



प्रस्तावना

नमस्कार मुलांनो, तुम्हाला माहितच आहे की आपल्या पृथ्वीवरील सर्व नद्या जमिनीवरूनच वाहतात, समुद्राचे पाणी जमिनीवरच असते. पृथ्वीच्या भोवती कायम वातावरण असते. आपण तोंड वर करून बाटलीतले पाणी ओतून पिऊ शकतो. पृथ्वी सूर्याभोवती तर चंद्र पृथ्वीभोवती फिरतो. अशा आणखी कितीतरी गोष्टी! पण असं का बरं होत असेल? जरा विचार करूया. येतय का लक्षात ह्यामागचं कारण?

बरं, अजून काही गोष्टी बघू. चेंडू वर फेकायला आपल्याला बल लावावे लागते. चेंडू वर फेकला तर तो काही उंचीपर्यंत जाऊन परत खाली येतो. असं का बरं होतं? एवढं सांगितल्यावर तुम्ही लगेच म्हणाल, 'पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे'! (Earth's gravitation) अगदी बरोबर! वरील सर्व गोष्टी सूर्य, पृथ्वी, चंद्र ह्यांच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या बलामुळे घडतात. आणि वरील सर्व गोष्टींना वस्तुमान आहे हे पण आपण लक्षात ठेवूया. असो.

तुम्ही सर्वांनीच लोहचुंबक (Magnet) पाहिला आहे. त्याला N व S ध्रुव (poles) असतात. त्यांच्या सजातीय ध्रुवात प्रतिकर्षण व विजातीय ध्रुवात आकर्षणाचे बल असते. N व N आणि S व S मध्ये प्रतिकर्षण (Repulsion) तर N व S मध्ये आकर्षण (Attraction) असते. विद्युत धन आणि ऋण भारांमध्ये (Positive and negative electric charges) सुद्धा तसंच आहे. परंतु गुरुत्वाकर्षणाच्या बाबतीत तसंच आहे का? नाही. पृथ्वीचे गुरुत्वाकर्षण (Gravitational force of attraction) फक्त आकर्षणाचं बलच प्रयुक्त करते, प्रतिकर्षण नाही (Gravitational force: only attraction, No repulsion).

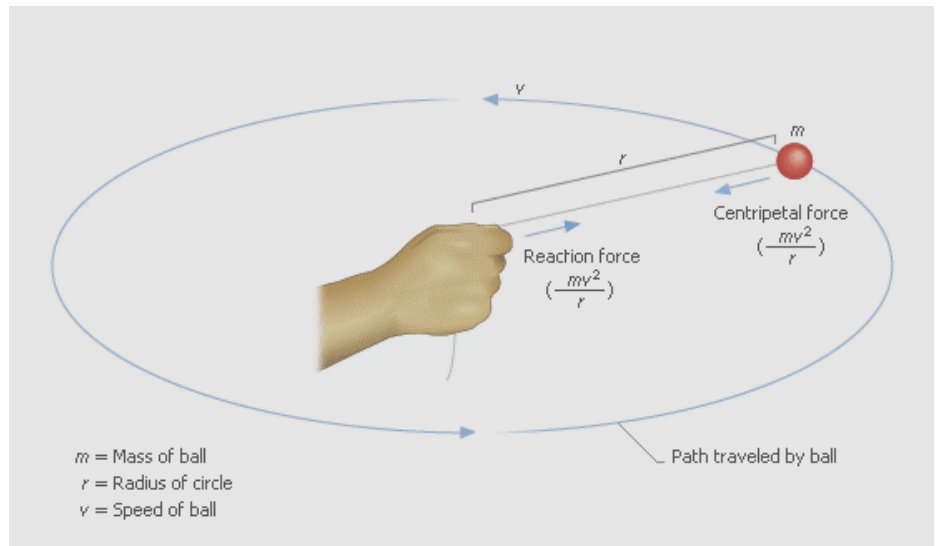
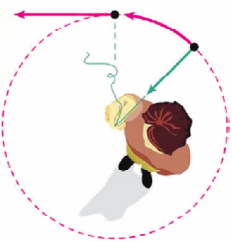


बरं झालं, प्रतिकर्षण नाही ते! तसं असतं तर विचार करा काय काय घटना घडल्या असत्या, गमती-जमती झाल्या असत्या, आणि खरं म्हणजे 'पृथ्वीचे गुरुत्वबल आकर्षण व प्रतिकर्षण अशी दोन्ही बले प्रयुक्त करत असते तर?' ह्या विषयावर तुम्ही मुले एक निबंधही लिहू शकता!

एक महत्वाची गोष्ट मात्र लक्षात ठेवा की गुरुत्वाकर्षणाचे बल, विद्युत बल, चुंबकीय बल ही त्यांच्या-त्यांच्या क्षेत्रात परिणाम करणारी बले आहेत. मुलांनो, तुम्हाला मित्राला ढकलायचं असेल तर त्याला प्रत्यक्ष स्पर्श करून बल लावावे लागते ना? पण वरील बलांच्या बाबतीत तसे घडत नाही. लांबूनही ही बले कार्य करू शकतात. त्यांना action at a distance बल असेही म्हणतात.

वर्तुळाकार गती:- सूर्यमालेमध्ये सूर्याभोवती इतर ग्रह फिरत असतात, तर उपग्रह आपापल्या ग्रहाभोवती फिरत असतात. त्यांची फिरण्याची गती ही वर्तुळाकार गती मानली जात असे.

मुलांनो, वर्तुळाकार गती म्हणजे काय? हे आपण आधी समजून घेऊया. गोफण तुम्हाला चांगलीच माहित असेल. अनेकवेळा तुम्ही ती गोल-गोल फिरवून तिला गती दिली असेल. तीच वर्तुळाकार गती.



दोरी सोडल्यावर
 स्पर्शिकेच्या दिशेने



जोपर्यंत आपण मध्यबिंदूजवळ गोफणीची दोरी धरून ठेवली आहे तोपर्यंत आपण गोफणीतल्या m दगडाला वर्तुळाच्या केंद्राकडे खेचत, दगडावर कक्षेच्या दिशेने बल प्रयुक्त करीत असतो. हीच वर्तुळाकार गती होय.

गोफण फिरत असतानाच जर त्या गोफणीचे मध्यबिंदूजवळचे टोक सोडून दिले तर त्या दगडावर काय परिणाम होईल?

सहाजिक आहे की त्या दगडावर प्रयुक्त केलेले बल संपुष्टात येईल आणि तो दगड..... त्या क्षणी वर्तुळावरील दगडाच्या स्थानाशी असणाऱ्या स्पर्शिकेच्या (Tangent) दिशेने वेगाने फेकला जाईल.

वर्तुळाकार कक्षेत फिरणाऱ्या कोणत्याही वस्तूवर वर्तुळाच्या केंद्राच्या दिशेने बल प्रयुक्त होत असते. या बलाला अभिकेंद्री बल म्हणतात. या बलामुळेच वस्तू केंद्राकडे जाण्यासाठी प्रवृत्त होते.

कोपर्निकस, गॅलिलीओ या शास्त्रज्ञांनी ग्रहांसंबंधी खूप अभ्यास केला होता.

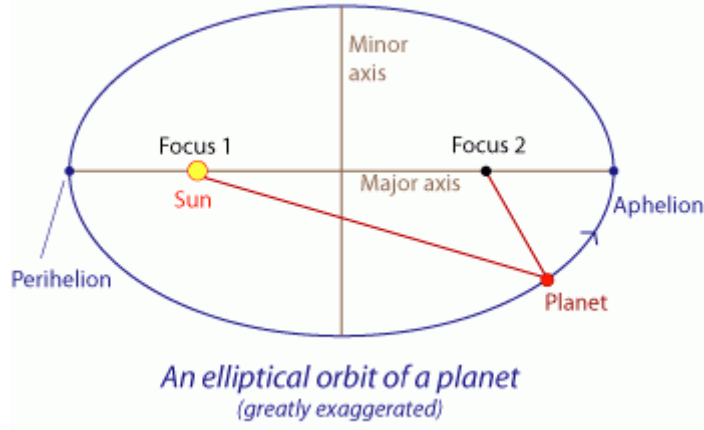
कोपर्निकस ह्यांच्या आधी सुमारे 2000 वर्षे, सर्व ग्रह पृथ्वीभोवती फिरतात असा समज होता. सर्वात प्रथम कोपर्निकस ह्यांनी त्यांच्या अभ्यासातून ग्रह सूर्याभोवती फिरतात हे सांगितले आणि ते वर्तुळाकार फिरतात असे प्रतिपादन केले.



योहान्स केप्लर (1571 - 1630)

योहान्स केप्लर या शास्त्रज्ञाने मात्र त्याच्या अभ्यासातून ग्रहांच्या कक्षा वर्तुळाकार नसून लंबगोल असल्याचे सांगितले. त्यांनी ग्रहांची स्थिती आणि गती ह्यांच्या माहितीचा अभ्यास केला. त्या अभ्यासावरून त्यांनी ग्रहांच्या गतीविषयीचे तीन नियम मांडले.

1) पहिला नियम:- ग्रहांची कक्षा लंबवर्तुळाकार असून सूर्य त्या कक्षेच्या एका नाभीवर (Focus) असतो.



वरील आकृतीवरून ग्रहांचा सूर्याभोवती फिरण्याचा मार्ग वर्तुळाकार नसून तो लंबवर्तुळाकार असतो हे तुम्हाला कळले असेल. वर्तुळात एकच नाभी (मध्यबिंदू) असते. परंतु लंबवर्तुळाकारात दोन नाभी असतात. वरच्या आकृतीत तुम्हाला सूर्य एका नाभीवर दिसत आहे. ग्रह जेव्हा सूर्याच्या सगळ्यात जवळ येतो त्या बिंदूला पेरिहेलियन (Perihelion) व सगळ्यात दूर जातो त्या बिंदूला अॅफेलियन (Aphelion) म्हणतात. ग्रहाच्या कक्षेवरील भ्रमणात केव्हांही त्याच्या दोन नाभींपर्यंतच्या अंतरांची (आकृती मधील लाल रेषांची) बेरीज नेहमी सारखीच असते.

2) दुसरा नियम:- ग्रहाला सूर्याशी जोडणारी सरळ रेषा, ही समान कालावधीत समान क्षेत्रफळ व्यापते.

लंबवर्तुळाकार कक्षेत फिरताना ग्रहाचे सूर्यापासूनचे अंतर सारखे रहात नाही तो जेव्हा अॅफेलियनपासून पेरिहेलियनकडे जातो, तेव्हा तो सूर्याच्या जवळ येतो. परिणामी ग्रहाची गती वाढत जाते. का बरं वाढावी ग्रहाची गती? काही सुचतय का तुम्हाला? बरोबर, ग्रह सूर्याजवळ आल्याने ग्रह व सूर्यामधील अंतर कमी होते. म्हणून सूर्याचे ग्रहावरील गुरुत्वाकर्षण वाढत जाते व त्यामुळे ग्रहाची गती



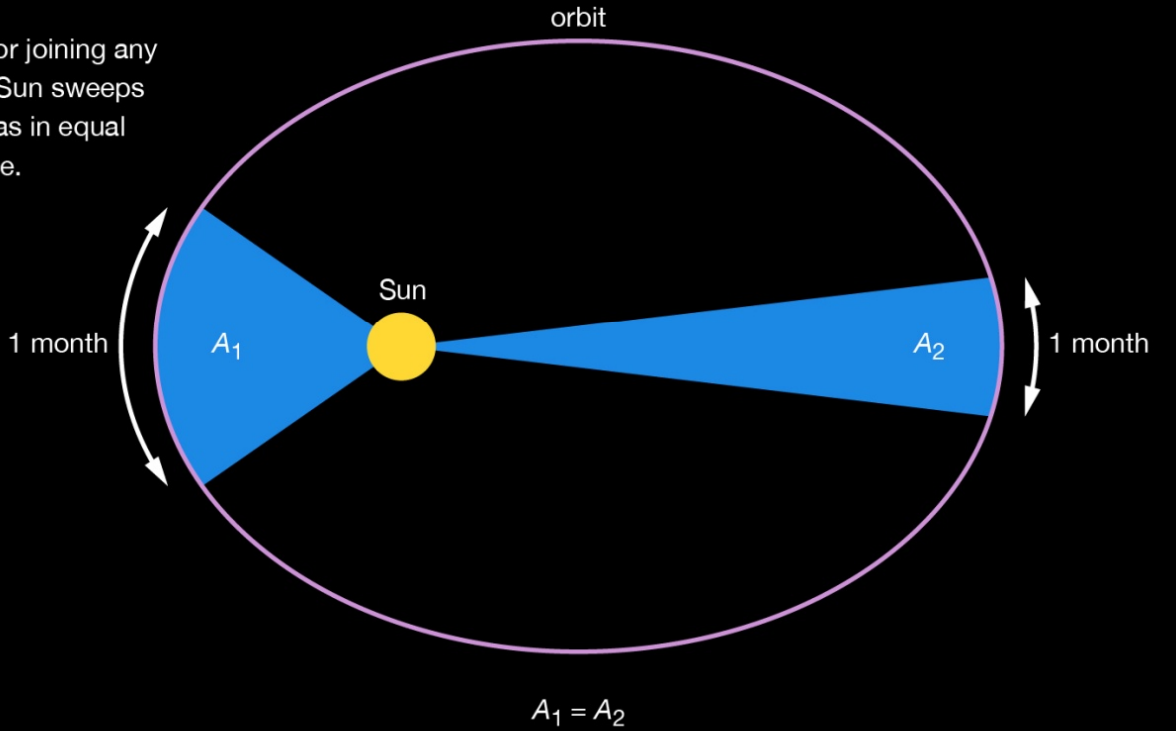
वाढत जाते. ह्याउलट पेरिहेलियनपासून अॅफेलियनकडे जाताना काय होईल सांगा बरं. अर्थातच, सूर्याचे गुरुत्वाकर्षण आणि त्यामुळे ग्रहाची गती कमी होत जाते.

ग्रहाच्या परिभ्रमणात वरीलप्रमाणे जरी बदल होत असला तरी खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे रेखांकित केलेली क्षेत्रफळे समान असतात आणि ग्रहाने ती सारख्याच कालावधी मध्ये व्यापलेली असतात (क्षेत्रफळ $A_1 = A_2$).

Kepler's laws of planetary motion

Second law

A radius vector joining any planet to the Sun sweeps out equal areas in equal lengths of time.



© Encyclopædia Britannica, Inc.



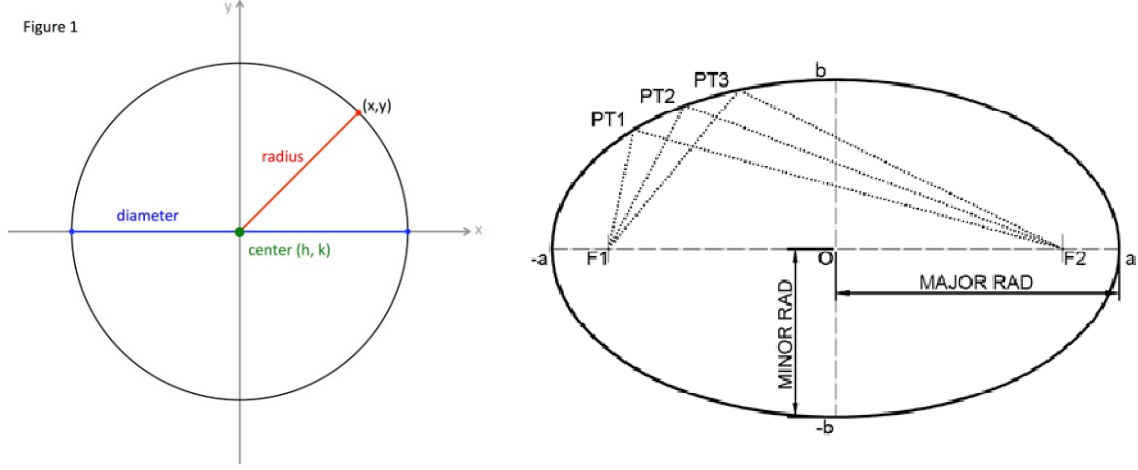
3) तिसरा नियम:- सूर्याची परिक्रमा करणाऱ्या ग्रहाच्या आवर्तनकालाचा (Tचा) वर्ग हा त्या ग्रहाच्या सूर्यापासूनच्या सरासरी अंतराच्या (r च्या) घनाला समानुपाती असतो.

ग्रहाचा आवर्तनकाल म्हणजे ग्रहाला सूर्याभोवती एक प्रदक्षिणा घालायला लागणारा वेळ = T, त्याचा वर्ग = T² होईल. आणि ग्रहाचे सूर्यापासूनचे सरासरी अंतर = r, त्याचा घन = r³ होईल. म्हणून वरील नियमा नुसार आपण लिहू या T² ∝ r³.

आता हा नियम समीकरणात कसा लिहिता येईल ते पाहू. म्हणजेच T² = K x r³, म्हणून $\frac{T^2}{r^3} = K$, येथे K हा स्थिर असतो. K हा स्थिर असतो, म्हणजे K ची किंमत सर्व ग्रहांसाठी जवळपास सारखीच असते (खालील तक्ता पहा).

Planet	Period T	Average r	K=T ² /r ³
Units--->	yr (year)	Distance in au (astronomical units)	(yr ² /au ³)
Mercury	0.241	0.39	0.98
Venus	0.615	0.72	1.01
Earth	1	1	1
Mars	1.88	1.52	1.01
Jupiter	11.8	5.2	0.99
Saturn	29.5	9.54	1
Uranus	84	19.18	1
Neptune	165	30.06	1
Pluto	248	39.44	1

ग्रहाचे सूर्यापासूनचे अंतर (r) सरासरी का बरं घ्यायचं?



ह्या प्रश्नाच्या उत्तरासाठी वरील आकृतीतील वर्तुळ व लंबवर्तुळ यातील फरक पाहू या.

वर्तुळाचे आडवे उभे व्यास सारखेच असतात. त्यांत एकच नाभी व एकच त्रिज्या असते. त्यामुळे वर्तुळकृती कक्षेत फिरणाऱ्या वस्तुचे नाभी पासूनचे अंतर वर्तुळभर सारखे म्हणजे त्रिज्येइतके असते.

ह्या उलट लंबवर्तुळात उभा व्यास लहान व आडवा व्यास मोठा असतो. तसेच त्यांत दोन नाभ्या असतात. त्यामुळे लंबवर्तुळकृती कक्षेत फिरणाऱ्या वस्तुची दोन नाभ्यांपासूनची अंतरे वेगळी असतात आणि ही दोन अंतरे सतत बदलत असतात. मग त्रिज्या कशी ठरवायची?

गंमत म्हणजे लंबवर्तुळावर वस्तूच्या दोन नाभींपर्यंतच्या अंतरांची बेरीज नेहमी सारखीच असते. त्याच्या निम्मी ही सरासरी त्रिज्या धरली जाते. असो.

केप्लरच्या नियमांवरचा व्हिडियो : <https://youtu.be/N5a9npp0Qbw>



गुरुत्वाकर्षणाचा नियम

केप्लरचे हे नियम महत्वपूर्ण आहेत, मात्र ग्रह या नियमांचं पालन का करतात या विषयीचं स्पष्टीकरण त्यावेळी देता आलं नाही. असो.

मागील इयत्तांमध्ये आपण बलाविषयी काही माहिती करून घेतली आहे. त्यामध्ये बलांचे प्रकार, बलामुळे वस्तूवर होणारा परिणाम अशा गोष्टींचा समावेश होता.

मग सांगा बरं तुम्हाला बलांची कोणकोणती नावे माहित आहेत?

----> स्नायू बल, यांत्रिक बल, चुंबकीय बल, स्थितिक विद्युत बल, गुरुत्वीय बल अशी बलांची काही नावे आहेत.

या बलांचा वस्तूवर काय परिणाम होतो हे पण तुम्हाला माहिती आहे होय की नाही?

----> गती, दिशा किंवा गती व दिशा या दोन्हीतही बदल होतो.

बलांच्या प्रकारामध्ये एका महत्वाच्या बलाचा समावेश आहे आणि तो म्हणजे गुरुत्वाकर्षण बल !

गुरुत्वाकर्षण म्हटलं की लगेच आपल्याला एक शास्त्रज्ञ आठवतो ... आठवला का? बरोबर सर आयझॅक न्यूटन!



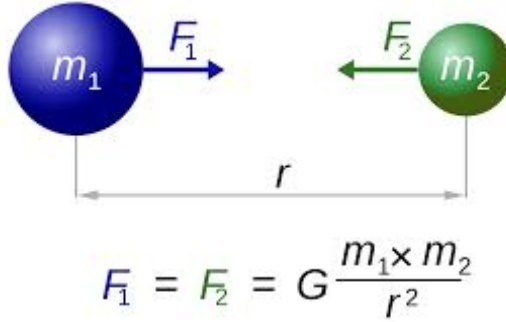
सर आयझॅक न्यूटन (1642 - 1727)

गुरुत्वाकर्षणाचे नियम मांडताना न्यूटनने ग्रहांची स्थिती, त्यांच्या गतींचा अभ्यास आणि केप्लरचे नियम या सर्वांच्या आधारे त्याचा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत मांडला.



हा सिद्धांत खालील प्रमाणे सांगितला जातो.

विश्वातील प्रत्येक वस्तू इतर प्रत्येक वस्तूला ठराविक बलाने आकर्षित करत असते. हे बल एकमेकांना आकर्षित करणाऱ्या वस्तूंच्या वस्तुमानाच्या गुणाकाराशी समानुपाती आणि त्यामधील अंतराच्या वर्गाशी व्यस्तानुपाती असते. म्हणजेच $F \propto m_1 m_2 / r^2$



याठिकाणी G हा स्थिरांक असून त्याला वैश्विक स्थिरांक म्हणतात.

SI पद्धतीत G चे मूल्य, प्रत्येकी 1 kg वस्तुमान असलेल्या आणि परस्परांपासून 1 मीटर अंतरावर असलेल्या दोन वस्तुमधील गुरुत्वीय बलाच्या मूल्या एवढे असते.

हेन्री कॅवेंडिश या शास्त्रज्ञाने G चे मूल्य सर्वात प्रथम मोजले. SI पद्धतीत G चे मूल्य $6.673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ आहे.

न्यूटनच्या सिद्धांताप्रमाणे दोन वस्तुंपैकी एका वस्तूचे वस्तुमान दुप्पट केले तर काय होईल?

सूत्रानुसार $F = G \frac{2m_1 m_2}{r^2}$ असे उत्तर येईल. म्हणजेच आकर्षण बल दुप्पट होईल.

आणि समजा, त्या वस्तुंमधील अंतर दुप्पट केले तर आकर्षण बलावर काय परिणाम होईल. सूत्रामध्ये r ऐवजी $2r$ घेतले तर हे आकर्षण बल $1/4$ झाल्याचे आपल्या लक्षात येईल.



दोन्ही वस्तू गोलाकार असतील तर त्यांच्यातील आकर्षण बल हे त्या वस्तूंच्या केंद्रकांना जोडणाऱ्या सरळ रेषेत असते. त्या केंद्रांना जोडणाऱ्या रेषा खंडाची लांबी म्हणजे त्या वस्तूमधील अंतर होय.

दोन वस्तू अनियमित आकाराच्या असतील तर हे बल त्यांच्या वस्तुमान केंद्रांना जोडणाऱ्या रेषा खंडाच्या दिशेत असते. त्या रेषा खंडाची लांबी म्हणजेच त्या दोन वस्तुतील अंतर होय.

एखादी वस्तू वर्तुळाकार मार्गाने गतिमान असेल तर त्या वस्तूवर केंद्राच्या दिशेने अभिकेंद्री बल प्रयुक्त होत असते हे आपण समजून घेतले आहे.

जर एखादा ग्रह सूर्याभोवती वर्तुळाकार मार्गाने भ्रमण करीत असेल तर त्यावर सूर्याच्या दिशेने प्रयुक्त होणारे अभिकेंद्री बल

$$F = mv^2 / r$$

(m = ग्रहाचे वस्तुमान, r = कक्षेची त्रिज्या आणि v = ग्रहाची चाल)

ग्रहाला सूर्याभोवती एक प्रदक्षिणा पूर्ण करण्यासाठी लागलेला वेळ म्हणजेच त्याचा आवर्तनकाल T असतो हे वर पहिले आहे. ग्रहाची चाल ठरवण्यासाठी आपल्याला काय लागेल? बरोबर. ग्रहाच्या प्रदक्षिणेची लांबी म्हणजेच लंबवर्तुळाचा परिघ. तो किती असेल? बरोबर $2\pi r$. ह्यावरून ग्रहाची सरासरी गती $V = 2\pi r/T$ होईल.

चंद्राची परिक्रमा: पृथ्वी तिच्याजवळील सर्व वस्तूंना गुरुत्वबलाने स्वतःकडे आकर्षित करते. पृथ्वीचे वस्तुमानकेंद्र तिच्या केंद्रबिंदूत असते म्हणून कोणत्याही वस्तूवरील पृथ्वीचे गुरुत्वीय बल पृथ्वीच्या केंद्राच्या दिशेने असते.

पृथ्वीचे गुरुत्वबल चंद्रावर प्रयुक्त होत असल्यामुळे चंद्र पृथ्वीभोवती परिक्रमा करतो. कृत्रिम उपग्रह ह्याच पद्धतीने पृथ्वीभोवती परिक्रमा करत असतात.



पृथ्वीचे गुरुत्व-त्वरण (g)

मुलांनो, आता गुरुत्वाकर्षणामुळे निर्माण होणाऱ्या पृथ्वीच्या गुरुत्व-त्वरण (Gravitational Acceleration) ह्याविषयी बघुया. त्वरण म्हणजे काय?

त्वरण म्हणजे वेगातील फरक भागिले त्यासाठी लागलेला वेळ. (m/s/s)

मुलांनो, तुमचा हा नेहमीचा अनुभव असेल की एखादा चेंडू जर बल (जोर) लावून फेकला तर तो वेगाने व जलद जातो. हेच तुमच्या पुस्तकातील शास्त्रीय भाषेत आपण म्हणतो की, वस्तूला बल लावले की वस्तूचे त्वरण होते. हा न्यूटनचा गतीविषयक दुसरा नियम आहे, होय ना? आता हा नियम, उंचावरून हातातून खाली सोडलेल्या चेंडूला लावू ह्या चेंडूवर बल लागते पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाचे आणि त्यामुळे चेंडूत त्वरण होत होत तो खाली जातो पृथ्वीच्या ह्या त्वरणाला गुरुत्व-त्वरण म्हणतात. ह्या त्वरणाची दिशा वरून सरळ खाली, क्षितिजाला लंबरेषेत असते.

गुरुत्व-त्वरण हे g ह्या अक्षराने दर्शवले जाते. g चे मूल्य पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर, हवेच्या घर्षणामुळे होणारा रोध विचारात न घेतल्यास, जवळपास 9.8 मी/सेकंद² असते. (कधीकधी केवळ आकडेमोडीच्या सोईसाठी हे मूल्य अंदाजापुरते 10 मी/सेकंद² धरले जाते.)

जर पदार्थ खाली पृथ्वीवर पडताना हवेच्या घर्षणाचा विचार केला नाही तर पडणारे सर्व पदार्थ गुरुत्वाकर्षणाच्या एकाच मात्रेने खाली येतात. म्हणजे ते त्वरण पदार्थाच्या वस्तुमानावर अवलंबून नाही.

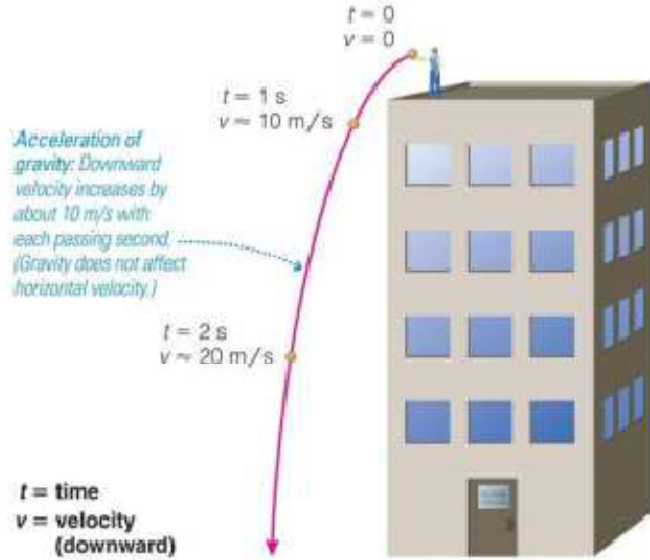
पृथ्वीचे गुरुत्व-त्वरण अंदाजे $g = 10 \text{ m/s}^2$ धरल्यास खाली पडणाऱ्या वस्तूचा वेग दर सेकंदाला 10 m/s ने वाढतो.

वस्तूने कापलेले अंतर आपण गतीविषयक $s = ut + (gt^2)/2$ ह्या समीकरणाने काढू शकतो. इथे $u = 0$ आहे, त्यामुळे $s = (gt^2)/2$ होते.

म्हणजेच खाली पडणारी वस्तू 1 सेकंदाला $(10 \times 1^2)/2 = 5$ मीटर, 2 सेकंदाला 20 मीटर, 3 सेकंदाला 45 मीटर अशा प्रकारे अंतर कापत खाली पडते.

The Acceleration of Gravity

- All falling objects accelerate at the same rate (not counting friction of air resistance).
- On Earth, $g \approx 10 \text{ m/s}^2$: speed increases 10 m/s with each second of falling.



© 2010 Pearson Education, Inc.

आता वरील चित्र बघा. त्यात $v = u + gt$, आरंभीचा वेग $u = 0 \text{ m/s}$ आणि गुरुत्व-त्वरण $a = 10 \text{ m/s}^2$ असा धरला आहे.

गुरुत्वबलाच्या बाबतीत गॅलिलीओ ह्या शास्त्रज्ञाने सिद्ध करून दाखवले की गुरुत्व-त्वरण वस्तुच्या वस्तुमानावर अवलंबून नसते. उदाहरणार्थ, एखादे पीस व लोखंडाचा गोळा एकाच वेळी सारख्याच उंचीवरून खाली सोडले तर निर्वातात ते एकाच वेळी खाली येतात.

तुम्ही पण एक प्रयोग करू शकता. जमेल तेवढ्या उंचावरून दोन साधारण सारख्या आकाराच्या आणि शक्यतो गुळगुळीत पृष्ठभागाच्या पण भिन्न वजनाच्या दोन वस्तू एकाच वेळी खाली सोडा आणि मित्राला त्या जमिनीवर एकाच वेळी पोचतात की वेगवेगळ्या वेळी ह्याचे निरीक्षण करायला सांगा.

गॅलिलीओच्या प्रयोगाचा व्हिडीओ <https://www.youtube.com/watch?v=s9Zb3xAgIoY>



मुक्त पतन (free fall):-



वरील चित्रातील व्यक्ती पाठीस पॅरॅशूटची बॅग लावून विमानातून उडी मारून खाली पडते आहे. अशा वेळी तिच्यावर कोणते बरं बल कार्य करीत असेल? बरोबर. गुरुत्वबल. कशावरून? अरे, म्हणून तर ती व्यक्ती खाली खाली येत आहे. म्हणजे वस्तूला खाली येण्याची गती फक्त गुरुत्वीय बलामुळे मिळते. इथे जर आपण विरुद्ध दिशेने लागणारी बले म्हणजे हवेच्या घर्षणाचे बल आणि हवेचे प्लावी (Buoyancy Force) बल विचारात घेतले नाही, तरच व्यक्तीचे मुक्त पतन होत आहे असे म्हणता येईल.

मात्र पृथ्वीवर हवा असल्यामुळे प्रत्यक्षात जेव्हा वस्तूचे पतन होते तेव्हा वस्तूच्या हवेशी होणाऱ्या घर्षणामुळे आणि प्लावी बलामुळे वस्तूच्या गतीला थोडा विरोध होतो. म्हणजेच पृथ्वीभोवती असणाऱ्या वातावरणामुळे कशाचेच खऱ्या अर्थाने मुक्त पतन होणार नाही.

त्यामुळे आदर्श मुक्त पतन हे फक्त आणि फक्त निर्वात परिस्थितीतच होऊ शकते.



g च्या मूल्यात पृथ्वीवर बदल होण्याची कारणे:-

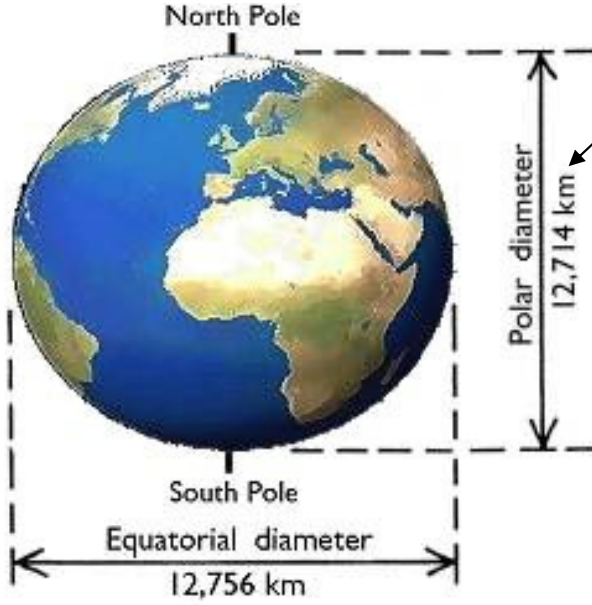
1) पृथ्वीच्या आकारामुळे होणारा बदल :- तुम्हाला हे माहित आहे की, पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर गुरुत्व-त्वरण $g = GM/R^2$ इतके असते. म्हणजे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरचे गुरुत्व-त्वरण पृथ्वीचे वस्तुमान M आणि पृथ्वीची त्रिज्या R ह्यावर अवलंबून असते, कारण G हा स्थिरांक आहे. त्यामुळे g चे मूल्य पृथ्वीच्या त्रिज्येच्या व्यस्त प्रमाणात बदलते.

समजा एखाद्या वस्तूचे वस्तुमान m आहे, म्हणजे त्या वस्तूचे वजन $w=mg$ आहे. होय ना? वस्तू कुठेही असली तरी वस्तुमान m बदलत नाही. मग ह्या वस्तूचे वजन mg पृथ्वीवर सगळीकडे सारखेच भरेल का? काय वाटतं तुम्हाला? विचार करा.

खरी गंमत अशी आहे की, पृथ्वीच्या ध्रुवांवर वस्तूचे वजन विषुववृत्तावर भरेल त्यापेक्षा जास्त भरते. का बरं असं होत असेल? m बदलत नाही, मग काय बदलत असेल आणि कशामुळे?

ह्याचे कारण असे आहे की, पृथ्वीचा आकार पूर्ण गोलाकार नाही. तिची त्रिज्या (R) सगळीकडे सारखी नाही. पृथ्वी ध्रुवांजवळ थोडी चपटी असल्याने तिथली त्रिज्या (R) कमी आहे, त्यामुळे तिथे g जास्त ($g = 9.832 \text{ m/s}^2$) आहे आणि विषुववृत्ताजवळ पृथ्वी थोडी फुगीर असल्यामुळे तिथली त्रिज्या थोडी मोठी आहे, त्यामुळे g कमी ($g = 9.78 \text{ m/s}^2$) आहे. म्हणून वजनात फरक पडतो.

पुढील चित्र बघा. म्हणजे तुम्हाला त्रिज्येतील फरक कळेल.



पृथ्वीचा कमी-जास्त व्यास / त्रिज्या.

2) पृष्ठभागापासूनच्या उंचीनुसार बदल:- पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या वर एखादी वस्तू उंचावर जाऊ लागते तेव्हा पृथ्वीची परिणामी त्रिज्या वाढू लागते, कारण त्रिज्या पृथ्वीच्या मध्य बिंदूपासून मोजली जाते. तुम्हाला आता माहित आहे की त्रिज्या वाढली की g कमी होत जाणार. म्हणून वस्तू अधिक उंच-उंच जाऊ लागली की त्यावरचे g चे मूल्य कमीकमी होऊ लागेल. मात्र पृथ्वीच्या त्रिज्येच्या तुलनेत वस्तूची पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासूनची उंची नगण्य असली तर g मध्ये होणारा बदल अगदी कमी असतो. उदाहरणार्थ, विमाने उडण्याची उंची साधारण 8 ते 10 किमी. असते त्यामुळे g मधला बदल फारच कमी असतो. मात्र अवकाशात सोडलेल्या उपग्रहांच्या कक्षा सुमारे 2,000 ते 35,786 किमी उंचीवर असू शकतात. अशा बाबतीत g मध्ये बराच फरक पडतो. उदाहरणार्थ, 35,700 किमी वर g ची किंमत 0.225 m/s^2 होते.

स्थान	पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासूनची उंची (कि.मी.)	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$
पृथ्वीचा पृष्ठभाग (सरासरी)	0	9.81
माउंट एव्हरेस्ट	8.8	9.8
मानवनिर्मित फुग्याने गाठलेली सर्वाधिक उंची	36.6	9.77
अंतराळ यानाची कक्षा	400	8.7
दळणवळण उपग्रहाची कक्षा	35700	0.225



3) पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून खाली (खोलवर) गेल्यास होणारा बदल:-

पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून खाली जायला लागल्यास पृथ्वीची त्रिज्या कमी होत जाते. पण g ची किंमत वाढत जात नाही, उलट ती कमी होत जाते. कारण पृथ्वीचे परिणामी वस्तुमानही कमी होत जाते. त्याचा परिणाम g कमी होण्यात होतो.

आता तुम्हीच सांगा पृथ्वीच्या मध्यबिंदूवर g ची किंमत किती असेल?

मुक्तीवेग (Escape velocity)

आपण चेंडू वर फेकल्यावर त्याचा वेग पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे कमी होत जातो. आपला अनुभव असा की काही उंचीवर जाऊन चेंडूचा वेग शून्य होतो व तेथून तो खाली पडतो. जेवढ्या जोरात आपण चेंडू वर फेकू तेवढा तो जलद आणि जास्त वर जातो हेही तुम्ही अनुभवले असेलच.

ही माहिती आपण तुम्ही शिकलेल्या $v^2 = u^2 + 2as$ ह्या सूत्रात मांडून बघूया. चेंडू वर उडवल्यावर त्यावरचे गुरुत्व-त्वरण $a = -g$, सुरवातीचा वेग u आणि अंतिम वेग $v = 0$.

म्हणून चेंडूची वर जाण्याची कमाल उंची (s) किती असेल?

$$s = u^2 / 2g .$$

ह्या समीकरणावरून हेच दिसते की जेवढा u जास्त, तेवढी उंची s जास्त! दुसरी गोष्ट म्हणजे जसजसा चेंडू अधिकाधिक उंचीवर जाईल तेव्हादे g चे मूल्य कमी होत जाणार. मग काय? आपण चेंडूच्या (किंवा सॅटेलाईटच्या) उडवण्याचा सुरवातीचा वेग (आरंभ वेग) खूप म्हणजे खूपच वाढवत गेलो तर अशी एक वेळ येईल की चेंडू पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणावर मात करून जाईल व पृथ्वीवर परत येणारच नाही.

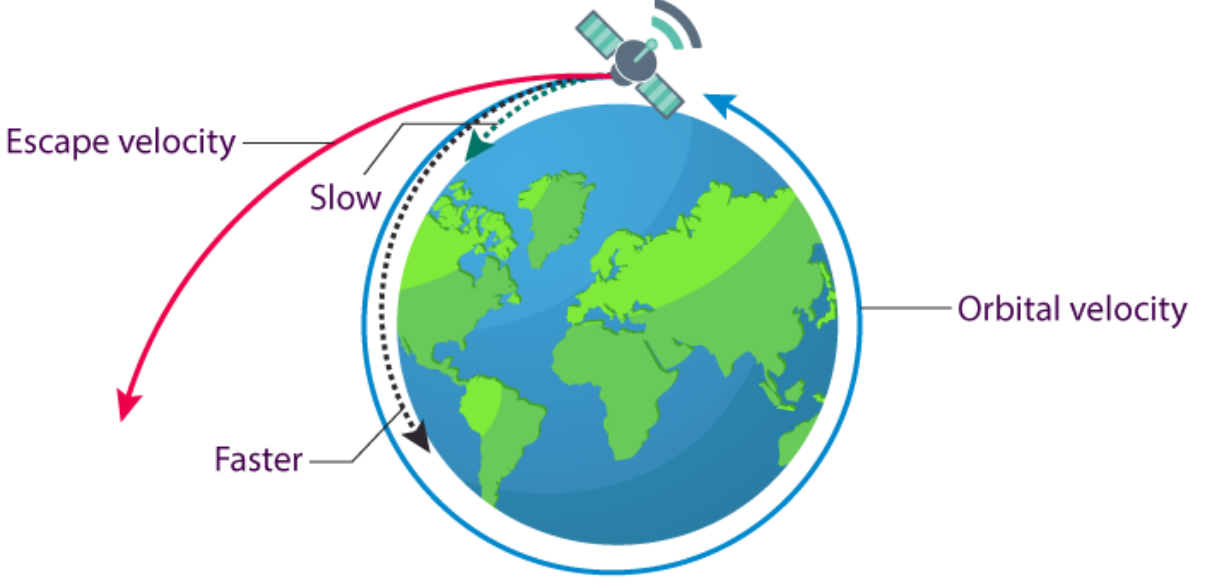
म्हणून अशा आरंभ वेगाला मुक्तिवेग (Escape velocity) म्हणतात.

पृथ्वीवरून सोडण्यात येणाऱ्या अवकाशयानाचा मुक्तिवेग यानाच्या वस्तुमानावर अवलंबून नसतो, तो पृथ्वीच्या वस्तुमानावर अवलंबून असतो.



ESCAPE VELOCITY

BYJU'S
The Learning App



मुक्तिवेगाविषयी व्हिडिओ ; <https://youtu.be/7l0DjzOS2ow>

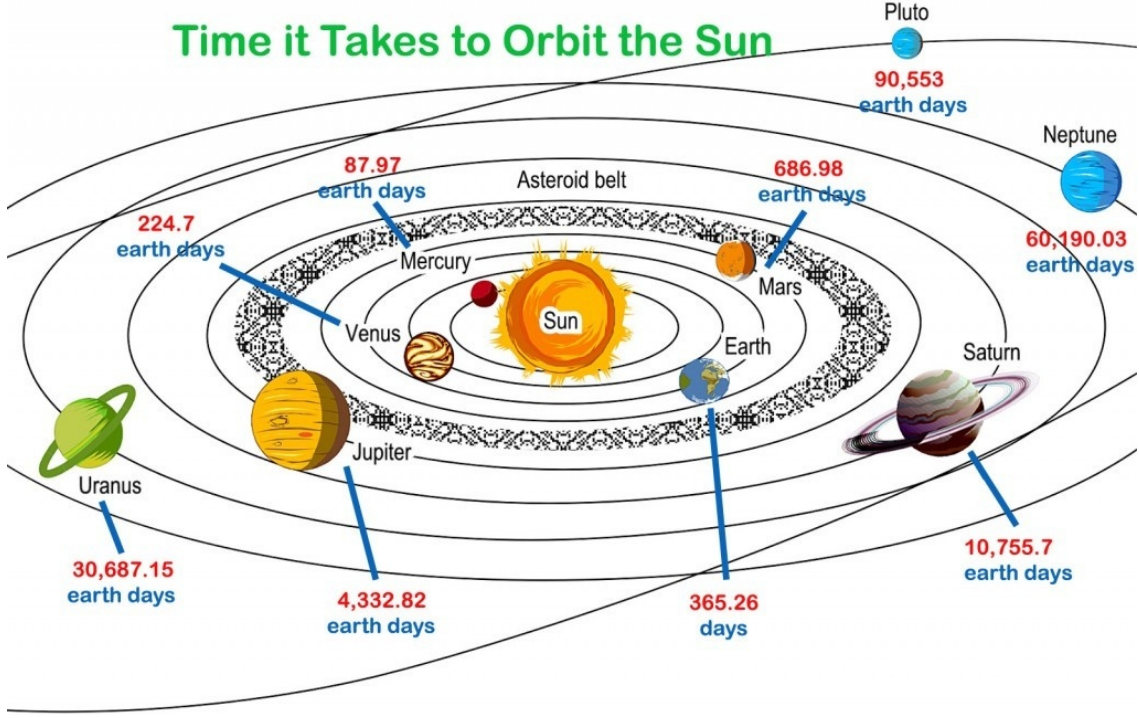
काही इतर माहिती:

1) आपल्या विश्वांमध्ये एकूण 4 मुख्य वैश्विक बले आहेत. त्यापैकी गुरुत्वाकर्षण हे एक असून ते सर्वात कमी शक्तिचे बल आहे. मात्र असे असले तरी त्याचा प्रभाव संबंध विश्वभर आहे. ह्या बलाच्या प्रभावाची व्याप्ती आपली सूर्यमाला आणि त्यापलीकडच्या इतर खगोलीय विश्वात आहे. हे बल, वस्तूच्या मुक्त पतनामध्ये होणाऱ्या त्वरणाने मोजले जाते. तसेच ग्रहांच्या तुलनात्मक अभ्यासासाठी ह्याचा उपयोग होतो.

2) विश्वांमध्ये, वस्तुमान असणाऱ्या सर्व वस्तूंमध्ये एकमेकांप्रती आकर्षणाचे बल असते. ह्याला गुरुत्वाकर्षण (गुरुत्वाकर्षणाचे बल) म्हणतात. गुरुत्वाकर्षणामुळे पृथ्वी आणि आपल्या सूर्यमालेतील इतर ग्रह पुढील चित्रात दाखवल्या प्रमाणे सूर्याभोवती फिरतात.



2)



3) **G आणि g** ह्या संज्ञाविषयी:- कुठल्याही दोन वस्तूंमध्ये एकमेकाप्रती असणाऱ्या गुरुत्वाकर्षणाच्या बलाचे सूत्र $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ असे आहे. ह्यामध्ये m_1 , m_2 ही दोन वस्तूंची वस्तुमाने असून r हे त्या दोन वस्तूंमधील अंतर आहे.

ह्या समीकरणातील **G** ला वैश्विक स्थिरांक (Universal gravitational constant) असे म्हणतात. **G** ची किंमत सुमारे $6.674 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ आहे. आणि **g** हे पृथ्वीचे गुरुत्व त्वरण आहे, जे 9.8मीटर/सेकंद^2 (9.8m/s^2) आहे.

4) पृथ्वीपासून 100 कि.मी.च्या उंचीवर पृथ्वीचे गुरुत्वाकर्षण पृष्ठभागावरील गुरुत्वाकर्षणापेक्षा फक्त 3% कमी असते.

5) मुलांनो, तुम्हाला माहित आहेच की समुद्राच्या पाण्याला भरती, ओहोटी येत असते. तुम्ही भरती केव्हां खूप मोठी येते ह्याचे कधी निरीक्षण केले आहे का? तुम्हाला आठवेल की पौर्णिमा, अमावास्या ह्या दिवशी मोठी भरती येते. तर असे कशामुळे होते? पण त्या अगोदर सांगा पाहू, तुम्ही लहानपणापासून ऐकत आला आहात की, सूर्याच्या व चंद्राच्या आकर्षणाच्या बलामुळे भरती व ओहोटी येत



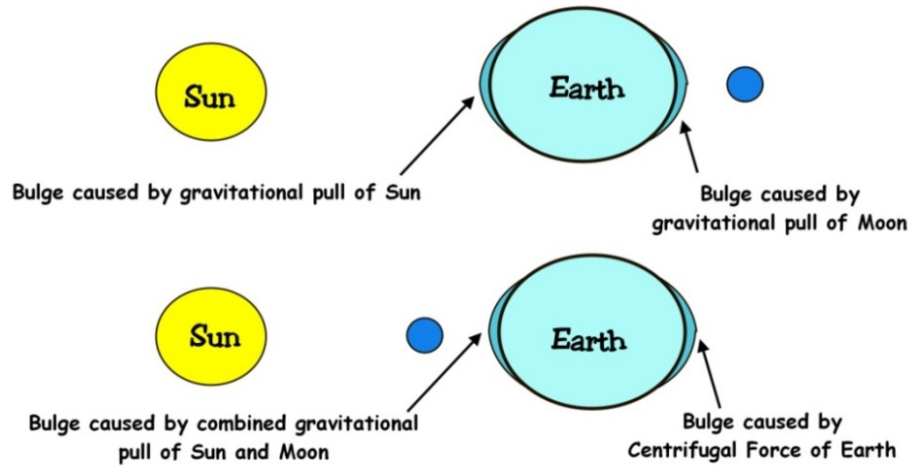
असतात. बरोबर आहे. त्याशिवाय पृथ्वीच्या फिरण्यामुळे येणारे केंद्रप्रसारक बलही (Centrifugal force) त्याला कारणीभूत असते.

पुढील आकृतीवरून तुम्हाला व्यवस्थित समजेल. नुसती वरवर आकृती पाहू नका. सूर्य, चंद्र ह्यांच्या जागा पहा. ते एका रेषेत असतील किंवा 90° कोनात असतील त्यावेळेस काय होते ते पहा.

5)

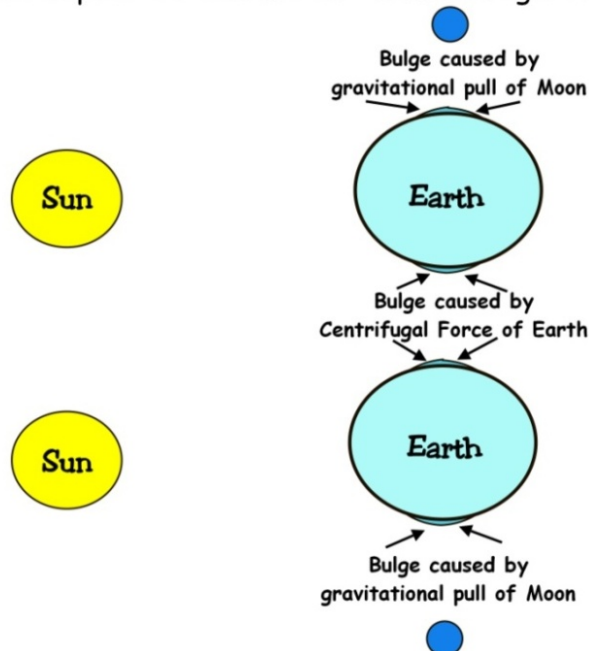
Spring Tides

(Sun and Moon Aligned - Highest High Tides)



Neap Tides

(Sun and Moon Alignment at Right Angles With Respect To The Earth - Lowest High Tides)



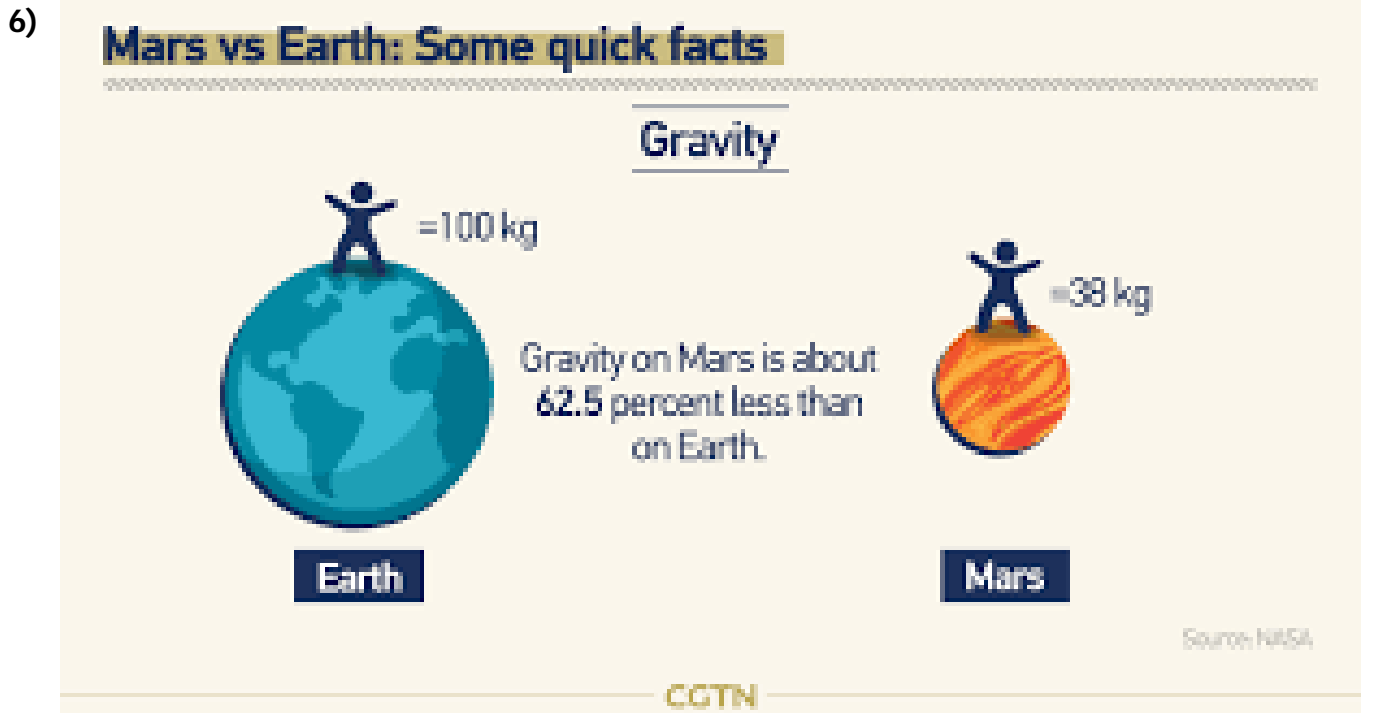
भरतीला स्प्रिंग टाईड तर ओहोटीला नीप टाईड म्हणतात.



समुद्राची भरती, ओहोटी हे प्रकार चंद्र आणि सूर्य ह्यांच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे व पृथ्वीच्या स्वतःभोवती फिरण्याने पाण्याला येणाऱ्या फुगवट्यामुळे होतात.

एका किनाऱ्यावरील समुद्राच्या पाण्याची पातळी दिवसातून नियमित कालावधीने दोन वेळा वाढते व कमी होते. तसेच, वेगवेगळ्या स्थानांवर भरती व ओहोटीची वेळ वेगवेगळी असते.

6) एक उदाहरण:- मंगळ ग्रहाचे गुरुत्व-त्वरण पृथ्वीच्या गुरुत्व-त्वरणापेक्षा कमी आहे. खालील आकृतीवरून मंगळाचे त्वरण किती आहे ते काढू शकाल का? तसेच हे शोधून काढा की, पृथ्वीवर 50 किलो वजन असणाऱ्या माणसाचे वजन चंद्रावर किती भरेल?



पुढील तक्त्यात सूर्याचे व त्याच्या ग्रहमालेतील ग्रहांचे गुरुत्व-त्वरण दिले आहे.



6)

Surface Gravity of the Planets and the Sun

Rank	Name	Surface Gravity (meter pr. square second)
1	Sun	274
2	Jupiter	24.92
3	Neptune	11.15
4	Saturn	10.44
5	Earth	9.798
6	Uranus	8.87
7	Venus	8.87
8	Mars	3.71
9	Mercury	3.7
10	Moon	1.62
11	Pluto	0.58

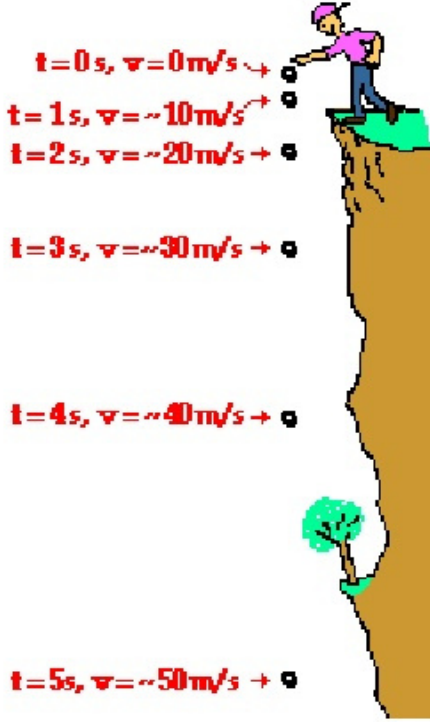
Source: NASA

7) पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे वस्तूचे गुरुत्व-त्वरण 9.8 मी/सेकंद^2 असते. म्हणजे निर्वातात उंचीवरून पृथ्वीवर पडणाऱ्या वस्तूचा वेग दर सेकंदाला 9.8 मी/सेकंद इतका वाढतो. म्हणजेच वस्तूच्या मुक्तपतनात खालील चित्रात दाखवल्याप्रमाणे तिचा वेग दर सेकंदाला वाढत जातो.



7)

Free Fall



- Near the surface of Earth, this acceleration due to gravity is 9.8 m/s^2 .
- For example, suppose an object is dropped from the top of a building at a starting velocity of 0 m/s .
- After one second, its velocity has increased to 9.8 m/s .
- After two seconds, its velocity is 19.6 m/s ($9.8 \text{ m/s} + 9.8 \text{ m/s}$)
- The velocity continues to increase.

गुरुत्वाकर्षणाविषयीचा गमतीदार व्हिडिओ: <https://youtu.be/suQDwZcnJdg>

स्वाध्याय-1

मुलांनो, कृपया वरील अभ्यास पूर्ण झाल्यावरच खालील प्रश्न सोडवा व त्याची प्रश्नासह उत्तरे एका वहीत लिहून काढा. म्हणजे तुमची उजळणीही होईल आणि तुम्ही विसरणार नाही.

- 1) चंद्र पृथ्वीभोवती फिरतो तेव्हां त्यावर कोणते बल कार्य करित असते?
- 2) गुरुत्वाकर्षण ह्या बलाचं इतर बलांच्या तुलनेत काय वैशिष्ट्य आहे?
- 3) दोन पदार्थ, एक अगदी हलका व एक जड, एकाच वेळी एकाच उंचीवरून खाली सोडले तर दोन्ही पदार्थ एकाच वेळी खाली पडणार नाहीत. का?



- 4) G आणि g मध्ये काय फरक आहे?
- 5) G ची किंमत आणि दक्षिण ध्रुवावरील g ची किंमत किती?
- 6) गुरुत्वाकर्षणाचा वैश्विक स्थिरांक कोणी प्रयोगाने शोधला व तो किती आहे?
- 7) गुरुत्वाकर्षणाचा वैश्विक नियम कोणी सांगितला? तो नियम लिहा.
- 8) $m_1 = 1 \text{ Kg}$, $m_2 = 1 \text{ Kg}$, दोन्हीमधील अंतर 1 M तर गुरुत्वाकर्षणाचे बल किती?
- 9) केप्लरचे पहिले दोन नियम केवळ free hand आकृती काढून दाखवा.
- 10) केप्लरचा तिसरा नियम लिहा. तो तुम्हाला जसा समजला असेल तसा तुमच्या शब्दात लिहा.
- 11) गोफण फिरवताना दगड सुटला तर तो कोणत्या दिशेने जाईल ते शब्दात लिहा व free hand आकृती काढून दाखवा.
- 12) पृथ्वीचे चंद्रावर असलेले आकर्षणाचे बल व चंद्राचे पृथ्वीवर असलेले आकर्षणाचे बल ह्यात किती फरक आहे?
- 13) मुक्तपतन होत असताना पदार्थावर कोणकोणती बले कार्य करीत असतात?
- 14) पृथ्वीवरील प्रत्येक वस्तू पृथ्वीकडे आकर्षित होते म्हणजे कुठे आकर्षित होते?
- 15) वस्तुमान व वजन ह्यात काय फरक आहे?
- 16) पदार्थाचे वस्तुमान व वजन कसे मोजतात?
- 17) वस्तुमान व वजन ह्यातील सदिश राशी कोणती?
- 18) एक किलो वस्तुमान असणाऱ्या पदार्थाचे पृथ्वीवरील वजन किती असेल?
- 19) एखाद्या पदार्थाचे पृथ्वीच्या केन्द्रावर वजन किती असेल?



20) केप्लर, गॅलिलीओ, व न्यूटन ह्या शास्त्रज्ञांची माहिती मिळवा व वहीत लिहा.

स्वाध्याय-2

प्रश्न 1 -- रिकाम्या जागी योग्य शब्द भरा.

- 1) पृथ्वी तिच्या जवळील सर्व वस्तूंवर _____ प्रयुक्त करते.
- 2) विषुववृत्तावर "g" चे मूल्य _____ असते.
- 3) SI पध्दतीत वस्तुमानाचे एकक _____ आहे.
- 4) गुरुत्वाकर्षणाचा शोध _____ ने लावला.

प्रश्न 2 --- एका वाक्यात उत्तरे लिहा.

- 1) केप्लरचा पहिला नियम लिहा.
- 2) न्यूटनचा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत लिहा.
- 3) पृथ्वीच्या ध्रुवापेक्षा विषुववृत्तावर गुरुत्व त्वरणाचे मूल्य सर्वात कमी असते.
- 4) मुक्तीवेग म्हणजे काय?

प्रश्न 3 -- थोडक्यात स्पष्ट करा.

- 1) पृथ्वीच्या आत जाताना खोलीनुसार g च्या मूल्यामध्ये काय बदल होतो? व तसा का होतो?
- 2) टीप लिहा ----- मुक्त पतन
- 3) वर फेकलेली एक वस्तू 500 मीटर उंचीपर्यंत जाते. तर तिचा आरंभीचा वेग किती असेल? ($g=10 \text{ m/s}^2$ घ्या)