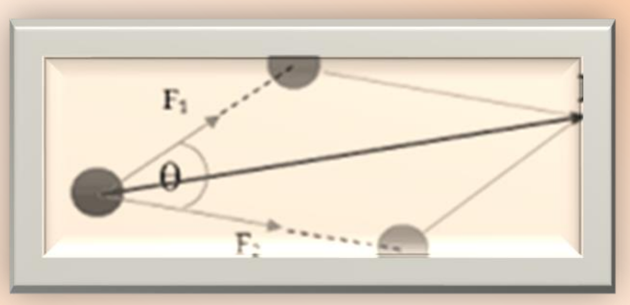
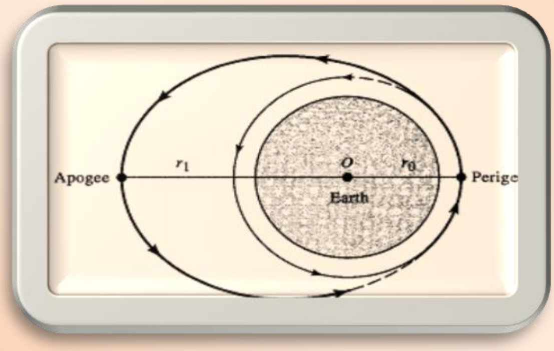
MEKANIKA BERBASIS MULTIPLE REPRESENTASI (MR) MENGGUNAKAN FIELD DEPENDENT DAN FIELD INDEPENDENT

MATERI KULIAH UNTUK PERGURUAN TINGGI PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA





TRI ISTI HARTINI

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN IPA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF.DR. HAMKA-JAKARTA

APRIL 2018

BAB 6

GRAVITASI DAN GAYA PUSAT

Kompetensi:

Mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep dan prinsip mekanika dalam bentuk formal yang lebih umum sehingga memiliki wawasan yang luas dalam menganalisis permasalahan mekanika partikel, sistem partikel, dan benda tegar

Capaian Pembelajaran CP) :

Mahasiswa mampu memahami konsep dan prinsip mekanika dalam bentuk Pengembangan pembelajaran berbasis Multiple Representasi.

Materi Pokok :

Sifat-sifat gaya sentral dan gerak benda di bawah pengaruh gaya sentral, Momentum Sudut dan Kecepatan Areal dari Partikel Bergerak dalam Pusat Bidang, Hukum Kuadrat-Terbalik, Potensial dan Bidang Cincin Tipis.

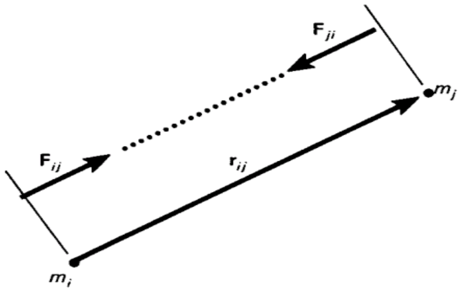
Pendahuluan

Sebuah gaya yang baris aksi melewati titik tunggal atau Pusat disebut Pusat gaya. Jika besarnya gaya hanya bergantung pada jarak dari Pusat dan bukan pada arah, hal ini disebut isotropik. Pusat gaya terpentingdalam fisika seperti gaya gravitasi, gaya elektrostatik, dan lainnya. Gaya interaksi antara fundamenal partikel alam sebagian besar dalam arti bahwa, untuk dua partikel, baik partikel bertindak sebagai Pusat gaya untuk lainnya. Tujuan utama dari Bab ini adalah untuk mempelajari gerak partikel di isotropik Pusat gaya bidang dengan penekanan khusus pada Medan gravitasi.

6.1 Hukum Gravitasi Newton

Gravitasi

Newton mengumumkan hukum universal gravitasi pada tahun 1666. Hal ini menandai awal modern astronomi, untuk hukum gravitasi menyumbang gerakan planet-planet dari tata Surya, satellics. Biner atau dobel bintang, dan Bahkan sistem bintang. Hukum ini dapat menyatakan: setiap partikel di alam semesta menarik setiap partikel dengan kekuatan yang bervariasi secara langsung sebagai produk dari massa dari dua partikel dan terbalik persegi dari jarak mereka terpisah. Arah gaya membentuk dengan dua partikel.



Gambar 6.1 aksi dan reaksi di hukum gravitasiNewton.

kita bisa menyatakan hukumVektor oleh persamaan:

$$F_y = G\,\frac{m_i m_j}{{r_y}^2}\left(\frac{r_y}{r_y}\right)$$

Di mana F_y adalah gaya pada partikel *i* dari massa m_i, diberikan oleh partikel *j*, dari massa m_j. Vektor r_y adalah arah garis berjalan dari partikel *i* ke partikel *j*, seperti yang ditunjukkan *i* pada gambar 6.1. Hukum aksi dan reaksi mengharuskan $F_y = F_\mu$.Konstanta C proporsionalitas G dikenal sebagai universal konstan gravitasi. di laboratorium dengan hati-hati mengukur gaya antara dua benda dar massa yg diketahui. Dalam satuan SI,

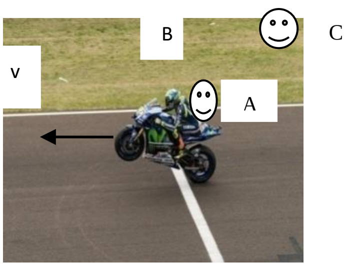
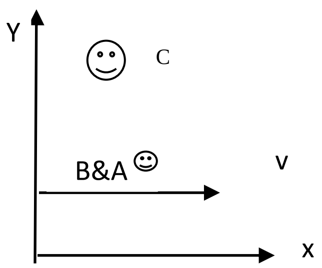
$$G = (6.672 \pm 0.004) \times 10^{-11}\,\mathrm{Nm^2kg^{-2}}.$$

Semua kami menghadiri pengetahuan tentang massa atau astronomi tubuh. termasuk bumi didasarkan pada nilai fundanuental konstan.

<table>
<tr><td colspan="2">Materi Gravitasi</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hukum Gravitasi Newton</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal

❖ Konsep : Gerak Relatif

❖ Definisi konsep :
Gerak bersifat relatif artinya gerak suatu benda sangat bergantung pada titik acuannya.</td><td>Representasi Matematis

konsep gerak relatifnya berlaku hubungan
$\Delta v = v_2 - v_1$
$\Delta s = s_2 - s_1$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Representasi Gambar (


Gambar 6.1 contoh untuk menentukan gerak relatif

B membonceng A dan C diam melihat B berjalan menjauhi C. Menurut C maka A dan B bergerak</td></tr>
</table>

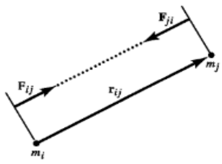
<table>
<tr><td colspan="2">karena ada perubahan posisi keduanya terhadap C. Sedangkan menurut B adalah A tidak bergerak karena tidak ada perubahan posisi A terhadap B. Disinilah letak kerelatifan gerak. Benda A yang dikatakan bergerak oleh C ternyata dikatakan tidak bergerak oleh B. Lain lagi menurut A dan B maka C telah melakukan gerak semu.</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal

❖ Konsep : Pusat Gravitasi
❖ Definisi Konsep:
Disebut juga pusat berat merupakan titik dimana gaya berat suatu benda tegar bekerja. Dengan kata lain, pusat dari seluruh gaya berat (gaya gravitasi) dari benda tersebut.

❖ Konsep : Gaya Gravitasi
❖ Definisi Konsep :
Setiap partikel di alam semesta menarik setiap partikel lain dengan gaya yang besarnya sebanding dengan hasil kali dari massa dua partikel dan berbanding terbalik terbalik dengan kuadrat jarak. Arah gaya terletak di sepanjang jalan lurus garis yang menghubungkan dua partikel.</td><td>Representasi Matematis

$$\mathbf{F}_{ij} = G\frac{m_i m_j}{r_{ij}^2}\left(\frac{\mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}}\right)$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Representasi Gambar

Gambar 6.2 Gravitasi Newton
Newton
Terdapat gaya yan bekerja pada apel dan disebutnya gaya gravitasi.



Gambar 6.3 Aksi dan reaksi hukum gravitasi
Gaya pada partikel massa m_i diberikan oleh partikel massa m_j. r_{ij} adalah vektor posisi</td></tr>
</table>

6.2 Gaya Gravitasi antara Ruang Lingkup dan Partikel.

Di Bab 2, di mana kita membahas gerakan jatuh tubuh. Itu menegaskan bahwa gaya gravitasi di bumi pada partikel di atas permukaan bumi adalah inversel. sebanding dengan kuadrat dari partikel jarak dari Pusat bumi: bumi menarik seolah-olah semua massaterkonsentrasi pada satu titik. kita sekarang akan membuktikan bahwa ini adalah benar untuk apa sama sebangun membentuk bola, atau bola simetrispembagian materi.

Mempertimbangkan pertama tipis sebangun kulit atau massa *M* dan radius *R*. membiarkan *R* menjadi jarak dari Pusat *O* untuk tes partikel *P* massa *M* (gambar 6.2) hal ini diasumsikan bahwa r > R. kita akan membagi kulit untuk keliling lingkaran lebar$R\ \Delta\theta$di mana, seperti yang ditunjukkan dalam gambar, sudut *POQ*dilambangkan olehθ. Q menjadi titik pada lingkaran. Keliling element lingkaran dengan demikian didapat2πR sinθ, dan massanya ΔM diberikan oleh

$$\Delta M \simeq \rho 2\pi R^2 \, sin\theta \, \Delta\theta$$

dimana ρ adalah massa per satuan luas kulit.

Sekaranggaya gravitasi yang diberikan pada *P* oleh subelement kecil *Q* dari lingkaran (yang kita anggap sebagai partikel) adalah ke arah *PQ*. Mari kita atasi ini memaksaΔF_4 menjadi dua komponen,salah satu komponen sepanjang *PO*, besarnya $\Delta F_4 cos\varphi$,lainnya tegak lurus ke *PO*, besarnya$\Delta F_4 sin\varphi$. Di sini φ adalah sudut *OP*, seperti yang ditunjukkan dalam gambar. Dari simetri kita dapat dengan mudah melihat bahwa jumlah semua vectordarikomponen yang diberikan pada *P* oleh seluruh lingkaran yang hilang. GayaΔF diberikan oleh seluruh lingkaran oleh karena itu ke arah *PO*, dan besarnya ΔF diperoleh dengan menjumlahkan bidang komponen $\Delta F_4 cos\varphi$. Hasilnya adalah jelas

$$\Delta F = G\frac{m\Delta M}{u^2}cos\emptyset = G\frac{m2\pi\rho R^2 sin\theta cos\emptyset}{u^2}\Delta\theta$$

dimana *u* adalah jarak *PO* (jarak dari partikel *P* ke lingkaran) seperti yang ditunjukkan. Besarnya dari exertedonpada *P*oleh seluruh kulit maka diperoleh dengan mengambil batas dari limit $\Delta\theta$ dan mengintegrasikan:

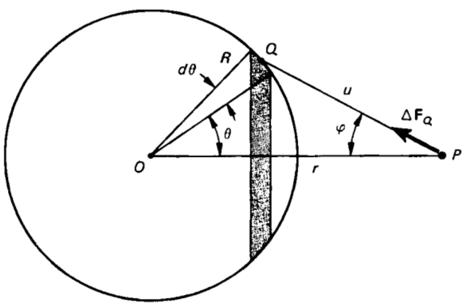
$$F = Gm2\pi\rho R^2 \int_0^w \frac{sin\theta cos\emptyset d\theta}{u^2}$$

Integralnya terlihat sangat mudah dievaluasi dari tunjukkan perpindahan integral dari segitiga *OPQ* yang kita punya, dari hukum cosinus

$$r^2 + R^2 - 2rRcos\theta = u^2$$

Differensialkan kita punya *R* dan *r* secara konstan,

$$rRsin\theta d\theta = u\, du.$$



Gambar 6.2 Koordinat untuk kalkulasi dari gravitasi area dari kulit bulat

Selain itu, dalam segitiga *OPQ*, dapat ditulis

$$cos\theta = \frac{u^2 + r^2 - R^2}{2ru}$$

Setelah melakukansubstitusi oleh dua persamaan, kita dapatkan

$$F = Gm2\pi\rho R^2 \int_{\theta-0}^{\theta-w} \frac{u^2 \; + \; r^2 \; - \; R^2}{2Rr^2u^2}$$

$$= \frac{GmM}{4Rr^2}\int_{r-R}^{r+R}\left(1+\frac{r^2-R^2}{u^2}\right)du$$

$$= \frac{GmM}{r^2}$$

dimana $M = 4\pi\rho R^2$ adalah massa kulit. Kita kemudian dapat menulis secara vektor

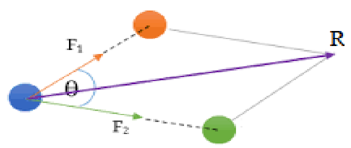
$$F = -G\frac{Mm}{r^2}e \qquad (6.2)$$

dimana e, adalah satuan radius vektor dari keaslian *O*. hasil di atas berarti bahwa kulit bola materi menarik partikel luar seolah-olah seluruh massa atau kulit yang terkonsentrasi di pusatnya. ini akan menjadi kenyataan untuk setiap konsentris bola porsi yang solid seragam bola. seragam bola tubuh. oleh karena itu, menarik eksternal partikel seolah-olah seluruh massa bidang yang terletak di Pusat. yang sama berlaku juga untuk seragam lingkup yang tersedia densitas hanya bergantung pada radius jarak r.

Hal ini dapat menunjukkan bahwa gaya gravitasi pada partikel terletak di dalam seragam bola Shell adalah nol. Buktinya kiri sebagai latihan.

<table>
<tr><td colspan="2">Gaya gravitasi antara bidang sebangun dan sebuah partikel</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal

❖ Konsep : Resultan Gaya Gravitasi
❖ Definisi Konsep :
Gaya gravitasi antara dua partikel merupakan gaya aksi reaksi</td><td>Representasi Matematis

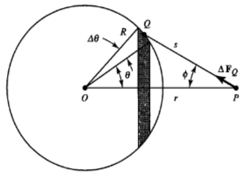
❖ θ : sudut antara F_1 dan F_2
Resultan Gaya gravitasi pada m_1 adalah
$F_1 = G\frac{m_1 m_2}{r_1^2}$
$F_2 = G\frac{m_1 m_3}{r_2^2}$
$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Representasi Gambar

Gambar 6.4 Gaya Aksi Reaksi 2 buah massa</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal

❖ Konsep :Medan Gravitasi
❖ Definisi Konsep:
Daerah Gaya (ΔF) diberikan oleh seluruh lingkaran,besarnya (ΔF) diperoleh dengan menjumlahkan bidang komponen-komponen dari cangkang bola.</td><td>Representasi Matematis

❖ Titik Q keliling lingkaran di dapat 2πR sinθ, dan massanya ΔM diberikan oleh $\Delta M \simeq \rho 2\pi R^2\, sin\theta\, \Delta\theta$,
dimana ρ adalah massa per satuan luas ki $\Delta F = G\frac{m\Delta M}{s^2}\cos\phi = G\frac{m2\pi\rho R^2 \sin\theta\cos\phi}{s^2}\Delta\theta$</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>$F = Gm2\pi\rho R^2 \int_0^\pi \frac{\sin\theta \cos\phi\, d\theta}{s^2}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Representasi Gambar



Anggap sebuah cangkang tipis sebangun massa M dan jari-jari (radius) R. Berasumsi bahwa r> R. lebar R Δθ, sudut POQ dilambangkan oleh θ.

Gambar 6.5 Medan gravitasi dari cangkang bola

</td></tr>
</table>

6.3 energi potensial di Medan gravitasi. Gravitasi potensial.

Di Bab 2, bagian 2.3, kami membuktikan bahwa invers persegi hukum gaya menyebabkan terbalik pertama kuasa hukum untuk energi potensial fungsi. Dalam bagian ini kita akan mendapatkan ini sama hubungan yang lebih fisik cara.

Mari kita mempertimbangkan bekerja *W* diperlukan untuk memindahkan tes partikel massa*M* bersama beberapa resep jalan di Medan gravitasi lain partikel massa *M*.

Kita akan menempatkan partikel massa *M* di negara asal kita sistem koordinat, seperti yang ditunjukkan pada gambar (6.30a). Ketika gaya *F* pada tes partikel diberikan oleh $F = -\frac{GmM}{r^2} e_r$, kemudian, untuk mengatasi gayaini,sebuah gaya luar F harus diterapkan. PenurunandW dilakukan dalam menggerakan partikel uji melalui drjarak jauh ini diberikan oleh $dW = -F.dr = \frac{GMm}{r^2} e_r.dr$

(6.3)

Sekarang kita dapat menyelesaikan *dr* menjadi dua bagian: e, dr sejajar dengan e, (bagian radius)dan yang lainnya di sudut kanan untuk e, [gambar 6.3 (B)]. Dengan jelas,$e_r.dr = dr$dan$W$diberikan oleh $W = GMm \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = -GMm\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$.

(6.4)

Gambar 6.3 Diagram untuk mencari pekerjaan yang diperlukan untuk memindahkan tes partikel di Medan gravitasi.

Di mana r_1 dan r_2 adalah jarak radius dari partikel memulai, dan terakhir, masing-masing dari jalan. dengan demikian pekerjaan adalah independen dari tertentu jalan diambil: tergantung hanya pada titik akhir. ini memverifikasi fakta kita sudah tahu, yaitu bahwa invers persegi hukum gaya konservatif.

kita dapat menentukan energi potensial dari partikel massa pada suatu titik di Medan gravitasi dari partikel berbeda sebagai pekerjaan dilakukan di bergerak tes partikel dari beberapa acuan posisi ke titik yang bersangkutan. Hal ini mudah untuk mengambil acuan posisi di tak terbatas. menempatkanr_1= ∞dan r_2= r dalam persamaan 6.4, kita memiliki

$$V_{(r)} = GMm \int_{\infty}^{r} \frac{dr}{r^2} = -\frac{GMm}{r} \qquad (6.5)$$

Cara ini kadang mudah untuk menentukan jumlah φ, yang disebut gravitasi potensial. Sebagai gravitasi potensial energi per satuan massa:

$$\varphi = \frac{V}{m}.$$

Demikian potensi gravitasi di bidang partikel massa *M* diberikan untuk

$$\varphi = -\frac{-GM}{r}. \qquad (6.6)$$

Jika kita memiliki jumlah partikel M_1, M_2, ... , M_i, ... terletak di posisi r_1, r_2,...,r_i,..., kemudian potensi gravitasi di titik r (*x*, *y*, *z*) adalah jumlahpotensi gravitasi dari semua partikel, yaitu

$$\varphi\,(x, y, z) = \sum \phi_1 = -G \sum \frac{M_1}{u_1}, \qquad (6.7)$$

dimanau_1 adalah jarak dari partikel *i*, atau massa M_1 ,untuk titik bidang *r*(*x*, *y*, *z*) dengan demikian, $u_1 = |r - r_1|$.

Rasio dari gaya gravitasi yang diberikan partikel untuk massa partikel disebut intensitas bidang gravitasi. hal ini ditunjukkan olehς. maka

$$ς = \frac{F}{m}$$

hubungan antara bidang intensitas dan potensi adalah sama seperti yang antara gaya*F* dan potensial energi*V*, yaitu

$$ς = -\nabla \varphi \qquad F = -\nabla V. \qquad (6.8)$$

Intensitas medan gravitasi dapat dihitung dengan pertama menemukan potensi fungsi dari persamaan 6.7 dan kemudian menghitung gradien. Metode ini biasanya lebih sederhana.

dibandingkan dengan metode perhitungan bidang langsung dari invers persegi hukum. Alasannya adalah bahwa energi potensial adalah skalar Sum Sedangkan bidang diberikan oleh vektor Sum. situasi cukup analog untuk teori clectrostatic lapangan. Bahkan, seseorang dapat menerapkan dari yang sesuai hasil dari elektrostatika untuk menemukan Medan gravitasi dan potensi dengan syarat, tentu saja. bahwa ada tidak ada negatif massa.

Contoh

6.1 saya potensi seragam kulit bola.

sebagai contoh. biarkan kami menemukan potensi fungsi untuk seragam sphetical Shell. menggunakan sama notasi sebagai bahwa dari gambar 6.2, kami punya

$$\varphi = - G \int \frac{dM}{u} = -G\int \frac{2\pi\rho R^2 sin\theta d\theta}{u}$$

dari yang sama hubungan antara U dan O yang kita digunakan sebelumnya. kami menemukan bahwa ubove persamaan dapat disederhanakan untuk membaca

$$\varphi = -G \frac{2\pi\rho R^2}{rR} \int_{r-R}^{r+R} du = -\frac{GM}{r}$$

dimana M adalah massa Shell. ini adalah sama potensi berfungsi sebagai bahwa dari satu partikel massa M terletak di O. Kemudian Medan gravitasi di luar kulit adalah sama seolah-olah seluruh massa yang terkonsentrasi di Pusat. hal ini dibiarkan masalah untuk menunjukkan bahwa. dengan tepat mengubah atau intgeral dan batasnya. yang polential dalam kulit adalah konstan dan Karenanya bahwa bidang ada nol.

6.2 potensi dan bidang tipis cincin.

kami sekarang berharap untuk menemukan potensi fungsi dan Medan gravitasi intensitas di bidang tipis melingkar cincin. biarkan cincin menjadi radius R dan massa M. kemudian, untuk eksterior titik berbaring di bidang cincin, gambar 6.4 kami

$$\varphi = -G \int \frac{dM}{u} = - G \int_{u}^{2u} du = - \frac{GM}{u}$$

coodinates untuk menghitung Medan gravitasi dari cincin.

dimana μ adalah linear kepadatan cincin. untuk mengevaluasi integral, kita akan mengungkapkan integran dari segi engle ditampilkan. di segitiga opq maka kita mempunyai

$$R \sin \psi = r \sin \varphi$$

Membedakan

$$R \cos \psi \, d\psi = r \cos \varphi d\varphi = r \cos \varphi(-d\varphi - d\psi)$$

Langkah terakhir berikut dari fakta bahwa $\theta + \varphi + \psi = \pi$ setelah transposing hal yang kita menggunakan persamaan $u = R \cos \psi + r \cos \varphi$, maka kita masukan

$$U\, d\psi = -r \cos \varphi\, d\theta = -(r^2 - R^2 \sin^2 \psi)^{-1/2}\, d\theta$$

Setelah diintegralkan maka kita dapatkan persamaan

$$\Phi = -G\mu R^4 \int_0^{u/2} (r^2 - R^2 \sin^2 \psi)^{-1/2}\, d\psi$$

jadi bidang tidak diberikan oleh terbalik persegi hukum

$$\varphi = -G \frac{4\mu R}{r} \int_0^{u/2} \left(1 + \frac{1R^2}{2r^2} sin^2\psi + \cdots\right) d\psi$$

$$= -G \frac{4\mu R}{r} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi R^2}{8r^2} + \ldots\right)$$

$$= -\frac{GM}{r}\left(1 + \frac{R^2}{4r^4} + \ldots\right)$$

Intesitas daerah dari jarak r untuk bagian tengah cincin dan direksi radius (sejak φ bukan merupakan fungsi dari θ), maka berikan

$$\text{ɜ} = -\frac{\partial\theta}{\partial r} er = \left(-\frac{GM}{r^2} - \frac{-3GMR^2}{4r^2} - \ldots\ldots\right) e_r$$

jika R adalah sangat besar dibandingkan dengan R Namun, istilah pertama mendominasi. dan lapangan adalah sekitar dari invers Square jenis. pada kenyataannya. yang sama berlaku untuk terbatas tubuh bentuk apapun, yaitu untuk jarak besar dibandingkan dengan linear dimensi dari tubuh, bidang cocok untuk menjadi dominan kuadrat terbalik.

6.4 potensi energi dalam Umum Pusat bidang

kami sebelumnya telah menunjukkan bahwa Pusat bidang invers Square jenis konservatif. Mari kita sekarang mempertimbangkan pertanyaan apakah atau tidak ada (isotropik) Pusat bidang gaya konservatif. Umum isotropik tengah lapangan dapat dinyatakan dalam cara sebagai berikut:

$$F = f(r)e \qquad (6.11)$$

di mana e, adalah unit Radial vektor. Untuk menerapkan tes untuk conservativeness, kami menghitung Curl F. nyaman di sini untuk menggunakan bola koordinat dimana Curl diberikan dalam lampiran F. kita menemukan.

$$\nabla \times F = \frac{1}{r^2 \sin\theta} \begin{vmatrix} e_r & e_o r & e_\phi r \sin\theta \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ F_r & rF_\theta & rF_\phi \sin\theta \end{vmatrix}$$

untuk kami Pusat kekuatan $F_r = f(r)e$, $F_\theta = 0$, $F_\phi = 0$ yang lingkaran kemudian mengurangi untuk

$$\nabla \times F = \frac{e_\theta}{r\sin\theta}\frac{df}{d\phi} - \frac{e_\theta}{r}\frac{\partial f}{\partial\theta}$$

dua derivatif parsial kedua lenyap karena S (R) tidak tergantung pada sudut koordinat D dan 0. demikian Curl hilang dan sebagainya Umum Pusat bidang didefinisikan oleh persamaan 6.11 konservatif. kita ingat bahwa sama agar diterapkan invers persegi bidang dalam bagian 4.2. contoh 4.5.

kami sekarang dapat menentukan energi potensial fungsi

$$v(r) = -\int_{r_{ef}}^{r} F\,dr = -\int_{r_{ef}}^{r} f(r)\,dr$$

(6.12)

di mana batas bawah r_{ref} adalah referensi nilai r di mana energi potensial didefinisikan menjadi nol. untuk invers daya jenis pasukan. r_{ref}sering dianggap tidak terbatas. Hal ini memungkinkan kita untuk menghitung energi potensial fungsi, diberikan kekuatan fungsi. sebaliknya, jika kita tahu potensial energi fungsi. Jika kita tahu fungsi potensial energi kita memiliki

$$f(r) = -\frac{dv\,(r)}{dr}$$

(6.13)

memberikan kekuatan fungsi untuk Pusat bidang.

6.5 momentum sudut di Pusat bidang

Kami sebelumnya terbukti dalam bagian 4.1 bahwa laju perubahan kuantitas r × p. Yang momentum sudut, sama dengan saat kekuatan bertindak pada partikel tentang tertentu asal. Mari kita menunjukkan yang momentum sudut dengan simbol L. maka momentum sudut teorema menyatakan bahwa

$$\frac{dl}{dt} = r \times F$$

Mari kita menerapkan atas aturan Umum ke kasus tertentu dari partikel bergerak ke sentral bidang. Di sini gaya F bertindak pada radius vektor r. maka produk silang r $\times F$ lenyap pada saat ada nol. Akibatnya untuk setiap pusat

$$\frac{dL}{dt} = 0$$

dan karena itu

L = konstanta vektor.

yang momentum sudut dari partikel bergerak ke sentral bidang selalu tetap konstan.

sebagai konsekuensi, oleh karena itu jalan gerak partikel di Pusat bidang tetap dalam satu pesawat. karena konstan sudut momcntum vektor L adalah normal untuk kedua R dan v. dan oleh karena itu adalah normal untuk pesawat di mana partikel bergerak. dengan demikian hal ini dimungkinkan. tanpa kehilangan Umum. mempekerjakan pesawat kutub koordinat di trcatin Pusat gerak.

Besaran Momentum Sudut.

Dalam rangka untuk menentukan besarnya dari momentum sudut. itu adalah nyaman T menyelesaikan kecepatan vektor v ke Radial dan melintang komponen di kutub koordinat. dengan demikian kita dapat menulis

$$v = \mathrm{r}e_r + r\theta e_\theta$$

di mana c, adalah unit Radial vektor dan Co adalah unit melintang vektor. besarnya dari momentum sudut kemudian diberikan oleh

$$L = |r \times mv| = [rc_r \times m(rc_r + r\theta e_0)]$$

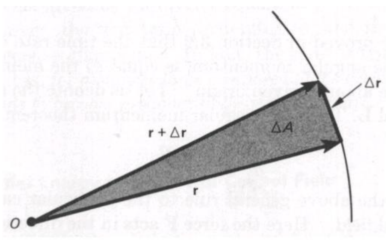
karena$|e_r \times e_r|$ = 0 dan $|e_r \times e_\theta|$ = 1 kita menemukan

$$L = \mathrm{m}r^2\theta = \text{konstan} \tag{6.14}$$

untuk partikel bergerak ke sentral bidang kekuatan.

6.6 Hukum Daerah. Kepler Hukum Gerak Planet.

Yang momentum sudut dari partikel berhubungan dengan tingkat di mana posisi vektor menyapu keluar daerah. untuk menunjukkan ini. Mempertimbangkan gambar 6.5 yang menggambarkan dua berturut-turut.



Gambar 6.5 daerah penyapu radius vektor

posisi vektor r dan $r + \Delta R$ mewakili gerakan partikel dalam interval waktu Δt. Daerah ΔA dari bagian gelap segitiga antara dua vectordinyatakan sebagai

$$\Delta A = \frac{1}{2}|r \times \Delta r|.$$

Pada Divisi oleh Δt dan mengambil batas,kita memiliki

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}|r \times v| \tag{6.15}$$

Dari definisi L. kita selanjutnya dapat menulis

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2m}|r \times mv| = \frac{L}{2m} \qquad (6.16)$$

untuk tingkat di mana radius vektor menyapu keluar daerah. sejak sudut momemtum L adalah konstan dalam setiap tengah lapangan, oleh karena bahwa areal kecepatan ... juga konstan di tengah lapangan.

Hukum Kepler

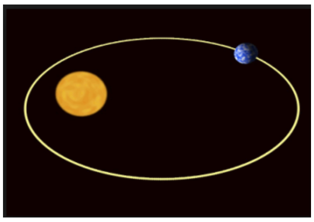
Hukum kepler adalah fakta bahwa planet bergerak matahari sedemikian rupa bahwa areal kecepatan adalah konstan ditemukan secara empiris oleh Johannes Kepler pada tahun 1609. Kepler menyimpulkan aturan ini. dan dua orang lain. dari telaten studi planet posisi dicatat oleh tycho Brahe Kepler tiga hukum:

1) masing-masing planet bergerak di elips dengan matahari sebagai fokus.
2) radius vektor menyapu keluar daerah yang sama pada waktuyang sama.
3) kuadrat masa revolusi tentang matahari adalah sebanding dengan kubus sumbu utama dari orbit.

Newton menunjukkan bahwa ketiga hukum Kepler adalah konsekuensi dari hukum gravitasi.dari argumen yang mengarah ke persamaan 6.16. kita melihat bahwa hukum kedua datang tentang dari fakta bahwa Medan gravitasi dari matahari adalah pusat. duahukum lainnya. seperti yang akan kita tunjukkan kemudian, konsekuensi dari fakta bahwa gaya bervariasi sebagai kuadrat terbalik dari kejauhan.

Hukum kepler Gerak Planet	
Representasi Verbal ❖ **Konsep :** Gerak Planet dalam Kepler ❖ **Definisi Konsep :** Gerak planet dalam pengembangan hukum gravitasi Newton.	**Representasi Matematis**

Representasi Gambar



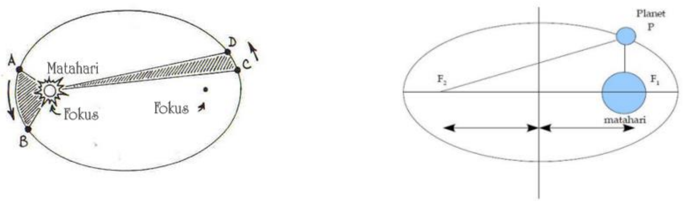
Gambar 6.6 Hukum kepler gerak planet

Gerakan Dua Benda Yang Saling Mengorbit.

Hukum Pertama Kepler : Hukum Elips	
Representasi Verbal ❖ **Konsep :** Orbit Planet ❖ **Definisi Konsep:** Orbit setiap planet adalah elips, dengan matahari	**Representasi Matematis** $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)}$

berada di salah satu fokusnya	

Representasi Gambar

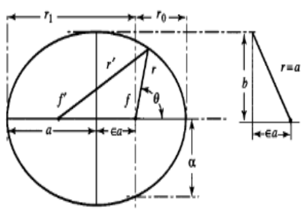


Gambar 6.7 lintasan planet elips dan periode planet

- Planet mengelilingi matahari secara elips

❖ **Konsep :** Luas daerah lintasan planet ❖ **Definisi konsep :** Luas daerah yang disapu pada selang waktu yang sama akan selalu sama. Perioda kuadrat suatu planet berbanding dengan pangkat tiga jarak rata-ratanya dari Matahari.	$F_g = F_s$ $\frac{GM_M M_B}{r_B^2} = \frac{M_B v_B^2}{r_B}$ (M_M = massa matahari, M_B = massa bumi) Karena $v_B = \frac{2\pi r_B}{T_B}$, maka $\frac{GM_M M_B}{r_B^2} = \frac{M_B 4\pi^2 r^2}{T_B^2 r_B}$ $M_M = \frac{4\pi^2 r_B^3}{GT_B^2}$ $= \frac{4(3,14)^2(1,5\times10^{11})^3}{(6,67\times10^{-11})(3\times10^7 5)^2} = 2\times10^{30}$ kg

Representasi Gambar



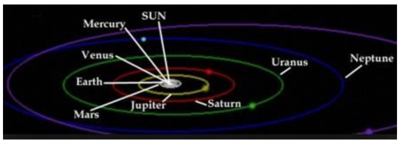
Gambar 6.8 Hukum Elips f, f '

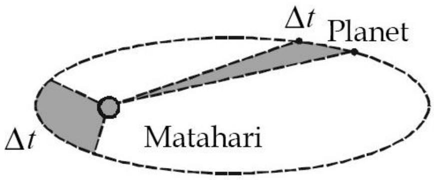
Eksentrisitas: setiap fokus dipindahkan dari pusat : Jarak fokus dari titik di elips tegak lurus terhadap sumbu utama:r_0 Jarak dari fokus ke ericenter: r_0 = (1 - €)=a r_1 Jarak dari fokus ke apocenter: r_1 = (1 + €)= a

Hukum Kedua Kepler

Representasi Verbal	Representasi Matematis
❖ **Konsep :** Garis gaya pada planet ❖ **Definisi konsep :** Garis yang ditarik antara Matahari dan planet ini menyapu area yang sama dengan planet yang sama seperti planet mengorbit Matahari.	$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = k$

Representasi Gambar





Gambar 6.8 Planet mengorbit Matahari.

Representasi Verbal

- ❖ **Konsep :** Momentum sudut
- ❖ **Definisi konsep :**
  Besar momentum sudut suatu partikel adalah konstan.

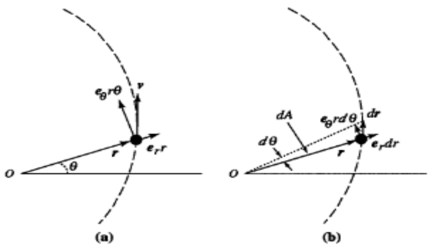
Representasi Matematis

$$L = mr^2\dot{\theta} = \text{constant}$$

$$dA = \frac{1}{2}|\mathbf{r} \times d\mathbf{r}| = \frac{1}{2}|r\mathbf{e}_r \times (\mathbf{e}_r dr + \mathbf{e}_\theta r d\theta)| = \frac{1}{2}r(rd\theta)$$

$$\frac{dA}{dt} = \dot{A} = \frac{1}{2}r^2\dot{\theta} = \frac{L}{2m} = \text{constant}$$

Representasi Diagram/Gambar



Grafik 6.9 (a) Sudut momentum L = Ir X mvl dari r (b) partikel bergerak di tengah disapu bersih oleh vektor radius r

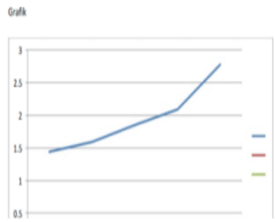
Representasi Tabel

Hukum Kepler II

DATA

No.	Panjang Benang	Waktu untuk 10 ayunan	T =t/10	G = $4\pi^2$ l/T^2
1	120	27,75	2,78	612,99
2	100	20,90	2,09	0903,79
3	80	18,54	1,85	922,80
4	60	15,85	1,59	936,95
5	40	14,41	1,44	761,54

Representasi Grafik



Dapat dihitung besarnya perepatan gravitasi bumi ditempat dimana percobaan di lakukan dengan cara mengukur panjang tali dan periode pada bandul fisis. Massa bandul tidak berpengaruh pada besarnya percepatan gravitasi, sedangkan panjang tali berbanding terbalik dengan kuadrat periode.

<table>
<tr><td colspan="2">Hukum Tiga Kepler : Hukum Harmonik</td></tr>
<tr><td>

Representasi Verbal

- ❖ **Konsep :** Hukum harmonik
- ❖ **Definisi konsep:**
  Periode kuadrat dari sebuah planet (waktu yang dibutuhkan planet untuk menyelesaikannya satu revolusi Matahari relatif terhadap bintang) berbanding lurus dengan kubus sumbu semi utama orbit planet.

</td><td>

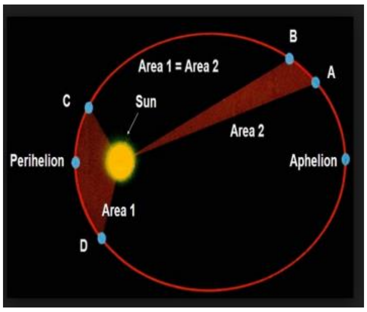
Representasi Matematis

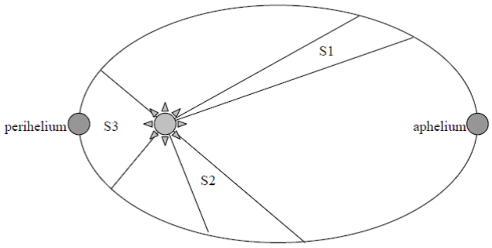
Kuadrat periode terhadap pangkat tiga dari setengah sumbu panjang elips adalah sama untuk semua planet

$\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2}$ $\boxed{\frac{T^2}{a^3} = \frac{4.10^{-20}}{M_{Planet}}}$ $\boxed{\frac{T^2}{a^3} = \text{konstan}}$

</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Representasi Gambar



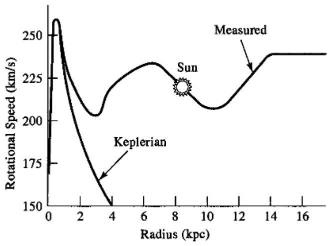


Gambar 6.10 Hukum Kepler III

Satu revolusi tentang Matahari relatif terhadap bintang berbanding lurus dengan kubus sumbu semi utama orbit planet.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Representasi Diagram



Rotasi galaksi melengkung. Kecepatan Matahari adalah sekitar 220 km/s dan jaraknya dari Pusat galaksi sekitar 8.5 kpc (= 28.000 tahun cahaya).

</td></tr>
</table>

6.7 Orbit Partikel di Pusat Medan Gaya.

Untuk mempelajari gerakan partikel dalam isotropik tengah lapangan, itu adalah nyaman untuk mengekspresikan persamaan diferensial gerak

$$m\bar{r} = \int (r) e_r$$

di kutub koordinat. seperti yang ditunjukkan di Bab I. Komponen dari radial $\bar{r}$ is $\bar{r} - r\theta^2$.

Persamaan di atas adalah persamaan diferensial dari orbit dari partikel bergerak di bawah kekuatan pusat. solusi memberikan u (maka r) sebagai funcation θ. sebaliknya, jika seseorang diberi persamaan polar orbit, yaitu, r = r (θ) u^{-1}, maka fungsi kekuatan dapat ditemukan dengan membedakan untuk mendapatkan $\frac{d^2u}{d\theta^2}$dan memasukkan ini ke dalam persamaan diferensial.

Contoh

6.3 Sebuah partikel berada pada tengah bidang yang berpindah didalam lintasan spiral

$$r = c\ \theta^2$$

Determinakan fungsi tersebut kedalam suatu fungsi. Yang mana diketahui

$$u= \frac{1}{c\theta^2}$$

Dan

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{-2}{c}\theta^{-3} \qquad \frac{d^2u}{d\theta^2} = \frac{6}{c}\ \theta^{-4} = cu^2$$

lalu, dari persamaan 6.25

$$6cu^2 + u = \frac{-1}{mh^2u^2}\int(u^{-1})$$

Oleh karena itu

$$\int(u^{-1})= -mh^2\ (6cu^4 + u^3)$$

Dan

$$\int(r)= -mh^2\left(\frac{6c}{r^4} + \frac{1}{r^3}\right)$$

sehingga gaya adalah kombinasi dari kubus terbalik dan terbalik kuasa hukum keempat.

6.4 Dalam masalah di atas, menentukan bagaimana sudut θ bervariasi dengan waktu. di sini kita menggunakan fakta h = $r^2$0 yang konstan. Demikian

$$\theta = hu^2 = h\ \frac{1}{c^2\theta^4}$$

atau

$$\theta^4 d\theta = \frac{h}{c^2}dt$$

Dan jadi, mengintregrasikanya, kita dapat temukan

$$\frac{\theta^5}{5} = hc^{-2}t$$

dimana konstanta integrasi diambil menjadi nol, sehingga θ = 0 at t = 0 . maka kita dapat menulis

$$\theta = at^{1/3}$$

Dimana a = konstant = (5hc-2)1/5

Persamaan Energi pada Sebuah Orbit

kuadrat kecepatan diberikan dalam koordinat polar dengan

v2 = r2 + r2θ2

karena kekuatan sentral konservatif, total energi T + V adalah konstan dan diberikan b

½ m (r2 + r2θ2) + v(r) = E = konstan (6.26)

kami juga dapat menulis persamaan di atas dalam hal variabel u = 1 / r. dari persamaan 6.22 dan 6.23 kita memperoleh

$\frac{1}{2}$ mh2$\left[\left(\frac{du}{d\theta}\right) 2 \ + \ u2\right]$ + v(u-1) = E (6.27)

dalam persamaan di atas satu-satunya variabel yang terjadi adalah u dan θ. kita akan bisa persamaan, oleh karena itu, persamaan energi orbit.

Contoh

6.5 Dari contoh sebelumnya, kita mempunyai untuk bentuk lintasan spiral r = cθ2

$\frac{du}{d\theta} = \frac{-2}{c}\theta^{-3}$= -2c$^{\frac{1}{2}}u^{\frac{3}{2}}$

jadi dari persamaan energi pada lintasan adalah

v(r) = E – ½ mh2 ($\frac{4c}{r^3}$+$\frac{1}{r^2}$)

ini mudah memberikan fungsi kekuatan contoh di atas, karena $\int(r)$= -$\frac{dv}{dr}$

<table>
<tr><td colspan="2">Energi Potensial Pada Medan Gravitasi : Potensial gravitasi.</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal

❖ Konsep : Energi potensial gravitasi
❖ Definisi konsep :
Gravitasi benda di suatu ketinggian di</td><td>Representasi Matematis

• persamaan diferensial gerak
$m\bar{r} = \int(r)e_r$

• Persamaan Energi pada Sebuah Orbit</td></tr>
</table>

medan gravitasi

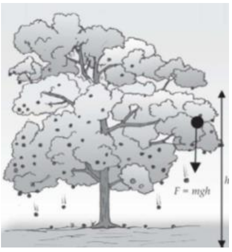
$v^2 = r^2 + r^2\theta^2$

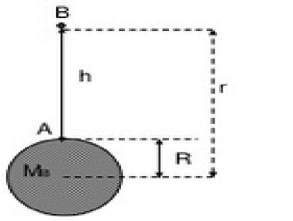
$½ m (r^2 + r^2\theta^2) + v(r) = E = konstan$

$$dW = -\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \frac{GMm}{r^2} \mathbf{e}_r \cdot d\mathbf{r}$$

- Gaya eksternal -F harus diterapkan. Kerja dW dilakukan di Menggerakkan partikel uji melalui perpindahan dr.

Representasi Gambar

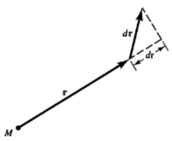


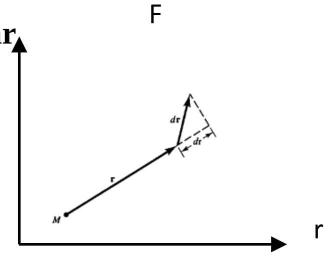


Gambar 6.11. Energi Potensial Gravitasi benda disuatu ketinggian

Representasi Verbal	Representasi Matematis
❖ Konsep : Gaya sentral ❖ Definisi konsep: Gaya eksternal harus diterapkan. Kerja dilakukan untuk menggerakkan partikel uji melalui perpindahan.	Gaya eksternal adalah : $\mathbf{e}_r \cdot d\mathbf{r} = dr$ $dW = -\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \frac{GMm}{r^2} \mathbf{e}_r \cdot d\mathbf{r}$ $W = GMm\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = -GMm\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$ Dimana r_1 dan r_2 adalah jarak radial partikel pada awal dan akhir dari lintasan.

Representasi Gambar



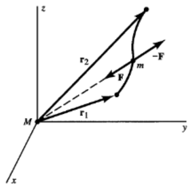


Gambar 6.12 Energi Potensial di Bidang Gravitasi: Potensi Gravitasi, kerja partikel uji secara bidang gravitasi

Representasi Verbal	Representasi Matematis
❖ **Konsep :**Gaya Sentral	Gaya Sentral

❖ **Definisi konsep:** Menempatkan partikel massa M pada asal sistem koordinat. Karena gaya F pada partikel uji Gaya F pada partikel uji diberikan oleh F**.**	$\mathbf{F = -(GMm/r^2)e_r}$

Representasi Gambar

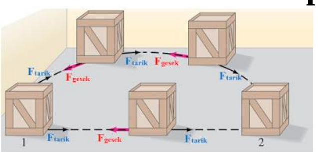


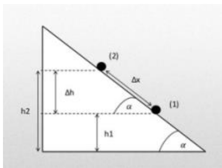
Gambar 6.13 Partikel massa M pada asal sistem koordinat

Energi Potensial di Pusat

Representasi Verbal	Representasi Matematis
❖ **Konsep : Gaya Konservatif** ❖ **Definisi konsep;** Gaya dimana usaha tidak bergantung pada lintasan dan besarnya. Sifat **gaya konservatif** adalah : Tidak bergantung pada lintasan. Bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir.	W = Δ EM (EP+ EK)

Representasi Gambar

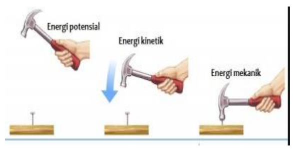


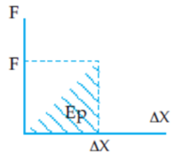


Gambar 6.14 Sebuah peti ditarik pada permukaan lantai dari posisi 1 ke posisi 2 melalui dua jalur yang berbeda.

Representasi Verbal	Representasi Matematis
❖ Energi pontensial adalah *energi* yang memperngaruhi benda karena posisi (ketinggian)	$F = f_{(r)}\, er$ $V(r) = -\int_{r_{ref}}^{r} \mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = -\int_{r_{ref}}^{r} f(r)dr$

Representasi Gambar





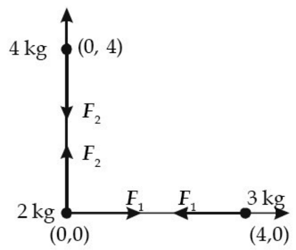
Gambar 6.15 Energi Potensial

Representasi Tabel

Tiga benda homogen masing-masing dalam sistem koordinat Cartesius dengan satuan meter.

Massa (Kg)	Koordinat (m)
$m_1 = 2$	**(0,0)**
$m_2 = 3$	**(4,0)**
$m_3 = 4$	**(0,4)**

Representasi Grafik



6.8 Orbit di dalam bidang persegi.

Jenis yang paling penting dari bidang utamanya adalah bahwa di mana gaya bervariasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak radial :

$$\int(r) = -k/r^2$$

dalam persamaan di atas, karena kita telah menyertakan tanda minus, konstanta proporsi ality k adalah positif untuk kekuatan yang menarik, dan sebaliknya. seperti yang telah kita lihat dalam bagian 6.2, k = GMm untuk medan gravitasi. (Dalam bab ini, kita akan selalu assumo bahwa sumber lapangan tetap tetap pada titik asal. Yang sedikit modifikasi memerlukan ketika sumber adalah massa terbatas dan karena itu tidak tetap akan diperlakukan dalam bab 7. persamaan orbit (persamaan 6.25) menjadi

$$\frac{d2u}{d\theta^2} + u = \frac{m}{mh^2} \quad (6.28)$$

untuk menyelesaikan

$$U = A\cos(\theta - \theta_0) + \frac{k}{mh^2}$$

Atau

$$r = \frac{1}{A\cos(\theta - \theta_0) + k/mh^2} \quad (6.29)$$

Integral yang konstan A dan θ_0 adalah determinasi yang berasal dari kondisi inisial. Nilai dari θ_0 yaitu hasil dari determinasi pada orbit , jadi kita dapat tanpa menghilangkan keumuman dari tolak pada sebuah orbit , pilihlah θ_0 lalu

$$r = \frac{1}{A\cos\theta + k/mh^2} \qquad (6.30)$$

Ini adalah persamaan polar pada sebuah orbit .ini adalah persamaan bagian conic (elips, parabola atau hyperbola) dengan terfokus pada keaslian. Persamaan dapat ditulis dengan dengan standar (lihat appendix C):

$$r = r_0\frac{1+e}{1+e\cos\theta} \qquad (6.31)$$

Dimana

$$e = \frac{Amh^2}{k} \qquad (6.32)$$

Dan

$$r_0 = \frac{mh^2}{k(1+e)} \qquad (6.33)$$

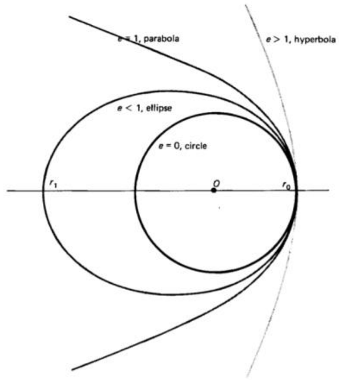
Nilai e yang konstan dapat disebut eksentrik .penurunan bentuk , penggambaran dari figur 6.6 untuk nilai konstan ;

$e < 1$ ellipse
$e = 0$ putaran circle (spesial bentuk elips)
$e = 1$ parabola
$e > 1$ hiperbola

dari persamaan 6.31, r_0 adalah nilai r untuk θ . nilai dari r untuk elip orbit adalah $\theta = \pi$ diberikan dari

$$r_1 = r_0\frac{1+e}{1-e} \qquad (6.34)$$

Dalam referensi untuk orbit elips dari planet ke matahari, dengan jarak r_0 disebut dengan perihelium jarak (tertutup menuju matahari) dan jarak r_1 disebut aphelium jarak, (menuju matahari) . pada jarak untuk menuju orbit bulan ke bumi dan orbit bumi satelit disebut perigee dan apogee jarak.



Gambar 6.6

Eksentrisitas orbital dari planet yang terlihat kecil (lihat tabel 6.1, sdan bagian 6.11,) sebagai contoh orbit bumi e = 0.017 , r_0 =91.000.000 mil dan r_1 = 95.000.000 miles. Dan dilain tangan , sebuah comet pada umumnya mempunyai orbital yang sangat besar eksentrisitas (untuk orbit tinggi) . halley komet mempunyai nilai eksentrisitasnya 0.967 dengan perihelium jatak yaitu 55.000.000 mil. Yang mana aphelium mengorbit pada neptunus .banyak komet (dengan berbagai tipe) mempunyai parabola dan hiperbola orbit.

Parameter orbital dari kondisi dari pendekat terdekat

Dari persamaan 6.33 kita dapat menemukan eksentrisiknya dapat kita tunjukan

$$e = \frac{mh^2}{kr_0} - 1 \qquad (6.35)$$

segera v_0 dengan kecepatan partiket pada θ = θ , lalu dari definisi tersebut memiliki h konstan , maka kita dapatkan

$$h = r^2\theta = r_0{}^2\theta_0 = r_0v_0$$

eksentrisitas yang diberikan oleh

$$e = \frac{mr_0v_0{}^2}{k} - 1 \qquad (6.35a)$$

untuk orbit melingkar (e = 0) kita memiliki kemudian k = $mr_0v_0{}^2$or

$$\frac{k}{r_0{}^2} = \frac{mv_0{}^2}{r_0} \qquad (6.36)$$

sekarang mari kita menunjukkan kuantitas k /mr_0 sehingga vr^2 jika v_0 = v_c , orbit adalah sebuah lingkaran. ekspresi eksentrisitas, persamaan 6.35, dapat ditulis untuk $v_0 \geq v_c$

$$e = ({}^{v_0}/_{v_c})^2 - 1 \qquad (6.37)$$

Dan dari persamaan orbit tersebut dapat kita tulis

$$r = r_0 \frac{(^{v_0}/_{v_c})^2}{1 + \left[\left(^{v_0}/_{v_c}\right)^2 - 1\right] \cos\theta} \tag{6.38}$$

Maka nilai dari r_1 dapat kita tulis dalam aturan θ= π, lalu

$$r_1 = r_0 \frac{(^{v_0}/_{v_c})^2}{2 - (^{v_0}/_{v_c})^2}$$

(catatan dari persamaan 6.38 dapat dikatakan valid jika, yang mana $v_0 < v_c$ yang mana bentuknya $r_1 < r_0$dan eksentrik yang diberikan dari e = 1 – $(v_0 < v_c)^2$, dan Θ_0 = π di dalam persamaan 6.29

Contoh

6.6 a. Di dalam daerah gravitasi bumi diketahui k =GMm yang mana m_r itu adalah massa relatif dari bumi lalu untuk orbit bumi yang mempunyai satelit yaitu

$$v_r{}^2 = \frac{k}{mr_0} = \frac{GM_r}{r_0}$$

Sekarang di point contoh 2.3 hasil dari Gm_r dapat kita temukan secara simpel dari persamaan gravitasi buminya yaitu mg = $Gm_r m / r_0^2$ atau $GM_r = gr_0^2$ diamna R, adalah jarak dari bumi, dapat kita ketahui kecepatan putaran dari orbit adalah

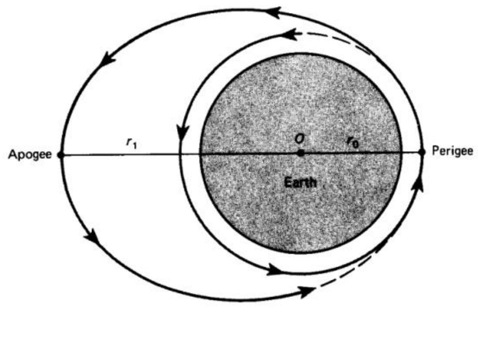
$$v_r = (\frac{gR^2}{r_0})^{\frac{1}{2}}$$

Didalam partikulasi , untuk satelit orbit circle sangat dekat dengan bumi , jadi kecepatan bumi dapat dikatakan

$$r = (gR)^{1/2} = (9{,}8 \text{ m}s^{-2} \times 6{,}4 \times 10^{-6} m)^2 = 7{,}920\ ^{m}/_{s}$$

atau 8km/s

b. Sebuah roket satelit pergi melintasi garis circle orbit bumi yang berada pada jarakr_0. Ledakan tiba-tiba motor roket meningkatkan kecepatan sebesar 15%. menemukan pertanyaan yang baru



Gambar 6.7

orbit dan menghitung jarak apogee, biarkan $v_c$menjadi kecepatan dalam orbit lingkaran dan membiarkan v_0 menjadi kecepatan awal yang baru; itu adalah

$$v_0/v_c = 1{,}15$$

Dari persamaan 6.38 , orbit baru dapat dibaca

$$\mathrm{r} = r_0 \frac{1{,}3225}{1+0{,}3225\ \cos\theta}$$

Dan jarak dari apogee adalah

$$r_1 = r_0 \frac{1{,}3225}{2-\ 1{,}3225} = 1{,}95 r_0$$

Orbit dapat ditunjukan di dalam persamaan 6.7.

6.9 Energi Orbital dalam Terbalik Bidang Persegi

Sejak potensial energi fungsi v(r) untuk bidang persegi terbalik medan gaya maka berikan

$$\mathrm{V(r)} = -\frac{k}{r} = -\ \mathrm{ku}$$

Energi dari persamaan orbit dari persamaan 6.27, lalu terbaca

$$\frac{1}{2}\mathrm{m}h^2 \left[\left(\frac{du}{d\theta}\right)^2 +\ u^2\right] - \mathrm{ku} = \mathrm{E}$$

atau, setelah memisahkan variabel,

$$d\theta = \left(\frac{2E}{mh^2} + \frac{2ku}{mh^2} -\ u^2\right)^{-1/2} du$$

Setelah intergrasi , kita temukan

$$\theta = sin^{-1}\left[\frac{mh^2u - k}{(k^2 + 2Emh^2)^2}\right] + \theta_0$$

Dimana θ_0 itu adalah konstan dari intergrasi , jika kita masukan θ_0= -π/2 dan penyelesaian dari μ, kita temukan

$$\mathrm{u} = \frac{k}{\mathrm{m}h^2}\left[1 +\ (1 + 2E\mathrm{m}h^2k^{-2})^{1/2 \cos\theta}\right]$$

Atau

$$r = \frac{mh^2k^{-1}}{1+ (1+2Emh^2k^{-2})^{1/2} \cos\theta}$$
(6.39)

ini adalah persamaan polar orbit. jika kita bandingkan dengan persamaan 6.31 dan 6.32 kita melihat bahwa eksentrisitas yang diberikan oleh

$$e = (1 + 2Emh^2k^{-2})^{1/2}$$
(6.40)

ungkapan di atas eksentrisitas memungkinkan kita untuk mengklasifikasikan orbit sesuai dengan total energi E sebagai berikut

< 0
$E = 0$
$E > 0$
$e < 1$
$e = 1$
$e > 1$
Orbit tertutup (elips)
Orbit parabola
Orbit hiperbola

Sejak E = T +V adalah konstan , maka orbit yang tertutup untuk yang mana T <$|v|$. dan orbit yang terbuka dapat dituliskan T ≥ $|v|$

Didalam gravitasi matahari area memiliki nilai konstan k = GMm dimana M adalah massa matahari dan m adalah massa dari tubuh. Maka total energi dapat ditulis

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} = E = \text{konstan}$$

sehingga orbit yang elips, parabola, atau hiperbola tergantung pada apakah v^2 kurang dari, sama dengan, atau lebih besar dari kuantitas 2GM / r, masing-masing.

Contoh

6.7 Komet yang diamati memiliki kecepatan v_{komet} ketika jarak r_{komet} dari matahari tersebut. dan arah gerak membentuk sudut dengan vektor radius dari matahari. Angka 6,8 menemukan eksentrisitas orbit komet
Penyelesaian:
Untuk menggunakan formula untuk eksentrisitas , persamaan 6.40 kita membutuhkan sudut momentum konstan h . maka kita berikan

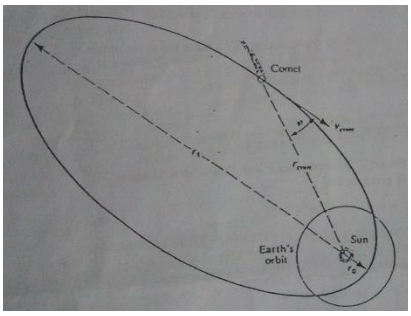
$$h^2 = |r \times v|^2 = (r_{komet} v_{komet} \sin\varphi)^2$$

Eksentrisitas , sebelumnya memiliki nilai

$$e = \left[1 + \left(v^2 - \frac{2GM}{r}\right)\left(\frac{r_{komet} v_{komet} \sin\varphi}{GM}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

dicatat bahwa m massa komet membatalkan. sekarang produk GM dapat dinyatakan dalam hal kecepatan bumi v_e dan orbital radius a_e (dengan asumsi orbit lingkaran), yaitu

$$GM = a_e v_e^2$$



Gambar 6.8

ungkapan di atas untuk eksentrisitas kemudian menjadi

$$e = \left[1 + \left(v^2 - \frac{2}{R}\right)(RV \sin\varphi)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Dimana kita mempunyai pekenalan dari dimensi rasio

$$v = \frac{v_{komet}}{v_r} \qquad R = \frac{r_{komet}}{a_r}$$

yang menyederhanakan perhitungan e

sebagai contoh numerik, biarkan v menjadi salah satu setengah kecepatan bumi, biarkan r menjadi empat kali bumi - matahari jarak, dan θ= 30°, maka v = 0,5 dan R = 4 sehingga eksentrisitas

$$e = [1 + (0{,}25 - 0{,}5)(4 \times 0{,}5 \times 0{,}5)^2]^{\frac{1}{2}} = 0{,}75^{\frac{1}{2}} = 0{,}866$$

untuk elips kuantitas $(1 - e2)^{-1/2}$ adalah sama dengan rasio utama sumbu (panjang) ke minor (pendek) axis. untuk orbit komet dalam contoh ini rasio ini adalah $(0{,}75)^{-1/2}$ = 2. atau 2: 1, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.8

Persamaan Energi tengah Orbit (pusat orbit)

Representasi Verbal

- ❖ **Konsep :** Energi di pusat orbit
- ❖ **Definisi konsep:**
- ❖ Kuadrat kecepatan diberikan dalam koordinat polar

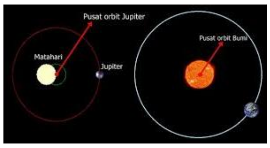
Representasi Matematis

Energi di pusat orbit

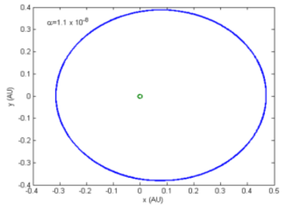
$$\mathbf{v}\cdot\mathbf{v} = v^2 = \dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2$$

$$\frac{1}{2}ml^2\left[\left(\frac{du}{d\theta}\right)^2 + u^2\right] + V(u^{-1}) = E$$

Representasi Gambar/Diagram



Gambar 6.16 Pusat Orbit Planet



Grafik 6.17 Lintasan orbit pada Planet

Energi Orbital dalam bangun Persegi

Representasi Verbal

- ❖ **Konsep:** Medan gravitasi
- ❖ **Definisi konsep:**

  Medan yang menyebabkan suatu benda bermassa mengalami gaya gravitasi. Medan ini dibangkitkan oleh suatu benda bermassa.

Representasi Matematis

Didefinisikan secara rumus matematis sebagai besar gaya tarik dibagi massa benda.

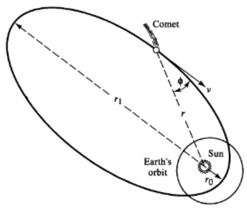
$E < 0$	$\epsilon < 1$
$E = 0$	$\epsilon = 1$
$E > 0$	$\epsilon > 1$

Orbit Elips, parabola dan hiperbolik Karena E = T + V dan konstan, orbitnya tertutup

Eksentrisitas orbit komet

$$\epsilon = \left[1 + \left(V^2 - \frac{2}{R}\right)(RV\sin\phi)^2\right]^{1/2}$$

Representasi Gambar/Diagram



Grafik 6.18 lintasan orbit planet

6.10 batas gerakan radial. potensial yang efektif

Kita dapat melihat bahwa momentum sudut dari sebuah partikel yang berpindah adalah setiap bidang pusat isotropik adalah konstan gerak, seperti yang diungkapkan oleh persamaan 6.19 dan 6.20 mendefinisikan i fakta ini memungkinkan kita untuk menulis persamaan energi umum 6,26 dalam bentuk berikut

$$\frac{m}{2}\left(r^2 + \frac{h^2}{r^2}\right) + \text{v(r)} = \text{E}$$

Atau

$$\frac{m}{2}r^2 + \text{U(r)} = \text{E} \qquad (6.41)$$

Yang mana

$$\text{U(r)} = \frac{mh^2}{2r^2} + \text{v(r)} \qquad (6.42)$$

fungsi u (r) didefinisikan di atas disebut potensial efektif. Istilah $mh^2/2r^2$ kadang-kadang disebut "potensial sentrifugal". melihat persamaan 6.41 kita melihat bahwa, sejauh gerakan radial yang bersangkutan, partikel berperilaku dengan cara yang persis sama sebagai partikel massa m bergerak dalam satu gerakan dimensi bawah funcation energi potensial U(r). Seperti dibagian 3.3 di mana kita bahas gerak hrmonic, batas gerak radial (titik balik) diberikan dengan menetapkan r = 0 dalam persamaan 6.41. Oleh karena itu batas-batas ini adalah akar dari persamaan

$$\text{U(r)} - \text{E} = 0 \qquad (6.43)$$

Atau

$$\frac{mh^2}{2r^2} + \text{v(r)} - \text{E} = 0 \qquad (6.43a)$$

Selanjutnya, nilai-nilai yang diizinkan r adalah mereka yang U(r) < E, karena r^2 adalah selalu positif atau nol.

Dengan demikian adalah mungkin untuk menentukan rentang gerak radial tanpa mengetahui apa-apa tentang orbit. sebidang u (r) ditunjukkan pada Gambar 6.9. juga yang ditampilkan batas radial r0 dan r1 untuk nilai tertentu dari total energi E. grafik diambil untuk kebalikannya hukum kuadrat, yaitu

$$U(r) = \frac{mh^2}{2r^2} - \frac{k}{r}$$
(6.44)

dalam persamaan kasus 6.43 menata ulang hal menjadi

$$-2Er^2 - 2kr + mh^2 = 0$$

Yang mana persamaan kuadrat r, masuakan dua persamaan

$$r_{1,0} = \frac{k \pm \left(k^2 + 2Emh^2\right)^{\frac{1}{2}}}{-2E}$$
(6.45)

memberikan maksimum (atas tanda) dan minimum (tanda lebih rendah) nilai dari r jarak radial bawah terbalik - hukum kuadrat kekuatan. karena energi E adalah kuantitas negatif untuk semua orbit terikat, dua akar keduanya positif, seperti yang seharusnya.

Sekarang kami telah telah menunjukkan bahwa ditutup orbit di bawah terbalik hukum kuadrat yang elips yang 2a sumbu utama adalah jumlah $r_1 + r_0$ demikian, dengan menambahkan dua akar di atas, kita memiliki

$$2a = r_1 + r_0 = \frac{k}{-E}$$
(6.46)

hasilnya menunjukkan bahwa nilai a, maka sumbu semi-mayor, ditentukan sepenuhnya oleh kekuatan k konstan dan energi total E.

contoh

6.8 Temukan semi major sumbu dalam sebuah orbit komet pada contoh 6.7

Penyelesaian :

Persamaan 6.46 kita berikan

$$a = \frac{k}{-2E} = \frac{GMm}{-2\left(\frac{mv_{komet}{}^2}{2} - \frac{GMm}{r_{komet}}\right)}$$

Dimana m adalah massa komet. jelas m lagi membatalkan. juga seperti disebutkan di atas GM = $a_e v_e^2$, sehingga hasil akhir adalah ekspresi sederhana

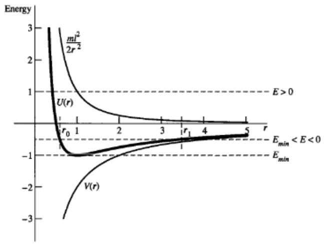
$$a = \frac{a_r}{\frac{2}{R} - v^2}$$

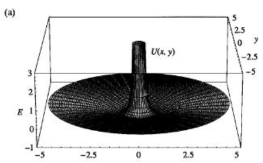
Dimana R and V adalah definisi dari rumus sebelumnya .

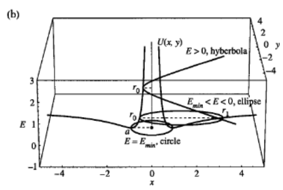
Untuk penomoran sebelumnya nilai R = 4 dan V = 0.5 , kita temukan a = a_r (0.5 – $(0.5)^2$) = $4a_r$

Dua contoh di atas membawa keluar fakta penting, yaitu bahwa parameter orbital yang indepedent dari massa tubuh. Diberikan kecepatan posisi yang sama awal dan arah gerakan. Sebutir pasir, sebuah pesawat ruang angkasa meluncur atau komet akan semua telah orbit yang identik dengan syarat tidak ada badan lain datang cukup dekat untuk memiliki mempengaruhi gerak tubuh. (Kami juga menganggap tentu saja, bahwa massa tubuh yang dimaksud adalah kecil dibandingkan dengan massa matahari).

<table>
<tr><td colspan="2">6.11 Batasan Gerak Radial: Potensi yang Efektif</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal

Konsep : Gerak Radial
Definisi konsep :
Gerak Radial maksudnya dalam arah jari-jari. Dari pusat lingkaran ke arah luar disebut Sentrifugal. Dari luar ke arah pusat lingkaran.</td><td>Representasi Matematis
$\frac{m}{2}\left(\dot{r}^2 + \frac{l^2}{r^2}\right) + V(r) = E$
$\frac{m}{2}\dot{r}^2 + U(r) = E$
$U(r) = \frac{ml^2}{2r^2} + V(r)$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Representasi Gambar/Diagram


Gambar 6.19 Potensi efektif untuk hukum kuadrat terbalik dari gaya dan batasan gerak radial</td></tr>
<tr><td>Representasi Verbal
Konsep : Potensial efektif
Definisi Konsep:
Potensi efektif untuk hukum kuadrat Gaya dan batas gerak radial.
Dimana nilainya adalah positif. gaya atau arah putaran sudut adalah sentrifugal.</td><td>Representasi Matematis
$E_{min} = -\frac{k^2}{2ml^2}$
$r_0 = -\frac{k}{2E_{min}}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Representasi Gambar/Diagram


(a)


(b)
Gambar 6.20 (a) Potensi efektif untuk inverse- yang persegi hukum yang berlaku di dua dimensi. (b) Hubungan antara Total F energi, potensi efektif, dan orbit yang dihasilkan.</td></tr>
</table>

6.11 Waktu Periodik Gerak Orbital

pada bagian 6.6 kita menunjukkan bahwa kecepatan sebuah areal dari partikel yang bergerak dalam bidang pusat adalah konstan. karena itu. dari persamaan 6.16 dan 6.20, waktu T_{12} diperlukan untuk sebuah partikel bergerak dari satu titik p1 ke titik p2 lainnya (gambar 6.10) diberikan oleh

$$t_{12} = \frac{A_{12}}{A} = A_{12}\frac{2m}{L} = A_{12}\frac{2}{|h|}$$

Dimana A_{12}adalah area menyapu oleh vektor radius antara P_1dan P_2.

Mari kita menerapkan hasil di atas untuk kasus seorang elips adalah πab, di mana a dan b adalah sumbu semimayor, masing-masing, maka waktu t diperlukan untuk partikel untuk menyelesaikan satu jalur orbit diungkapkan oleh

$$r = \frac{2\,\pi ab}{h}$$

Tetapi untuk elips (lihat tambahan dari C)

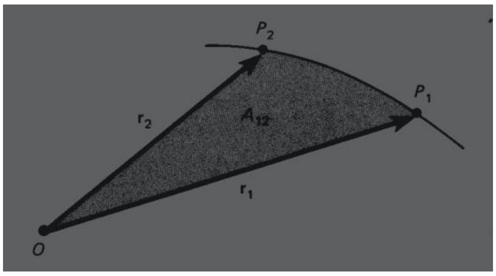
$$\frac{b}{a} = \sqrt{1-e^2}$$

Dimana e adalah ekstrensik. Maka kita dapat kita tuliskan

$$r = \frac{2\pi a^2}{h}\sqrt{1-}\,e^2$$

Selanjutnya, jika kita merujuk pada persamaan 6.33 dan 6.34 kami menemukan bahwa sumbu utama diberikan oleh

$$2a = r_0 + r_1 = \frac{mh^2}{k}\left(\frac{1}{1+e} + \frac{1}{1-e}\right) = \frac{2mh^2}{k\,(1-e^2)}$$



Gambar 6.10

Planet	Garis semi utama astronomi unit	Periode setiap tahunya	Eksentriksitas
Merkurius	0.387	0.241	0.206
Venus	0.723	0.615	0.007

Bumi	1.000	1.000	0.017
Mars	1.524	1.881	0.093
Jupiter	5.203	11.86	0.048
Saturnus	9.539	29.46	0.056
Uranus	19.19	84.02	0.047
Neptunus	30.06	164.8	0.009

oleh karena itu kita dapat mengekspresikan periode sebagai

$$r = 2\pi \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{1}{2}} a^{\frac{3}{2}}$$

(6.46)

oleh karena itu kita dapat mengekspresikan periode sebagai ukuran orbital.

karena untuk planet atau siapa pun, dari bergerak massa di gravitasi berjemur. bidang, k = GMm, kita dapat menulis untuk periode gerak orbital.

$$r = ca^{\frac{3}{2}}$$

(6.47a)

Dimana e = $2\pi(GM)^{-1/2}$. Jelas, e adalah sama untuk semua planet. persamaan 6.47a adalah pernyataan matematis dari hukum ketiga kepler ini. jika dinyatakan dalam satuan astronomi (93.000.000 mil = a_{bumi} = 1 unit astronomi) dan T adalah tahun, maka unit numerik, dan eksentrisitas orbit planet-planet dari tata surya. perhatikan mars, dalam rangka penurunan eksentrisitas

Contoh

6.9 Temukan periode dari komet pada 6.8

Penyelesaian :

Gunakan hasil sebelumnya a = $4a_r$ = 4 a.u (astronomi unit) selalu memenuhi persamaan 6.47a dengan e = 1 kita dapat temukan

$$r = 4^{\frac{3}{2}} \text{ yr} = 8$$

sebenarnya ada sekitar 20 komet dalam tata surya yang memiliki periode sekitar nilai ini (5 - 10 tahun) mereka disebut faily jupiter untuk komet karena aphelion semua dekat dengan orbit jupiter ini. dan periode mereka kira-kira setengah dari periode jupiter mengelilingi matahari (komet halley bukanlah keluarga anggota jupiter ini).

6.11 Batasan Gerak Radial: Potensi yang Efektif

Representasi Verbal

Konsep : Gerak Radial
Definisi konsep :
Gerak Radial maksudnya dalam arah jari-jari. Dari pusat lingkaran ke arah luar disebut Sentrifugal. Dari luar ke arah pusat lingkaran.

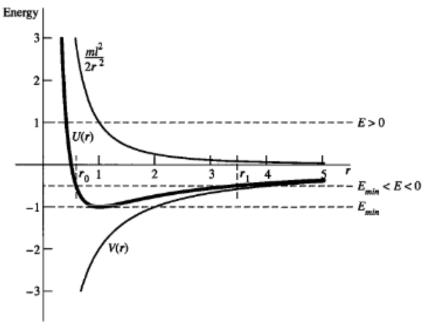
Representasi Matematis

$$\frac{m}{2}\left(\dot{r}^2 + \frac{l^2}{r^2}\right) + V(r) = E$$

$$\frac{m}{2}\dot{r}^2 + U(r) = E$$

$$U(r) = \frac{ml^2}{2r^2} + V(r)$$

Representasi Gambar/Diagram



Gambar 6.19 Potensi efektif untuk hukum kuadrat terbalik dari gaya dan batasan gerak radial

Representasi Verbal

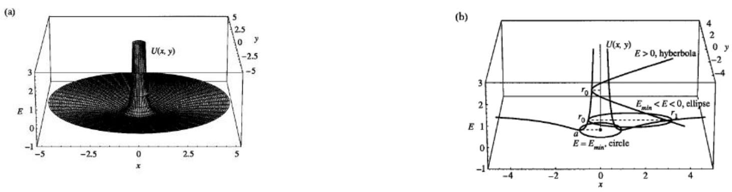
Konsep : Potensial efektif
Definisi Konsep:
Potensi efektif untuk hukum kuadrat Gaya dan batas gerak radial.
Dimana nilainya adalah positif. gaya atau arah putaran sudut adalah sentrifugal.

Representasi Matematis

$$E_{min} = -\frac{k^2}{2ml^2}$$

$$r_0 = -\frac{k}{2E_{min}}$$

Representasi Gambar/Diagram



(a) (b)

Gambar 6.20 (a) Potensi efektif untuk inverse- yang persegi hukum yang berlaku di dua dimensi. (b) Hubungan antara Total F energi, potensi efektif, dan orbit yang dihasilkan.

6.12 Gerak Partikel Atom

Ada aplikasi fisik penting yang melibatkan gerak partikel dalam bidang pusat di mana hukum berlaku adalah kebalikannya - jenis persegi gaya tolak , yaitu defleksi tinggi partikel atom kecepatan (proton, partikel alpha, dan sebagainya) dengan inti bermuatan positif atom. penyelidikan dasar yang mendasari knowladge kita sekarang struktur atom dan nuklir hamburan percobaan, yang pertama dilakukan oleh Inggris fisikawan tuan rutherford di bagian awal abad ini mempertimbangkan partikel muatan q dan massa m (insiden tinggi kecepatan partikel) yang melintas dekat partikel berat muatan q (inti, diasumsikan tetap) partikel insiden ditolak dengan kekuatan yang diberikan oleh hukum Colomb ini:

$$\int(r) = \frac{Qq}{r2}$$

dimana posisi Q diambil menjadi asal. (Kita akan menggunakan egs unit elektrostatik untuk Q dan q. Kemudian r adalah dalam sentimeter, dan gaya adalah dalam dyne.) Persamaan diferensial dari orbit kemudian mengambil bentuk

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = -\frac{Qq}{mh^2}$$

Dan lalu persamaan pada orbit tersebut

$$u^{-1} = r = \frac{1}{A\cos(\theta_{0-}\theta) - Qq/mh^2}$$

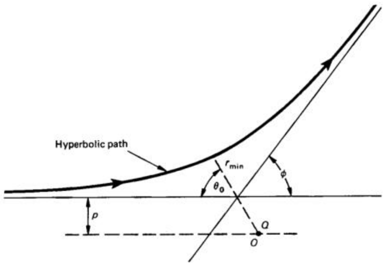
Kita dapat menuliskan persamaan pada orbit dengan bentuk persamaan 6.39 , dengan

$$r = \frac{mh^2Q^{-1}q^{-1}}{-1+(1+2Emh^2\,Q^{-2}q^{-2})^{1\backslash 2}\cos(\,\theta_0-\theta)} \qquad (6.48)$$

Sejak k = -Qq. Dan orbitnya adalah hiperbola. Kita temukan fakta fisika mengenai energy E yang sealu mulai dari 0 pada suatu titik daerah energy. (maka energy dapat dirumuskan $E = ½\ mv^2 + Qq/r$. maka eksentrisitas e, yang koefisien dari cos (θ - θ_0), adalah Greter dari kesatuan, yang berarti bahwa menjadi orbit harus hiperbolik.

Insiden partikel pendekatan sepanjang satu asymplole dan surut sepanjang lainnya, seperti pada gambar 6.11. kita telah memilih arah sumbu kutub sehingga posisi awal partikel adalah $\theta = \theta$, r =. jelas dari salah satu dari dua persamaan dari orbit yang r mengasumsikan nilai minimum ketika cos (θ - θ $_0$) = 1, yaitu, ketika θ = 0, karena r = ∞ saat $\theta = \theta_0$,maka r juga terbatas saat $\theta = 2\,\theta_0$ maka sudut antara dua asimtot dari jalur hiperbolik adalah $2\,\theta_0$, dan sudut θ, melalui mana partikel insiden dibelokkan diberikan oleh

$$\theta_s = \pi - 2\theta_0$$



Gambar 6.11

Selanjutnya, dalam persamaan 6.48 denominator di sebelah kanan hilang pada θ = θ dan θ = 2 θ_0, sehingga

$$-1 + (1 + 2Emh^2Q^{-2}q^{-2})^{1/2} \cos \theta_0 = 0$$

Dari pernyataan diatas, kita dapat menemukan

$$\tan \theta_0 = (2Em)^{1/2}\, hQ^{-1}q^{-1} = \cot \frac{\theta_0}{2} \qquad (6.49)$$

langkah terakhir mengikuti dari hubungan sudut yang diberikan di atas.

Dalam menerapkan persamaan di atas untuk hamburan masalah, akan lebih mudah untuk mengekspresikan h konstan dalam hal kuantitas lain b disebut parameter dampak. Parameter dampak adalah jarak tegak lurus dari titik asal (hamburan pusat) ke garis awal gerak partikel, Seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.11 kami kemudian memiliki

$$|h| = |r\ x\ v| = bv_0$$

dimana v_0 adalah kecepatan awal partikel. Kita tahu juga bahwa energi E adalah konstan dan sama dengan energi kinetik awal $1/2mv_0^2$, karena energi potensial awal adalah nol ($r = \infty$). Sesuai, kita dapat menulis rumus hamburan, persamaan 6.49. dalam bentuk

$$\cot \frac{\theta_0}{2} = \frac{bmv_0^2}{Qq} = \frac{2bE}{Qq} \qquad (6.50)$$

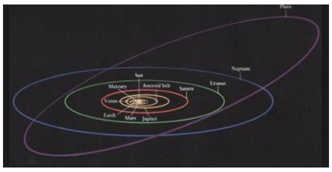
memberikan relantionship antara sudut hamburan parameter dampak.

Dalam percobaan hamburan khas bem partikel yang diproyeksikan target, seperti foil tipis. inti atom sasaran adalah pusat hamburan fraksi.

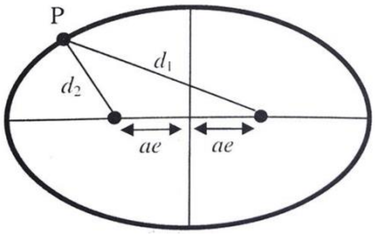
6.12 Orbit orbit di Tengah Bidang : Stabilitas

Representasi Verbal	Representasi Matematis
Konsep : orbit di tengah bidang **Definisi konsep** : Orbit melingkar di bawah gaya sentral yang atraktif.Gaya sentral bergerak dalam orbit melingkar yang stabil.	Gaya sentral bergerak dalam orbit melingkar $$m\ddot{r} = \frac{ml^2}{r^3} + f(r)$$ $$-\frac{ml^2}{a^3} = f(a)$$

Representasi Gambar/Diagram



(a)



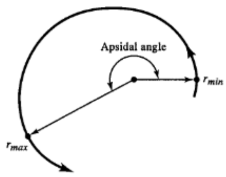
(b)

Gambar 6.21 (a) Gaya sentral dengan orbit yang stabil (b) orbit planet berbentuk elips

6.13. Sudut Apsides dan Apsidal untuk orbit orbit yang hampir melingkar(melengkung)

Representasi Verbal	Representasi Matematis
Konsep : Sudut Apsides dan Apsidal **Definisi konsep :** titik di orbit di mana vektor radius mengasumsikan nilai ekstrim (maksimum atau minimum).	Sudut Apsides dan Apsidal untuk orbit orbit yang hampir melingkar/melengkung: $$\tau_r = 2\pi\left[\frac{m}{-(3/a)f(a) - f'(a)}\right]^{1/2}$$

Representasi Gambar/Diagram



Gambar 6.22 Menggambarkan sudut apsidal

<table>
<tr><td colspan="2">6.14 Gerak dalam Inverse-Square RepulsiveField: Hamburan Partikel Alpha</td></tr>
<tr><td>

Representasi Verbal

Konsep : Gerak dalam Inverse-Square (Hukum kuadrat terbalik)
Definisi konsep:
Medan gaya dari partikel bermuatan lain.jarak tegak lurus dari titik asal (hamburan pusat) ke garis awal gerak partikel.

Setiap hukum fisika yang menyatakan bahwa kuantitas fisik tertentu atau intensitas berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber yang kuantitas fisik.

</td><td>

Representasi Matematis
invers-squarerepulsif dari partikel bermuatan

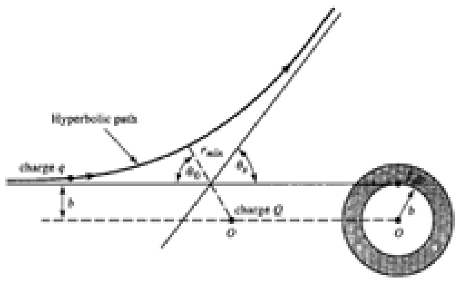
$$f(r) = \frac{Qq}{r^2}$$

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = -\frac{Qq}{ml^2}$$

$$u^{-1} = r = \frac{1}{A\cos(\theta - \theta_0) - Qq/ml^2}$$

</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Representasi Gambar/Diagram



Gambar 6.23 Jalur hiperbolik (orbit) partikel bermuatan bergerak di medan gaya

</td></tr>
</table>

RANGKUMAN

1. Sebuah gaya yang baris aksi melewati titik tunggal atau Pusat disebut Pusat gaya. Jika besarnya gaya hanya bergantung pada jarak dari Pusat dan bukan pada arah, hal ini disebut isotropik.
2. Pusat gaya terpentingdalam fisika seperti gaya gravitasi, gaya elektrostatik, dan lainnya. Gaya interaksi antara fundamenal partikel alam sebagian besar dalam arti bahwa, untuk dua partikel, baik partikel bertindak sebagai Pusat gaya untuk lainnya.
3. Gaya gravitasi di bumi pada partikel di atas permukaan bumi adalah inversel. sebanding dengan kuadrat dari partikel jarak dari Pusat bumi: bumi menarik seolah-olah semua massaterkonsentrasi pada satu titik
4. invers persegi hukum gaya menyebabkan terbalik pertama kuasa hukum untuk energi potensial fungsi. Dalam bagian ini kita akan mendapatkan ini sama hubungan yang lebih fisik cara.
5. Untuk menghitung energi potensial fungsi, diberikan kekuatan fungsi. sebaliknya, jika kita tahu potensial energi fungsi. Jika kita tahu fungsi potensial energi kita memiliki

   f(r) = $-\frac{dv\ (r)}{dr}$
6. Gaya F bertindak pada radius vektor r. maka produk silang r $\times F$ lenyap pada saat ada nol. Akibatnya untuk setiap pusat

   $\frac{dL}{dt} = 0$
7. Hukum kepler adalah fakta bahwa planet bergerak matahari sedemikian rupa bahwa areal kecepatan adalah konstan ditemukan secara empiris oleh Johannes Kepler pada tahun 1609.
8. Persamaan diferensial dari orbit dari partikel bergerak di bawah kekuatan pusat. solusi memberikan u (maka r) sebagai funcation θ. sebaliknya, jika seseorang diberi persamaan polar orbit, yaitu, r = r (θ) u^{-1}, maka fungsi kekuatan dapat ditemukan dengan membedakan untuk mendapatkan $\frac{d^2u}{d\theta^2}$dan memasukkan ini ke dalam persamaan diferensial.
9. Orbit di dalam bidang persegi.

   Jenis yang paling penting dari bidang utamanya adalah bahwa di mana gaya bervariasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak radial : $\int(r) = -k/r^2$

10. Potensial energi fungsi v(r) untuk bidang persegi terbalik medan gaya maka berikan V(r) = -$\frac{k}{r}$ = - ku

11. Kecepatan sebuah areal dari partikel yang bergerak dalam bidang pusat adalah konstan.

LATIHAN

1. Suatu partikel bermassa m bergerak dalam ruang di bawah pengaruh potensial :

$$V(r) = Kr^4 \qquad ; \qquad K > 0$$

dimana r adalah jarak dari titik asal sumbu koordinat ke partikel tersebut.

   a. Tentukan gaya yang bekerja pada partikel ini dan periksalah apakah gaya ini bersifat konservatif atau tidak.

   b. Berapakah torka oleh gaya yang diperoleh pada soal a di atas pada partikel tersebut ? Apa yang dapat anda simpulkan mengenai pengaruh torka ini pada vektor momentum sudut dari partikel terhadap titik asal sumbu koordinat $\vec{L}$? Dari kesimpulan ini, apa yang bisa anda katakan mengenai lintasan partikel ini ?

   c. Tentukan persamaan gerak partikel dan tuliskan pernyataan energi mekanik sistem ini.

   d. Bila lintasan partikel berupa lingkaran dengan jari-jari a, tentukan besarnya momentum sudut dan energi mekanik partikel ini. Hitung pula perioda dari gerak melingkar ini.

2. Terhadap sebuah partikel yang bermassa m bekerja gaya sebagai berikut : $\vec{F}(\vec{r}) = F(r)\hat{r}$, dimana $\vec{r}$ adalah vektor posisi dari titik asal sumbu koordinat ke suatu titik yang berjarak r.

   a. Periksalah apakah gaya ini adalah gaya konservatif. Tentukanlah torka $\vec{\tau}$ yang bekerja pada partikel tersebut. Apa konsekuensi dari torka yang bekerja ini pada vektor momentum sudut $\vec{L}$ dari partikel tersebut ? Kesimpulan apa yang dapat ditarik bagi lintasan partikel tersebut dari pernyataan mengenai momentum sudut di atas ?

   b. Tuliskan persamaan gerak dari partikel yang dipengaruhi gaya sentral di atas. Tentukan pula besarnya vektor momentum sudut $\vec{L}$ di atas.

   c. Dari persamaan gerak bagian radial di atas (soal nomor b), dengan substitusi $u = 1/r$, tunjukkan bahwa persamaan gerak bagian radial tersebut dapat diubah menjadi persamaan yang menyatakan kebergantungan jarak r terhadap sudut polar θ :

$$\frac{\mathrm{d}^2 u}{\mathrm{d}\theta^2} = -u - \frac{m}{L^2 u^2} F(\tfrac{1}{u}) .$$

d. Dengan mengalikan persamaan gerak bagian radial di atas dengan faktor $\frac{dr}{dt}$ dan mengingat bahwa besarnya momentum sudut adalah konstan, $L = mr^2\dot{\theta}$, turunkan persamaan energi total E (yang konstan) berikut :

$$E = V(r) + \tfrac{1}{2} m\dot{r}^2 + \frac{L^2}{2mr^2} .$$

Ingat definisi energi potensial : $V(r) = -\int F(r)\, dr$.

e. Dengan substitusi $u = 1/r$, ubahlah persamaan energi di atas menjadi

$$\frac{L^2}{2m}\left(\frac{du}{d\theta}\right)^2 + \frac{L^2}{2m} u^2 + V\left(\tfrac{1}{u}\right) = E .$$

3. a. Misalkan besarnya gaya sentral yang bekerja adalah $F(r) = -K/r^3$ dengan $K > 0$. Tentukanlah potensial $V(r)$ dari gaya sentral ini. Bila besarnya momentum sudut adalah $L = mr^2\dot{\theta} \neq 0$, lukiskan grafik potensial efektif 'V'(r) terhadap r diatas dan bahas kemungkinan gerak dari partikel bermassa m tersebut bagi semua kasus nilai $K > 0$.

   b. Selesaikanlah persamaan gerak bagian radial (soal nomor 2.c), artinya carilah solusi $r(\theta)$, bagi gaya sentral $F(r) = -K/r^3$ di atas untuk semua kasus gerak yang mungkin akibat berbagai nilai $K > 0$.

4. a. Bila lintasan partikel yang dipengaruhi gaya sentran adalah lintasan spiral $r = Re^{K\theta}$ dengan R dan K adalah konstanta riil, tentukanlah bentuk eksplisit gaya yang bekerja pada partikel ini sebagai fungsi dari r.

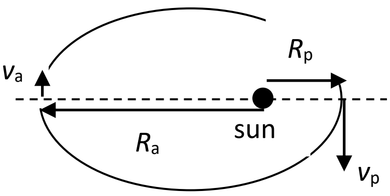
b. Dari persamaan gerak bagian sudut polar (soal nomor 2.b), tunjukkan bahwa sudut polar θ merupakan fungsi logaritmik dari waktu.

5. a. Bila gaya yang bekerja di atas memiliki kebergantungan terhadap jarak sebagai berikut $F(r) = -3Kr^2$, dimana $K > 0$, tentukan fungsi potensial yang diasosiasikan dengan gaya ini. Hitung pula energi kinetiknya dan energi mekanik totalnya.

   b. Dari persamaan energi (soal nomor 2.d) yang diperoleh dari bagian radial persamaan gerak, tentukan energi total dari partikel yang bergerak dalam lintasan lingkaran berjari-jari *R*. Tentukan pula frekuensi sudut dari gerak melingkar ini.

   c. Dengan teorema kerja-energi dan kenyataan bahwa energi total partikel adalah kekal, bila partikel awalnya diam dan berada pada jarak *a*, hitung kecepatan partikel tersebut saat mencapai lintasan lingkaran berjari-jari *b*.

6. Sebuah komet mengitari matahari dengan kecepatan 10 km/s pada titik aphelion dan 80 km/s pada titik perihelion. Jika kecepatan bumi dalam orbit lingkaran adalah 30 km/s dan jari-jari orbitnya $1{,}5 \times 10^{8}$ km. Hitung jarak aphelion dari komet (R_a). **Petunjuk** : lihat gambar di samping ini, dan hitung massa matahari dari orbit bumi (persamaan gerak).



7. Sebuah roket satelit bergerak mengeliling bumi dengan orbit lingkaran pada jari-jari r_0. Jika roket tersebut dinyalakan dalam waktu yang sangat singkat, kecepatan satelit meningkat 15 %. Tentukan persamaan orbit satelit sekarang dan tentukan jarak terjauhnya dengan bumi (*apogee*).

8. a. Komet Halley mengorbit matahari dalam orbit elips, $r = \lambda \dfrac{1+\varepsilon}{1+\varepsilon\cos\theta}$ dimana r adalah jaraknya dari matahari (berada pada titik fokus dari elips) dan θ adalah sudut vektor posisinya terhadap sumbu panjang dari elips, konstanta ε adalah eksentrisitas

orbit dan λ adalah konstanta. Komet ini memiliki perioda orbit 76 tahun dan pada tahun 1986, komet ini berada pada jarak terdekat dengan matahari, yaitu $8{,}9 \times 10^{10}$ m. Hukum Keppler menyatakan bahwa perioda kuadrat dari orbit benda tata surya sebanding dengan panjang sumbu major elips pangkat tiga. Tentukan jarak terjauh dari komet ini dari matahari. Tentukanlah eksentrisitas orbit komet ini.

b. Sebuah partikel bermassa m ditembakkan dari tak hingga dengan kecepatan V_0 sehingga bila tak ada halangan, partikel ini akan melintas pada jarak b (*impact parameter*) dari suatu titik asal. Bila pada titik asal tersebut terdapat sumber gaya tolak yang berbanding terbalik dengan jarak kuadrat, tentukanlah jarak jangkauan terdekat dari partikel ini kepada pusat gaya tersebut.

EVALUASI

Momentum Sudut dan Kecepatan Areal dari Partikel Bergerak dalam Pusat Bidang

1. Mari partikel dikenakan gaya sentral yang menarik dari bentuk f(r) di mana r adalah jarak antara partikel dan pusat gaya. Cari f (r) jika semua orbit lingkaran yang memiliki kecepatan areal identik, $\dot{A}$.
2. Sebuah partikel bergerak dalam bidang sentral pada orbit spiral

$$r = c\theta^2$$

   Tentukan fungsi gaya.

Hukum Kuadrat-Terbalik

3. Cara paling hemat energi untuk mengirim pesawat ruang angkasa ke Bulan adalah untuk meningkatkan kecepatan ketika sedang dalam orbit lingkaran tentang bumi sehingga orbit baru adalah elips. Dorongan titik adalah perigee elips, dan titik kedatangan di Bulan adalah apogee (lihat Gambar 6.5.3). Hitung persentase kenaikan kecepatan yang dibutuhkan untuk mencapai orbit seperti itu. Asumsikan bahwa pesawat ruang angkasa awalnya dalam orbit lingkaran yang rendah pada bumi. Jarak antara Bumi dan Bulan adalah sekitar $60\ R_e$, di mana R_e adalah jari-jari Bumi.

Potensial dan Bidang Cincin Tipis

4. Kami sekarang berharap untuk menemukan fungsi potensial dan intensitas medan gravitasi pada bidang cincin melingkar tipis.

KUNCI JAWABAN EVALUASI :

1. Karena orbit adalah lingkaran, akselerasi, $\ddot{r}$, tidak memiliki komponen melintang dan sepenuhnya dalam arah radial. Dalam koordinat polar, itu diberikan oleh Persamaan 1.11.10

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2 = -r\dot{\theta}^2$$

karena $\ddot{r} = 0$.Dengan demikian,

$$-mr\dot{\theta}^2 = f(r)$$

Karena kecepatan areal adalah sama untuk semua orbit melingkar, maka momentum sudut dari partikel, $L = mr^2\dot{\theta}$, juga. Mengalikan dan membagi ekspresi di atas dengan faktor, r^3, menghasilkan hubungan

$$-\frac{mr^4\dot{\theta}^2}{r^3} = -\frac{L^2}{mr^3} = f(r)$$

atau dalam hal kecepatan areal, $\dot{A} = L/2m$

$$f(r) = -\frac{4m\dot{A}^2}{r^3}$$

Oleh karena itu, gaya tarik yang semua orbit lingkaran memiliki kecepatan areal yang identik (dan momentum angular) adalah kebalikan r-kubus.

2. Kami memiliki

$$u = \frac{1}{c\theta^2}$$

dan

$$\frac{du}{d\theta} = -\frac{2}{c}\theta^{-3} \qquad \frac{d^2u}{d\theta^2} = \frac{6}{c}\theta^{-4} = 6cu^2$$

Kemudian dari Persamaan 6.5. 10b

$$6cu^2 + u = -\frac{1}{ml^2u^2}f(u^{-1})$$

Oleh karena itu,

$$f(u^{-1}) = ml^2(6cu^4 + u^3)$$

dan

$$f(r) = -ml^2\left(\frac{6c}{r^4} + \frac{1}{r^3}\right)$$

dengan demikian, gaya adalah kombinasi dari kubus terbalik dan hukum gaya terbalik-keempat.

Hukum Kuadrat-Terbalik

3. Jari-jari dan kecepatan di orbit lingkaran awal dihitung dalam Contoh 6.5.3. Radius adalah jarak perigee dari orbit baru, $r_0 = R_e$. Mari v_0 menjadi kecepatan yang diperlukan di perigee untuk mengirim craft ke apogee di $r_1 = 60\, R_e$. Karena eksentrisitas orbit melingkar awal adalah nol, kita memiliki (Persamaan 6.5.19, 6.5.21a)

$$r_0 = \frac{\propto_c}{\in +1} = \propto_c = \frac{ml_c^2}{k}$$

Tapi momentum sudut per satuan massa untuk orbit melingkar, l_c (Persamaan 6.5.4), adalah konstan dan dapat diatur sama dengan

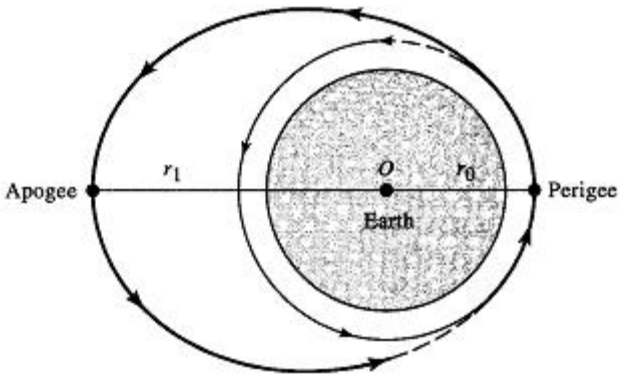
$$l_c = r^2\dot{\theta} = r_0^2\dot{\theta}_0 = r_0 v_0$$

mengganti ini ke ekspresi sebelumnya, kita memperoleh

$$r_0 = \frac{k}{mv_c^2}$$

Setelah dorongan kecepatan dari v, untuk v_0 di perigee, dari Persamaan 6.5.21a kita memperoleh orbit elips eksentrisitas yang diberikan oleh

$$\epsilon = \frac{\alpha}{r_0} - 1 = \frac{ml^2}{kr_0} - 1 = \frac{mv_0^2 r_0}{k} - 1$$



Gambar 6.5.3 Spacecraft berubah dari melingkar untuk orbit elips

di mana kita memanfaatkan fakta bahwa momentum sudut baru per satuan massa adalah $l = v_0 r_0$. Memasukkan ekspresi sebelumnya untuk r_0 ke sebelumnya memberi kita rasio kecepatan yang diperlukan untuk mencapai orbit eksentrik baru

$$\left(\frac{v_0}{v_c}\right)^2 = \epsilon + 1$$

Kita dapat menemukan eksentrisitas dalam hal jarak dari perigee dan apogee dari geometri elips

$$r_1 = (1+\epsilon)a = (1+\epsilon)\frac{(r_1 + r_0)}{2}$$

$$\therefore (1+\epsilon) = \left(\frac{v_0}{v_c}\right)^2 = \frac{2r_1}{(r_1 + r_0)}$$

Menempatkan dalam jumlah orbit yang diperlukan, kita memperoleh

$$\frac{v_0}{v_c} = \sqrt{\frac{2r_1}{r_1 + r_0}} = \sqrt{\frac{120R_e}{61R_e}} = 1.40$$

dengan demikian, dorongan 40% sampai dengan kecepatan sekitar 11,2 km/s yang diperlukan.

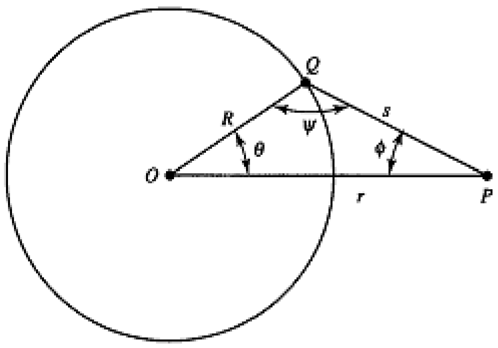
Potensial dan Bidang Cincin Tipis

4. Biarkan cincin menjadi radius R dan massa M. Kemudian, untuk jalur eksterior di bidang cincin, Gambar 6.7.2, kami memiliki

$$\Phi = -G\int \frac{dM}{s} = -G\int_0^{2x} \frac{\mu R d\theta}{s}$$

di mana μ adalah kepadatan massa linear cincin. Untuk mengevaluasi integral, pertama kita mengekspresikan s sebagai fungsi dari θ menggunakan hukum cosinus

$$s^2 = R^2 + r^2 - 2Rr\cos\theta$$



Gambar 6.7.2 Koordinat untuk menghitung medan gravitasi cincin

terpisahkan menjadi

$$\Phi = -2R\mu G \int_0^x \frac{d\theta}{(R^2 + r^2 - 2Rr\cos\theta)^{1/2}}$$

$$= -\frac{2R\mu G}{r}\int_0^x \frac{d\theta}{[1 + (R^2/r^2) - 2(R/r)\cos\theta)]^{1/2}}$$

Pertama, mari kita menggunakan apa yang disebut pendekatan medan jauh r > R dan memperluas integran dalam serangkaian kekuatan x(=R/r), untuk menjaga semua hal agar x^2.

$$\Phi = -2x\mu G \int_0^x \left[\left(1 - \frac{1}{2}x^2 + x\cos\theta\right) + \frac{3}{8}(x^2 - 2x\cos\theta)^2 + \cdots\right] d\theta$$

$$= -2x\mu G \int_0^x \left[1 - \frac{1}{2}x^2 + x\cos\theta + \frac{3}{2}x^2 cos^2\theta - \frac{3}{2}x^3\cos\theta + \frac{3}{8}x^4 + \cdots\right] d\theta$$

Sekarang, menjatuhkan semua hal agar x^3 atau lebih tinggi dan mencatat bahwa istilah yang mengandung $\cos\theta$ memiliki integral nol selama setengah siklus, kita memperoleh

$$\Phi = -2x\mu G(\pi + \frac{\pi x^2}{4} + \cdots$$

$$= -2\pi R\mu G(1 + \frac{R^2}{4r^2} + \cdots$$

$$= -\frac{GM}{r}(1 + \frac{R^2}{4r^2} + \cdots$$

intensitas medan pada jarak r dari pusat cincin adalah dalam arah radial (karena Φ bukan merupakan fungsi dari θ) dan diberikan oleh

$$\mathbf{g} = -\frac{\partial\Phi}{\partial \mathrm{r}}\mathrm{e_r} = -\frac{GM}{r^2}\left(1 + \frac{3}{4}\left(\frac{R}{r}\right)^2 + \ \dots\right)\mathrm{e_r}$$

bidang tersebut tidak diberikan oleh hukum kuadrat terbalik. Jika r >> R, istilah dalam kurung kesatuan pendekatan, dan intensitas medan mendekati bidang kuadrat-terbalik partikel tunggal massa M. Hal ini berlaku untuk tubuh yang terbatas berukuran bentuk apapun, yaitu untuk jarak yang besar dibandingkan dengan dimensi linear dari tubuh, pendekatan intensitas medan dari partikel tunggal massa M.

Potensi untuk titik dekat pusat cincin dapat ditemukan dengan menerapkan dekat bidang, atau r < R, pendekatan. Solusinya kurang lebih seperti sebelumnya, tetapi dalam kasus ini kita memperluas integran sebelumnya dalam gaya dari r/R untuk mendapatkan

$$\Phi = -\frac{GM}{R}(1 + \frac{r^2}{4R^2} + \cdots$$

g bisa lagi ditemukan oleh diferensiasi

$$\mathbf{g} = \left(\frac{GM}{2R^3}r\right)\mathrm{e_r} + \cdots$$

Dengan demikian, materi cincin mengerahkan sebuah gaya tolak sekitar linier, diarahkan jauh dari pusat, pada partikel yang terletak di suatu tempat di dekat pusat cincin. Sangat mudah untuk melihat bahwa ini harus begitu. Bayangkan bahwa Anda adalah massa kecil di tengah cincin seperti jari-jari R dengan bidang pandang baik di depan Anda dan di belakang Anda bahwa subtends beberapa sudut yang pasti. Jika Anda bergerak perlahan dari jarak pusat r, materi yang Anda lihat menarik Anda ke arah depan berkurang dengan faktor r, sedangkan terlihat menarik Anda dari arah belakang dengan r. Tetapi karena gaya gravitasi dari setiap elemen materi jatuh sebagai $1/r^2$, gaya yang bekerja pada Anda oleh massa depan dan massa dibelakang bervariasi sebagai 1/r, dan, dengan demikian, perbedaan gaya antara mereka berdua adalah [1/(R-r)-1/(R + r)] atau sebanding dengan r for r < R. Gaya gravitasi dari cincin repels objek adalah dari pusatnya.

Daftar Pustaka

[1] Fowles. R. Grant, (1986), *Analytical Mechanics*, Sounders College Publishing, Philadelphia;

[2] Symon. R. Keith, (1961), *Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts

[3] Sears, F.W. Mekanika panas dan bunyi. Jakarta : Bina cipta. Symon, K.R Mechanics. Reading MA : Addison Wesley Publishing Co.

[4]Sutrisno, Fisika dasar mekanika. Bandung : ITB

Glosarium

B

Bola
Bangun ruang sisi lengkung yang paling unik, yaitu bola. Berisi tentang pengeritian bola, rumus luas permukaan bola dan rumus volume bola. Bola adalah bangun ruang sisi lengkung yang dibatasi oleh satu bidang lengkung.

E

Elips
salah satu contoh dari irisan kerucut dan dapat didefinisikan sebagai lokus dari semua titik, dalam satu bidang, yang memiliki jumlah jarak yang sama dari dua titik tetap yang telah ditentukan

Energi potensial
energi yang memperngaruhi benda karena posisi (ketinggian) benda tersebut yang mana kecenderungan tersebut menuju tak terhingga dengan arah dari gaya yang ditimbulkan dari energi potensial tersebut.

Energi total
total energi yang dikandung dalam sebuah sistem dengan mengecualikan **energi** kinetik (Ek) pergerakan sistem sebagai satu kesatuan dan **energi** potensial (Ep) sistem akibat gaya-gaya dari luar. Oleh karena itu **energi** dalam bisa dirumuskan dengan persamaan E = Ek + Ep.

G

Gambar
sebuah tiruan barang baik itu orang, tumbuhan, binatang dan sebagainya yang dibikin dengan menggunakan coretan pensil dan sebagainya pada medium

Gaya
Dalam ilmu fisika, adalah interaksi apapun yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami perubahan gerak, baik dalam bentuk arah, maupun konstruksi geometris

Gaya berat
Gaya tarik bumi yang bekerja pada suatu benda. Berat suatu benda adalah besarnya gaya tarik bumi yang bekerja pada benda

Gerak Partikel Atom
Susunan dan gerak partikel pada berbagai wujud zat dapat kita perkirakan secara nalar. Sebagai gerak partikel Oleh karena itu, dapat dikatakan semua zat terdiri atas molekul-molekul atau atom-atom penyusunnya

Gerak Relatif
Gerak bersifat relatif artinya gerak suatu benda sangat bergantung pada titik acuannya
Gerak radial

Gerak radial
Benda bergerak terhadap suatu titik (atau benda lain) tanpa mengalami perubahan jarak antara keduanya. Dengan kata lain, benda tersebut bergerak mengelilingi titik (atau benda lain) seperti bulan mengelilingi bumi.

Gravitasi
Gaya tarik-menarik yang terjadi antara semua partikel yang mempunyai massa di alam semesta.

H

Hamburan parameter
Hamburan cahaya adalah fenomena Penyerapan dan pemancaran cahaya oleh partikel-partikel gas dimana cahaya yang dalam bentuk Gelombang elektromagnetik akan menabrak partikel atmosfer ... Perilaku hamburan tergantung pada nilai indeks refraktif dan parameter ukuran seperti formula berikut

Hamburan Partikel Alfa
Partikel alpha adalah partikel bermuatan positif berenergi tinggi yang diemisikan oleh unsur radioaktif elemen berat (uranium, thorium,radium dll) melalui disintegrasi / peluruhan. Berkas hamburan partikel alpha yang diemisikan unsur radioaktif (sampel Po) dilewatkan foil logam (selaput emas)

Hiperbolik
Sebuah fungsi yang berasal dari beberapa operasi aritmatika pada fungsi

Hukum Gravitasi
Bahwa benda di alam semesta saling tarik menarik dengan gaya yang berbanding lurus dengan hasil dari massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat dari jarak antara mereka.

K

Kepler
Seorang matematikawan yang juga merupakan seorang astronom Jerman yang bernama Johannes Kepler(1571-1630). Penemuannya didasari oleh data yang diamati.

Komet Halley
Komet yang terlihat dari bumi setiap 75-76 tahun. Secara resmi diberi nama 1P/Halley, nama umumnya diberikan menurut nama Edmund Halley. Komet ini merupakan komet paling terkenal di antara komet-komet periodik lainnya.

Konservatif

Konservatif jika usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut pada suatu benda tidak bergantung pada lintasan yang dilalui benda tetapi hanya bergantung pada perubahan posisi awal dan posisi akhir.

Koordinat
Bilangan yang dipakai untuk menunjukkan lokasi suatu titik dalam garis.

L

Lintasan Planet
Jalur yang dilalui oleh objek, di sekitar objek lainnya, di dalam pengaruh dari gaya gravitasi.

M

Medan Gravitasi
Daerah sekitar gaya gravitasi dan gaya yang bekerja melalui suatu jarak dalam ruang

Mekanika
Salah satu cabang ilmu dari bidang ilmu fisika yang mempelajari gerakan dan perubahan bentuk suatu materi yang diakibatkan oleh gangguan mekanik yang disebut gaya.

Momentum sudut
Momentum yang dimiliki benda-benda yang melakukan gerak rotasi.

Multi representasi
Model yang mempresentasi ulang konsep yang sama dalam beberapa format yang berbeda-beda.

N

Newton
Satuan SI turunan dengan lambang N, yang merupakan satuan dari gaya, dinamai dari Sir Isaac Newton.

O

Orbit
Jalur yang dilalui oleh objek, di sekitar objek lainnya, di dalam pengaruh dari gaya gravitasi.

Orbital
Sebuah fungsi matematika yang menggambarkan perilaku sebuah elektron ataupun sepasang elektron bak-gelombang dalam sebuah atom.

P

Partikel
Sebuah satuan dasar dari benda atau materi.

Potensi energi
Sumber energi yang cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan

Pusat bumi
Pusat inti bumi dimana terdapat zat panas bumi sebagai pergerakan bumi yang menyebabkan adanya gaya grafitasi bumi

Pusat gaya
Gaya tarik bumi yang bekerja pada pusat suatu benda.

R

Radial Vektor
Radial maksudnya dalam arah jari-jari, kecepatan tangensial = vektor kecepatan yang arahnya sejajar dengan garis singgung di suatu titik pada tepi lingkaran.

Representasi
Proses dimana sebuah objek ditangkap oleh indra seseorang, lalu masuk ke akal untuk diproses yang hasilnya adalah sebuah konsep/ide yang dengan bahasa akan disampaikan/diungkapkan kembali.

Roket satelit
Roket digunakan untuk kembang api, persenjataan, kursi penyelamat, kendaraan peluncur untuk Satelit buatan, kendaraan luar angkasa.

S

Sudut Koordinat
Pengertian Sudut Azimuth, Sudut Jurusan, dan perhitungan koordinat poligon, perhitungan sudut - sudut segitiga, sudut azimuth, sudut jurusan, serta perhitungan - perhitungan koordinat

W

Waktu Periodik
berarti menurut periode tertentu; muncul atau terjadi dalam selang waktu yang tetap

Indeks

T

V

W