^8 m/s adalah sama untuk semua pengamat dan tidak bergantung pada gerak sumber cahaya maupun kecepatan pengamat.

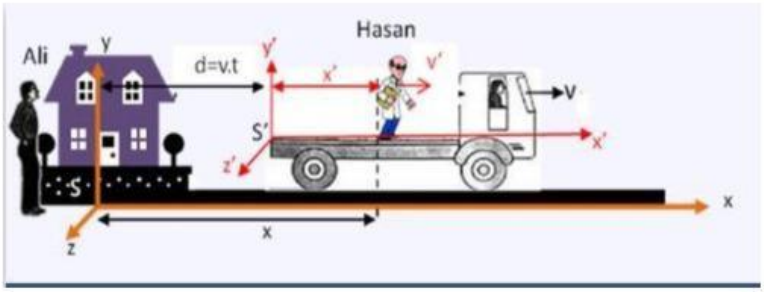
Postulat pertama didasarkan pada tidak adanya kerangka acuan umum yang diammutlak, sehingga tidak dapat ditentukan mana yang dalam keadaan diam dan mana yang dalam keadaan bergerak. Misalnya, seseorang berinisial A berada di dalam pesawat dan seseorang berinisial B berada di permukaan bumi. Dari sudut pandang A, pesawat diam pada suatu tempat dan permukaan bumi-lah yang bergerak. Sedangkan dari sudut pandang B, permukaan bumi tempat dia berpijak yang tetap diam dan pesawat dengan berisi si A didalamnya yang bergerak.

Postulat kedua menyatakan bahwa kecepatan cahaya c konstan, tidak bergantung pengamat yang mengukur dari kerangka acuan inersia. Segala pengukuran harus dibandingkan dengan kecepatan cahaya dan tidak ada kecepatan yang lebih besardari kecepatan cahaya.

LIVEWORKSHEETS

3. Tranformasi Lorentz

Pada transformasi Galileo telah dikemukakan bahwa selang waktu pengamatan terhadap suatu peristiwa yang diamati oleh pengamat yang diam dengan pengamat yang relatif bergerak terhadap peristiwa adalah sama (t - t'). Hal inilah yang menurut Einstein tidak benar, selang waktu pengamatan antara pengamat yang diam dan pengamat yang bergerak relatif adalah tidak sama (t ≠ t'). Transformasi Lorentz pertama kali dikemukaan oleh Hendrik A. Lorentz, seorang fisikawan dari Belanda pada tahun 1895. Sebagai gambaran coba kalian perhatikan gambar berikut!



Gambar 2

Ilustrasi transformasi Lorentz (sumber: golengku.blogspot)

Karena waktu pengamatan oleh pengamat yang diam (Ali) pada kerangka acuan S dan pengamat yang bergerak (Hasan) pada kerangka acuan S' hubungan transformasi pada Galileo haruslah mengandung suatu tetapan pengali yang disebut tetapan transformasi. Dari hasil perhitungan turunan dapatkan persamaan transformasi Lorentz yaitu:

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

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

Kebalikan transformasi Lorentz dapat dituliskan menjadi:

LIVEWORKSHEETS

$$x = \frac{x' + vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

Maka transformasi Lorentz untuk kecepatan benda yang bergerak dapat dinyatakan:

$$v_{x'} = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}}$$

Secara analog persamaan transformasi Lorentz balik untuk kecepatan dapat dituliskan:

$$v_x = \frac{v_x' + v}{1 + \frac{v.v_x}{c^2}}$$

Persamaan-persamaan di atas merupakan penjumlahan kecepatan transformasi Lorentz yang kemudian dikenal dengan penjumlahan kecepatan menurut teori relativitas Einstein. Persamaan tersebut di atas merupakan rumus kecepatan benda yang diamati oleh pengamat yang diam yang disebut rumus penambahan kecepatan relativistik yang sesuai dengan teori relativitas Einstein.

Contoh

Seorang pengamat di bumi melihat dua pesawat antariksa A dan B yang bergerak berlawanan arah mendekati bumi dengan kelajuan masing-masing 0,5c dan 0,6c. Maka berapakah kelaajuan:

1) pesawat A menurut pilot di pesawat B?
2) pesawat B menurut pilot di pesawat A?

Penyelesaian

$v_A = 0{,}5c$

$v_B = 0{,}6c$

1) Kelajuan pesawat A menurut pilot pesawat B dapat diselesaikan dengan persamaan:

LIVEWORKSHEETS

$$v_{AB} = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A . v_B}{c^2}}$$

$$v_{AB} = \frac{0{,}5c + 0{,}6c}{1 + \frac{0{,}5c . 0{,}6c}{c^2}}$$

$$v_{AB} = \frac{1{,}1c}{1 + \frac{0{,}30c^2}{c^2}}$$

$$v_{AB} = \frac{1{,}1c}{1 + 0{,}3}$$

$$v_{AB} = \frac{1{,}1c}{1{,}3}$$

$$v_{AB} = 0{,}85c$$

$$v_{BA} = \frac{v_B + v_A}{1 + \frac{v_B . v_A}{c^2}}$$

$$v_{BA} = \frac{0{,}6c + 0{,}5c}{1 + \frac{0{,}6c . 0{,}5c}{c^2}}$$

$$v_{AB} = \frac{1{,}1c}{1 + \frac{0{,}30c^2}{c^2}}$$

$$v_{AB} = \frac{1{,}1c}{1 + 0{,}3}$$

$$v_{AB} = \frac{1{,}1c}{1{,}3}$$

$$v_{AB} = 0{,}85c$$

4. Dilatasi Waktu

Menurut Einstein bahwa waktu adalah sesuatu yang relatif. Di dalam suatu kerangka acuan yang bergerak terhadap seorang pengamat yang diamterdapat lonceng yang menunjukkan selang waktu Δt_0. Selang waktu yang diamati oleh pengamat tersebut adalah Δt lebih lamat dari pada Δt_0. Beda waktu yang merupakan perpanjangan waktu pengamatan bagi pengamat diamdisebut dilatasi waktu. Menurut Einstein hubungan antara kedua selang waktu itu dirumuskan dengan:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Keterangan :

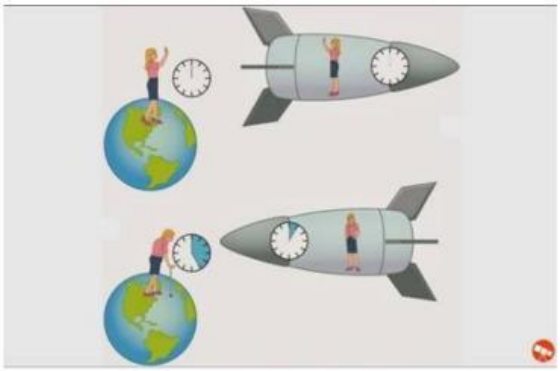
Δt = Selang waktu yang di ukur oleh pengamat yang relatif bergerak (s)

$\Delta t0$ = Selang waktu yang di ukur oleh pengamat yang relatif diam (s)

v = Kecepatan relative pengamat yang bergerak terhadap pengamat yang diam(m/s)

LIVEWORKSHEETS

c = Kecepatan cahaya (3 x 10^8 m/s)



Gambar 3

Ilustrasi dilatasi waktu (sumber: infoastronomy.org)

Dalam teori relativitas Einstein, dilatasi waktu dalam dua keadaan ini dapat diringkas yaitu: Dalam relativitas khusus (atau, hipotetis jauh dari semua massa gravitasi), jam yang bergerak terhadap sistem inersia pengamatan diukur akan berjalan lebih lambat. Efek ini dijelaskan dengan tepat oleh transformasi Lorentz. Dalam relativitas umum, jam pada posisi dengan potensial gravitasi yang lebih rendah seperti dalam jarak dekat ke planet yang ditemukan akan berjalan lebih lambat.

C. Rangkuman

3. Relativitas Newton: Newton mengatakan bahwa benda akan dikatakan bergerak apabila kedudukan benda tersebut berubah terhadap kerangka acuannya.
4. Teori relativitas Einstein, Einstein mengemukakan dua postulat, yaitu:
   1) Hukum-hukum fisika memiliki bentuk yang sama pada semua kerangka acuan inersial.
   2) Cahaya yang merambat di ruang hampa dengan kecepatan c = 3 x 10^8 m/s adalah sama untuk semua pengamat dan tidak bergantung pada gerak sumber cahaya maupun kecepatan pengamat.
5. Transformasi Lorentz

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

LIVEWORKSHEETS

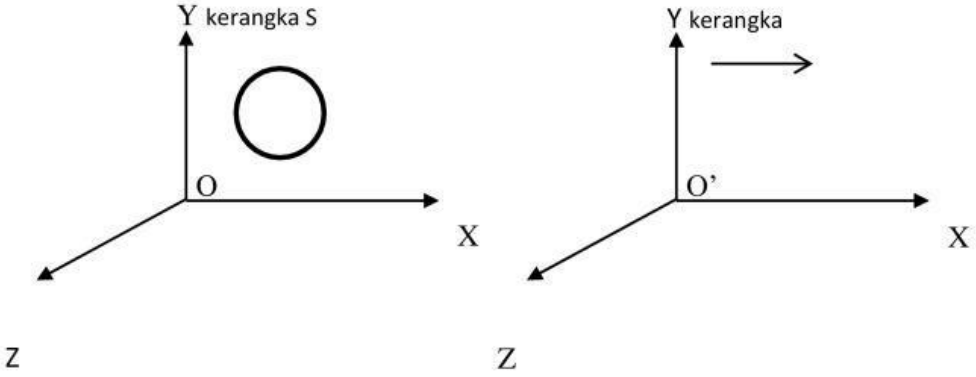
4. Dilatasi waktu: adalah jeda waktu yang merupakan perpanjangan waktu pengamatan bagi pengamat. Delatasi waktu dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

LIVEWORKSHEETS

D. Latihan Soal

1. Jelaskan postulat Einstein terkait teori relativitas !
2. Sebuah cincin berbentuk lingkaran diam terhadap kerangka S seperti ditunjukkan dalam gambar. S' bergerak dengan kecepatan v mendekati c (c = laju cahaya) searah sumbu X.



Jelaskan bagaimana bentuk cincin tersebut menurut pengamat O'!

3. Sebuah partikel yang bergerak dengan kelajuan 0,3c terhadap kerangka acuan laboratorium memancarkan sebuah elektron searah dengan kecepatan 0,3c relatif terhadap partikel. Tentukan laju elektron tadi menurut kerangka acuan laboratorium
4. Sumber cahaya A berada di bumi dan mengirimkan isyarat-isyarat setiap 12 menit. Pengamat B berada dalam pesawat antariksa yang meninggalkan bumi dengan kecepatan 0,6c terhadap bumi. Berapa selang waktu Pengamat B akan menerima isyarat-isyarat cahaya dari A?

LIVEWORKSHEETS