க.பொ.த (உயர்தரம்)

பௌதிகவியல்

தரம் - 13

வளநூல்

அலகு - 05

ஈர்ப்புப் புலம்

முதலாம் அத்தியாயம்

ஈர்ப்பு விசைப் புலம்
Gravitational Force Field

1.1 ஈர்ப்பு விசை

கெப்லர் எனும் விஞ்ஞானி 13ஆம் நூற்றாண்டின் முற்பகுதியில், பல்வேறு கோள்களின் இயக்கம் தொடர்பாக நடத்திய அவதானிப்புகளின்படி அவற்றின் நீள்வட்ட இயக்கம் மற்றும் சுற்றலின் ஆவர்த்தன காலங்கள் பற்றிப் பதிவு செய்துள்ளார்.

அதே நூற்றாண்டின் நடுப்பகுதியில் ஐசெக் நியூற்றன் எனும் விஞ்ஞானி, சூரியனைச் சுற்றி நீள்வட்டப் பாதைகளில் நிகழும் கோள்களின் இயக்கம் தொடர்பாக நடத்திய ஆய்வுகளின் படி, சூரியனினால் அக்கோள்கள் மீது ஏற்படுத் தப்படும் ஒரு வகையான கவர்ச்சி விசை அவ்வட்ட இயக்கத்துக்கு துணையாகின்றது எனக் கண்டறிந்தார்.

ஐசெக் நியூற்றன் ஒரு நாள் தனது வீட்டுத்தோட்டத்தில் இருந்தவாறு சிந்தனை செய்து கொண்டிருந்த வேளையில் ஆப்பிள் மரமொன்றிலிருந்து பழமொன்று கீழே விழுவதைக் கண்டார். மரத்திலிருந்து விடுபட்ட ஆப்பிள் பழம் ஏன் நிலத்தில் விழுந்தது எனும் வினா அவரது மனதில் தோன்றியது.

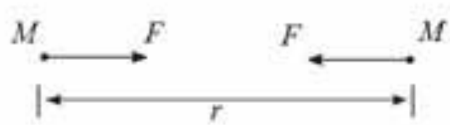
பிற்காலத்தில் அவர் மரத்திலிருந்து விடுபட்ட ஆப்பிள் பழமானது நிலத்தினால் ஈர்க்கப் படுவதும் புவியைப் பற்றிச் சுற்றும் சந்திரன் அதன் ஒழுக்கில் நிறுத்தப்பட்டிருந்தும் ஒருவித கவர்ச்சி விசையினாலேயாகும் என அவர் வெளியிட்டார்.

தொடர்ந்தும் நடத்தப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் மூலம் அகிலத்தில் திணிவு கொண்ட ஏதாவது இரண்டு துணிக்கைகளுக்கு இடையே இக்கவர்ச்சி விசைகள் உள்ளன என எடுத்துக்காட்டப்பட்டதோடு அக்கவர்ச்சி விசை "ஈர்ப்பு விசை" எனப் பெயரிடப்பட்டது.

இரண்டு பொருள்களுக்கு இடையே இருக்கும் பரஸ்பர ஈர்ப்பு விசையை பாதிக்கும் காரணிகள் பற்றி விரிவாக ஆராய்ந்த நியூற்றன், தனது முடிவுகளை பின்வரும் கோவைகளில் வெளிப்படுத்தினார்.

1.2 நியூற்றனின் ஈர்ப்பு விதி

அகிலத்தில் உள்ள எந்த இரண்டு பொருள்களுக்கும் இடையே தம்முள் கவர்ச்சி விசையொன்று தொழிற்படுவதோடு அவ்விசையானது அப்பொருள்களின் திணிவுகளுக்கு நேர் விகிதசமமாவதோடு அவற்றுக்கு இடையிலான தூரத்தின் வர்க்கத்துக்கு நேர்மாறு விகிதசமமாகும்.



உரு 1.1

ஒன்றுக்கொன்று r தூரத்தில் அமைந்துள்ள திணிவுகள் M உம் m உம் கொண்ட இரண்டு துணிக்கைகளுக்கு இடையிலான ஈர்ப்பு விசை

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$ இனால் காட்டப்படும்.

G என்பது ஈர்ப்பு மாறிலி எனப்படுகின்ற ஓர் அகில ஈர்ப்பு மாறிலி ஆகும்.

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N\ m^2\ kg^{-2}}$

ஈர்ப்பு விசைக்காக ஈர்ப்புப் புலமானது புதிய கருதுகோளாக அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது. இக்கருதுகோளின்படி யாதேனும் பொருளின் திணிவு காரணமாக அப்பொருளைச் சூழவுள்ள பிரதேசத்தில் ஈர்ப்புப் புலமொன்று உருவாகும். ஈர்ப்பு விசையானது யாதேனும் இரண்டு திணிவுகளுக்கு இடையிலான ஈர்ப்பு புலங்களுக்கு இடையே ஏற்படும் இடைத்தொழிற்பாடுகளின் பெறுபேறாகும் எனக் கருதப்படுகின்றது.

1.3 ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு

ஈர்ப்புப் புலமொன்றில் உள்ள யாதேனும் ஒரு புள்ளியில் அப்புலத்தின் செறிவானது அப்புலத்தின் "ஈர்ப்புப் புலச்செறிவு" எனும் கணியத்தினால் அளக்கப்படும். ஈர்ப்புப் புலத்தின் யாதேனும் புள்ளியினது புலச் செறிவு என்பது அப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஓரலகுத் திணிவின் மீது தொழிற்படும் விசையாகும்.

அதற்கமைய, ஈர்ப்புப் புலத்தின் யாதேனும் ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட அலகுத்திணிவின் மீதான விசையே அதன் ஈர்ப்புப் புலச் செறிவாகும் என வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது.

ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு g இனது அலகுகள் $g = \frac{F}{m}\ \mathrm{N}\,kg^{-1}$ ஆகும்.

தனியாக்கிய திணிவின் காரணமாக உருவாகும் ஈர்ப்புப் புலம் ஆகும்.

1.3.1 தனியாக்கிய புள்ளித்திணிவொன்றின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் உள்ள புள்ளியொன்றில் ஈர்ப்புப் புலமானது ஓர் எளிய ஈர்ப்புப் புலமாக கருதப்படலாம்.

உரு 1.2

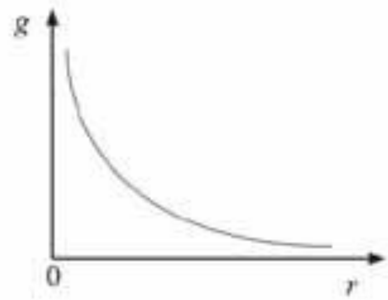
P என்பது m எனும் புள்ளித் திணிவினது ஈர்ப்புப் புலத்தில் அத்திணிவிலிருந்து r தூரத்தில் அமைந்துள்ள ஒரு புள்ளி ஆகும். P இல் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவைக் காண்பதற்காக உரு 1.2 இல் காட்டியவாறு m_1 திணிவுத் துணிக்கையொன்றினை வைத்து அதன்மீதான விசையைக் காண்போம்.

நியூற்றனின் ஈர்ப்பு விதியின் படி,

m_1 திணிவு மீதான விசையை $F = G\frac{m\,m_1}{r^2}$ என எழுதிக்காட்டலாம்.

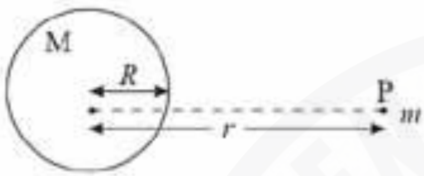
$\therefore$ Pஇல் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு $g = \frac{F}{m_1} = G\frac{m}{r^2}$ எனும் சமன்பாட்டினால் காட்டப்படும்.

ஈர்ப்பு என்பது கட்டாயமாக ஒரு கவர்ச்சி விசை ஆகும். எனவே, மேற்படி செறிவானது m திணிவினை நோக்கிய ஒரு காவிக்கணியமாகும். புள்ளித் திணிவிலிருந்து தூரத்துக்கு ஏற்ப ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு மாறும் விதம் உரு 1.3 இல் உள்ள வரைபில் காட்டப்பட்டுள்ளது.



உரு 1.3

1.3.2 கோள வடிவத் திணிவொன்றினைச் சூழவுள்ள ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு



உரு 1.4

திணிவு M உம் ஆரை R உம் கொண்ட, உரு: 1.4 இல் காட்டப்பட்டுள்ள கோளவடிவப் பொருளின் மையத்திலிருந்து $r\ (>R)$ தூரத்தில் அமைந்துள்ள P புள்ளியில் ஈர்ப்புப் புலச் செறிவைக் காண்பதற்காக அதில் m துணிக்கைத் திணிவொன்றினை வைத்து அதன் மீதான விசையைக் காண்போம். கோளத்தின் மொத்தத்திணிவும் அதன் மையத்தில் திரண்டுள்ளது எனக் கருதும்போது

M இற்கும் m இற்கும் இடையே ஈர்ப்பு விசை, $F = G\dfrac{Mm}{r^2}$

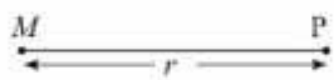
$\therefore$ Pஇல் ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு $(g) = \dfrac{F}{m} = G\dfrac{M}{r^2}$

கோள மேற்பரப்புக்கு அருகே ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு $g = \dfrac{GM}{R^2}$ இனால் தரப்படும்.

1.4 ගුරුත්වාකර්ෂණ විභවය

எந்தவொரு திணிவும் ஈர்ப்புப்புலத்தின் குறித்த ஒரு புள்ளியில் உள்ளபோது ஈர்ப்பு விசைக்குட்படும். எனவே புலத்திற்கு வெளியே (முடிவில்) இருந்து அப்புள்ளிக்கு இத்திணிவை எடுத்து வரும்போது புலம் குறித்த அளவு வேலையை செய்யும் இந்நேரத்தில் இவ்வேலையானது அழுத்த சக்தியாக சேமிக்கப்படும் முடிவிலியில் இருந்து அப்புள்ளிக்கு அலகு திணிவை கொண்டு வருவதற்கான வேலை அப்புள்ளியிலிருந்து ஈர்ப்பழுத்தம் எனப்படும்.

1.4.1 தனியாக்கிய திணிவொன்றின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் உள்ள புள்ளியொன்றின் ஈர்ப்பு அழுத்தம்



உரு 1.5

M திணிவினது ஈர்ப்புப் புலத்தில், அத்திணிவிலிருந்து r தூரத்தில் புள்ளி P அமைந்துள்ளது. முடிவிலியிலிருந்து P யினை நோக்கி, அலகுத்திணிவொன்றினைக் கொண்டுவரும் போது, செய்யப்படும் வேலை $W = -G\dfrac{M}{r}$

$\therefore$ P இல் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $V = -G\dfrac{M}{r}$

மேற்படி வேலையானது, புலத்துக்கு எதிராக அன்றி, புலத்தினால் செய்யப்படுகின்றது என்பது மறை (-) அடையாளத்தினால் காட்டப்படுகின்றது. மேலும் வேலை என்பது ஓர் எண்ணிக்கணியம் ஆதலால், ஈர்ப்பு அழுத்தமும் ஓர் எண்ணிக்கணியம் ஆகும்.

புள்ளித் திணிவொன்றிலிருந்து தூரத்துக்கேற்ப, ஈர்ப்பு அழுத்தம் மாறும் விதம் உரு 1.6 இல் காட்டப்பட்டுள்ள வரைபில் தரப்பட்டுள்ளது.

உரு 1.6

1.4.2 ஈர்ப்புப் புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள திணிவொன்றினது அழுத்த சக்தி

ஈர்ப்புப் புலமொன்றின் யாதேனும் புள்ளியின் அழுத்தம் V எனின், அங்கு வைக்கப்பட்ட அலகுத் திணிவொன்றினது அழுத்த சக்தி V ஆகும்.

$\therefore$ அப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டு m திணிவினது அழுத்தச் சக்தி $E = mV$ இனால் தரப்படும்.

உரு 1.7

மேற்படி உரு : 1.7 இல் காட்டப்பட்டுள்ள P புள்ளியானது M திணிவுக்குரிய ஈர்ப்புப்புலத்தில் M திணிவிலிருந்து r தூரத்தில் அமையுமெனின் அதன் அழுத்தம் $V = -G\dfrac{M}{r}$ எனக்கூறலாம்.

$\therefore$ இப்புள்ளியில் (P) வைக்கப்பட்ட m திணிவினது அழுத்த சக்தி $E = m\mathrm{V} = -G\dfrac{Mm}{r}$ எனக்கூறலாம்.

இரண்டாம் அத்தியாயம்

புவியின் ஈர்ப்புப் புலம் Earth's Gravitational Field

2.1 புவியின் ஈர்ப்புப் புலம்

புவியை M திணிவும் R ஆரையும் கொண்ட ஒரு கோளவடிவப் பொருளாகக் கருதும்போது அதன் மேற்பரப்பில் வைக்கப்பட்ட m திணிவுள்ள ஒரு பொருளின் மீதான ஈர்ப்பு விசை, $F = G\dfrac{Mm}{R^2}$ ஆகும்.

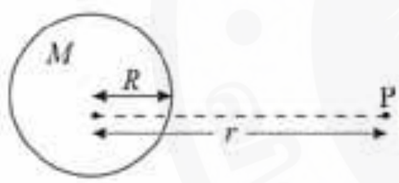
அத்துடன், புவி மேற்பரப்பில் உள்ள m திணிவின் மீதான ஈர்ப்பு விசை அதன் நிறை ஆகும்.

அதாவது $F = mg$ g- ஈர்ப்பினாலான ஆர்முடுகல்

$$\therefore \; mg = G\frac{Mm}{R^2}$$

$\therefore$ ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு $g = G\dfrac{M}{R^2}$ என எழுதிக் காட்டலாம்.

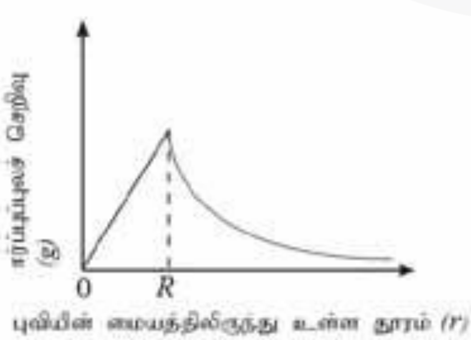
அதற்கமைய, புவி மேற்பரப்பின் மீது ஈர்ப்பு ஆர்முடுகலும் அதன் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவும் ஒரே பெறுமானத்தைப் பெறுகின்றமை தெரிகின்றது.



உரு 2.1

புவியின் மையத்திலிருந்து r $(>R)$ தூரத்தில் அமைந்துள்ள P புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள m திணிவொன்று உரு: 2.1 இல் காட்டப்பட்டுள்ளதோடு அந்த m திணிவின்மீது தொழிற்படும் ஈர்ப்பு விசை $F = G\dfrac{Mm}{r^2}$ என எழுதலாம்.

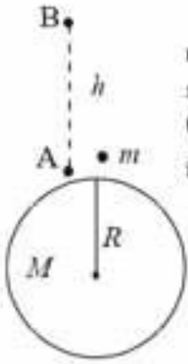
$\therefore$ Pஇல் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு, $g = \dfrac{F}{m} = G\dfrac{M}{r^2}$ எனக் குறிப்பிடலாம்.



உரு 2.2

புவியின் மையத்திலிருந்து புவி மேற்பரப்புக்குப் புவி மேற்பரப்பிலிருந்து வெளியேறும் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவானது புவியின் மையத்திலிருந்து உள்ள தூரத்துடன் மாறும் விதம் உரு 2.2 இல் உள்ள வரைபில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

2.2 புவியின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் h உயரத்தில் அழுத்த சக்தி



உரு 2.3

புவி மேற்பரப்புக்கு அருகில் உள்ள A எனும் புள்ளியிலிருந்து அதற்கு h உயரத்தில் உள்ள B புள்ளி வரையில் m திணிவுள்ள ஒரு பொருளைக் கொண்டு செல்லும் சந்தர்ப்பம் உரு: 2.3 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. புவியின் திணிவு M எனவும் அதன் ஆரை R எனவும் கொள்வோம்

A புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= -G\dfrac{M}{R}$

A இல் பொருளில் உள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த சக்தி $= -G\dfrac{Mm}{R}$

B புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= \dfrac{-GM}{(R+h)}$

Bஇல் பொருளில் உள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த சக்தி $= \dfrac{-GMm}{(R+h)}$

A இலிருந்து B வரை கொண்டு செல்லும் போது பொருளுக்குக் கிடைத்த மேலதிக அழுத்த சக்தி E ஆகும்.

$$E = \frac{-GMm}{(R+h)} - \left(\frac{-GMm}{R}\right)$$

$$E = \left[\frac{-GMm\,h}{(R+h)\,R}\right]$$

$h << R$ ஆகும்போது $(R+h)\,R \simeq R^2$ எனக் கருதலாம்.

$$\therefore\ E = \frac{GMm\,h}{R^2} \quad \text{——(1)}$$ என எழுதலாம்.

புவி மேற்பரப்புக்கு அண்மையில் ஈர்ப்பு ஆர்முடுகல் g ஆயின்

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad \text{——(2)}$$ என எழுதலாம்.

மேற்படி 1, 2 ஆகிய இரண்டு சமன்பாடுகளையும் கருதுவதால், அழுத்த சக்தி $E = mg\,h$ எனப் பெறலாம்.

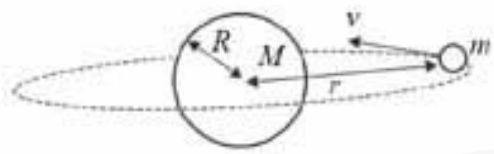
$\therefore$ பூச்சிய சக்தி மட்டத்துக்குச் சார்பாக h உயரத்தில் அமைந்துள்ள ஒரு பொருள் கொண்டுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த சக்தி $E = mg\,h$ இனால் தரப்படும்.

R உடன் ஒப்பிடும்போது மிகச் சிறிய h பெறுமானங்களுக்காக மாத்திரம் இக்கோவையைப் பயன்படுத்தலாம்.

2.3 புவியைப் பற்றி உபகோள்களின் இயக்கம்

எமது புவியைப் பற்றி சுற்றும் உபகோள்கள் பலவாகும். அவற்றுள் சந்திரன் மாத்திரமே இயற்கையான ஒரேயொரு உபகோள் ஆகும். சந்திரன் மற்றும் ஏனைய செயற்கையான உபகோள்கள் பொதுவான கோட்பாடுகளின் அடிப்படையிலேயே இயங்குகின்றன.

உதாரணமாக உரு: 2.5 இல் காட்டியுள்ளவாறாக m திணிவுள்ள உபகோளொன்று v கதியில் r ஆரையுள்ள வட்டப்பாதையில் புவியைப் பற்றிச் சுற்றுவதாகக் கருதுவோம்.



உரு 2.5

இந்த வட்ட இயக்கத்துக்குத் தேவையான மைய நாட்ட விசையானது புவியின் ஈர்ப்பினாலேயே வழங்கப்படும். புவியின் திணிவு M எனின்,

அப்போது $F = ma$ சமன்பாட்டின் படி, $\left(G\frac{Mm}{r^2}\right) = \left(\frac{mv^2}{r}\right)$, [$\frac{v^2}{r}$ = மையநாட்ட ஆர்முடுகல்]

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

$\therefore$ உபகோளின் கதி $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ எனக் குறிப்பிடலாம்.

உபகோளின் ஆவர்த்தன காலம் (T) $= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{v/r} = \frac{2\pi r}{v}$

$$= \frac{2\pi r}{\sqrt{\frac{GM}{r}}}$$

$\therefore$ உபகோளின் ஆவர்த்தன காலம் $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ எனப் பெறலாம்.

G, M ஆகிய கணியங்கள் மாறிலி ஆகும். அதற்கமைய உபகோளொன்றின் கதியும் அதன் ஆவர்த்தன காலமும் அதன் சுற்றுப் பாதையின் ஆரையில் மாத்திரமே தங்கியுள்ளது என்பது மேற்படி கோவைகளின் மூலம் தெரிகிறது.

புவிக்கு அண்மையில் சுற்றும் உபகோள் ஒன்றினைக் கருதும்போது
சுற்றுப் பாதையின் ஆரை $(r) \approx$ புவியின் ஆரை (R) எனக் கருதலாம்.

மேலும் புவிமீது ஈர்ப்பு ஆர்முடுகல் g ஆயின், அங்கு எந்தவொரு பொருளினதும் நிறையானது அப்பொருளின் மீதான ஈர்ப்பு விசைக்குச் சமமானது.

$$mg = G\frac{Mm}{R^2}$$

$$\Rightarrow GM = gR^2$$

மேற்படி உபகோளின் கதி, ஆவர்த்தன காலம் ஆகியவற்றுக்காகப் பெற்ற கோவைகளில் பிரதியீடு செய்வதன் மூலம்,

கதி $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{gR^2}{R}} = \sqrt{gR}$ எனக் குறிப்பிடலாம்

ஆவர்த்தன காலம் $T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{gR^2}} = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ எனக் குறிப்பிடலாம்

2.3.1 புவிக்கு அண்மையில் செல்லும் உபகோள் ஒன்றினது கதியையும் ஆவர்த்தன காலத்தையும் கணித்தல்

புவியின் ஆரை $R = 6.4 \times 10^6\ m$ உம் $g = 10\ \text{ms}^{-2}$ உம் ஆகும்.

கதி, $v = \sqrt{gR}$ சமன்பாட்டில் பிரதியீடு செய்வதால்

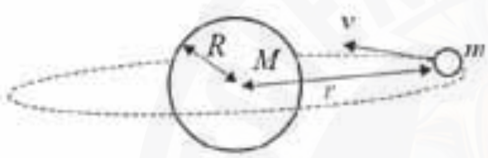
உபகோளின் கதி, $v = \sqrt{10 \times 6.4 \times 10^6} = \sqrt{64 \times 10^6} = 8 \times 10^3 \text{ms}^{-1}$

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}}$ சமன்பாட்டில் பிரதியீடு செய்வதால்

உபகோளின் ஆவர்த்தன காலம் $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{6.4 \times 10^6}{10}} = 5028\ \text{s}$

$$\approx 1\ \text{h}\ 24\ \text{min}$$

2.3.2 சுற்றும் உபகோள் ஒன்றின் சக்தி



உ.ரு 2.6

உ.ரு 2.6 இல் காட்டியுள்ளவாறாக m திணிவுள்ள உபகோளொன்று M திணிவுள்ள புவியைப்பற்றி v கதியில் r ஆரையுள்ள ஓர் ஒழுக்கில் செல்கின்றது எனக் கருதுவோம்.

அப்போது, ஒழுக்கின் எந்தவொரு புள்ளியிலும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $V = -G\dfrac{M}{r}$ ஆகும்.

$\therefore$ ஒழுக்கில் செல்லும் உபகோள் இனது அழுத்த சக்தி $(E_1) = -G\dfrac{Mm}{r}$ எனக் குறிப்பிடலாம்

மேலும், உபகோளின் இயக்க சக்தி $(E_2) = \dfrac{1}{2}mv^2$ ஆகும்.

எனினும், மையநாட்ட விசை = ஈர்ப்பு விசை

$$\frac{mv^2}{r} = G\frac{Mm}{r^2}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}G\frac{Mm}{r}$$

$$E_2 = \frac{1}{2}G\frac{Mm}{r}$$

$\therefore$ உபகோளின் மொத்தச் சக்தி $E = E_1 + E_2$ மூலம் தரப்படும்

$$E = -G\frac{Mm}{r} + \frac{1}{2}G\frac{Mm}{r}$$

$\therefore$ உபகோளின் முழுச் சக்தி $E = -\dfrac{1}{2}G\dfrac{Mm}{r}$ எனக் குறிப்பிடலாம்.

மேற்படி கோவை உபகோளின் சக்திச் சமன்பாடு எனப்படும்.

உபகோள் ஒன்றினை ஒழுக்குக்கு அனுப்புவதற்காக, முதலில் அதனை ஓர் வாணத்தினால் (Rocket) ஒழுக்கின் ஆரைக்குப் பொருத்தமான உயரத்துக்குக் கொண்டு செல்லப்படும்.

பின்னர் புவியின் மேற்பரப்புக்குச் சமாந்தரமாக அமைக்கப்பட்டுள்ள வாண எஞ்சின் மூலம் அதற்குத் தொடுகை வேகம் வழங்கப்படும். பெரும்பாலான செயற்கை உபகோள்கள் பொதுவாக நீள்வட்டப் பாதைகளிலேயே செல்லும்.

2.3.3 புவி நிலைத்த உபகோள்கள்

புவியின் யாதேனும் திட்டவட்டமான புள்ளிக்குச் நிலைக்குத்தாக மேலே முழுக் காலத்திலும் இருக்கும் உபகோளே புவி நிலைத்த உபகோள் எனப்படும். இந்த உபகோள்களின் ஆவர்த்தன காலம் 24 மணித்தியாலங்களாக இருக்குமாறு அதன் ஒழுக்கினது ஆரை செப்பஞ் செய்யப்பட்டுள்ளது. உலகின் வெவ்வேறு நாடுகளுக்கு இடையிலான தொடர்பாடல் தேவைகளுக்கு பயன்படுத்தும் நோக்குடன் ஒழுங்குபடுத்தப்பட்டுள்ள இந்த உபகோள்கள் கட்டாயமாக அனுசரிக்கவேண்டிய சில நிபந்தனைகள் வருமாறு.

1. புவி நிலைத்த உபகோள்கள் புவி சுழலும் அதே திசையிலேயே சுழலுதல் வேண்டும்.
2. அது சுழலும் கோண வேகமானது புவி சுழலும் கோண வேகத்துக்குச் சமமானதாக இருத்தல் வேண்டும். அதாவது சுழற்சிக் காலம் 24 மணித்தியாலமாக இருக்கவேண்டும்.
3. அது புவியின் மத்திய கோடு அமைந்துள்ள தளத்திலான ஓர் ஒழுக்கிலேயே சுற்றுதல் வேண்டும்.

உபகோளின் ஆவர்த்தன காலம் $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$ இன்படி,

புவி நிலைத்த உபகோளின் ஆவர்த்தன காலம் $24 \times 60 \times 60 = 86400\ s$

$$\therefore \qquad 86400 = 2 \times \frac{22}{7}\sqrt{\frac{r^3}{6.7 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}}$$

$$r = 42400 \times 10^3\ m$$

புவியின் ஆரை 6400 km ஆயின்,

உபகோள் புவிக்கு மேலே இருக்கும் உயரம் $= (42400 - 6400)\ km$
$= 36000\ km$

சகல புவி நிலைத்த உபகோள்களும் புவியிலிருந்து மேற்படி உயரத்தில் அமைந்த ஒரு ஒழுக்கில் இருக்கும்.

2.3.4 தப்பல் வேகம்

மீண்டும் புவியை அடையாதவாறாக யாதேனுமொரு பொருளை புவி மேற்பரப்பிலிருந்து ஈர்ப்பை விஞ்சி, விண்வெளிக்கு அனுப்புவதற்குத் தேவையான இழிவு வேகமே தப்பல் வேகம் ஆகும்.

M திணிவுள்ள R ஆரையுள்ள புவியின் மேற்பரப்பில் வைக்கப்பட்டுள்ள m திணிவுள்ள பொருளொன்றின் அழுத்த சக்தி $E_1 = -G\dfrac{Mm}{R}$ ஆகும்.

இப்பொருளை புவி மேற்பரப்பிலிருந்து v வேகத்தில் விண்வெளிக்கு எறிவதாயின், அதன் மொத்தச் சக்தி,

$$E = \text{இயக்கச் சக்தி} + \text{அழுத்த சக்தி}$$
$$= \frac{1}{2}mv^2 + \left(-G\frac{Mm}{R}\right)$$

v என்பது வேகம் எனின் மொத்தச் சக்தியானது முடிவிலித் தூரத்தில் முழுவதும் விரயமாகி பூச்சியமாக மாறும் அப்போது சக்திக் காப்பு விதிப்படி,

$$\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} = 0$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = G\frac{Mm}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad \left(G\frac{M}{R^2} = g = \text{புவிமேற்பரப்பில் ஈர்ப்பு ஆர்முடுகல்} \right)$$

$$v = \sqrt{2gR}$$

$g = 9.8\ ms^{-1}$ உம் புவியின் ஆரை $R = 6.4 \times 10^6$ m எனக் கொள்வதால்

புவிமேற்பரப்பில் உள்ள ஒரு பொருளுக்காக $= \sqrt{2 \times 9.8 \times 6.4 \times 10^6}$

$$= \sqrt{19.6 \times 6.4 \times 10^6}$$

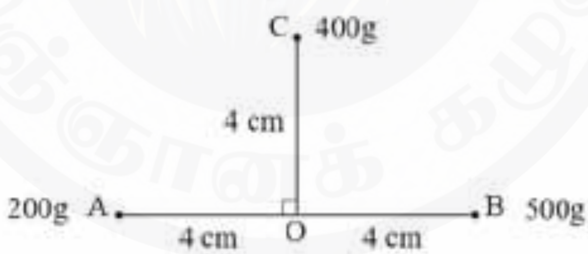
$$= \sqrt{196 \times 64 \times 10^4}$$

$$= 14 \times 8 \times 10^2 = 112 \times 10^2\ ms^{-1}$$

$$= 11.2\ kms^{-1}$$

<u>தீர்க்கப்பட்ட பயிற்சிகள்</u>

1.



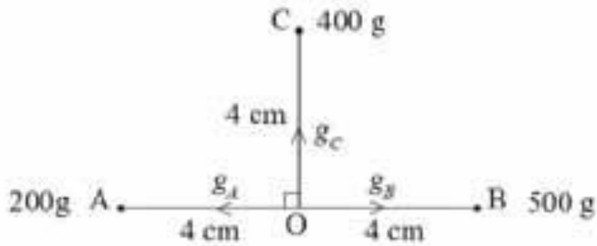
8 cm நீளமான AB நேர்கோட்டின் A அந்தத்தில் 200g திணிவொன்றும் அதன் B அந்தத்தில் 500g திணிவொன்றும் உள்ள AB இனது செங்குத்து இரு கூறாக்கியான OC கோட்டில் O இலிருந்து 4 cm தூரத்தில் அமைந்துள்ள C புள்ளியில் 400g திணிவொன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது.

(i) O புள்ளியில் மொத்த ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு
(ii) O புள்ளியில் மொத்த ஈர்ப்பு அழுத்தம்

ஆகியவற்றைக் காண்க.

தீர்வு

(i)



கிடைத் திசையில் துணிப்பைக் கருதுவதால்

$$\longrightarrow \quad g_1 = g_B - g_A = G\frac{500\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})^2} - G\frac{200\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})^2}$$

$$= G\frac{300\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})^2} = G\frac{3\times10^3}{16}$$

நிலைக்குத் திசையைக் கருதுவதால்

$$\uparrow \quad g_2 = g_C = G\frac{400\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})^2} = G\frac{4\times10^3}{16}$$

O இல் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு

$$g = \sqrt{g_1^2 + g_2^2}$$

$$= G\frac{10^3}{16}\sqrt{4^2+3^2} = G\frac{5\times10^3}{16}$$

$$= 3.125\times10^2\,G$$

(ii) O புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம்

$$V = \left[G\frac{200\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})} + G\frac{500\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})} + G\frac{400\times10^{-3}}{(4\times10^{-2})}\right]$$

$$= \frac{G\times10^{-1}}{4\times10^{-2}}(2+5+4) = -G\frac{110}{4}$$

$$= -27.5\,G\,\mathrm{J\,kg^{-1}}$$