1. ثقلی کشش (Gravitational Attraction)

- ثقلی کشش
- کیپلر کے قوانین
- زمین کا ثقلی اسراع
- آزاد رفتار
- ثقلی کشش اور مرکز جو قوت
- نیوٹن کا کششِ ثقل کا کائناتی قانون
- آزادانہ حرکت

ذرا یاد کیجیے۔

1. کسی شے پر قوت لگانے سے کیا اثرات ہوں گے؟
2. آپ کو قوت کی کون کون سی قسمیں معلوم ہیں؟
3. ثقلی قوتِ کشش کے متعلق آپ کیا جانتے ہیں؟

آپ گزشتہ جماعت میں پڑھ چکے ہیں کہ ثقلی قوتِ کشش ایک کائناتی قوت ہے جو صرف زمین پر موجود دو اجسام میں ہی نہیں بلکہ کائنات کے کسی بھی دو اجسام کے درمیان اثر انداز ہوتی ہے۔ اس قوت کو کس نے دریافت کیا، اب ہم اس کا مطالعہ کریں گے۔

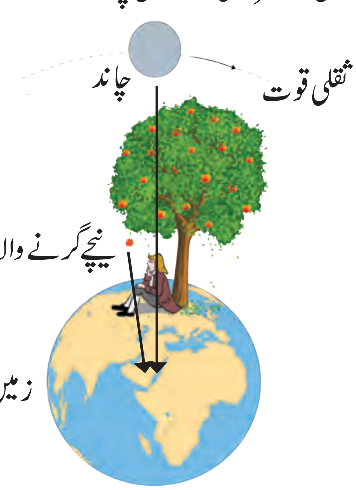
ثقلی کشش (Gravitational Attraction)

یہ تو آپ جانتے ہی ہیں کہ سر آئزیک نیوٹن نے ثقلی کشش دریافت کی۔ کہا جاتا ہے کہ درخت پر سے سیب کو گرتا دیکھ کر انھوں نے ثقلی کشش کی دریافت کی۔ ان کے ذہن میں سوال آیا کہ تمام سیب (اُفقی/عمودی سمت میں) سیدھے نیچے کیوں گرتے ہیں؟ ترچھے کیوں نہیں گرتے؟ یا اُفق کے متوازی کیوں نہیں جاتے۔

بہت سوچنے کے بعد انھوں نے یہ نتیجہ اخذ کیا کہ زمین سیب کو اپنی جانب کشش کرتی ہوگی اور قوتِ کشش کی سمت زمین کے مرکز کی جانب ہوگی۔ زمین کے مرکز کی سمت اُفق پر عمود ہونے سے سیب سطحِ زمین پر عمودی سمت میں نیچے گرتا ہے۔

شکل 1.1 میں زمین پر سیب کا ایک درخت دِکھایا گیا ہے۔ سیب پر عمل کرنے والی قوت، زمین کے مرکز کی جانب ہوتی ہے یعنی سیب کے مقام سے سطحِ زمین پر عمود ہوتی ہے۔ شکل میں چاند اور زمین کے درمیان ثقلی قوت دِکھائی گئی ہے۔ (یہاں فاصلے تناسب میں نہیں دِکھائے گئے ہیں۔)

نیوٹن نے سوچا کہ اگر یہ قوت مختلف اونچائی پر موجود سیب پر اثر کرتی ہے تو کیا سیب سے زیادہ بلندی پر موجود چاند جیسی اشیا پر بھی اثر کرے گی؟ کیا اسی طرح سورج، سیارے اور ایسے ہی چاند سے زیادہ دوری پر واقع فلکی اجسام پر بھی اثر ہوگا؟



1.1: ثقلی قوت کا تصوّر اور چاند کی ثقلی قوت

اطلاعاتی مواصلاتی ٹکنالوجی سے تعلق : مختلف سیاروں کی ثقلی قوت معلوم کر کے پیش کش کا ایک تختہ بنائیے۔

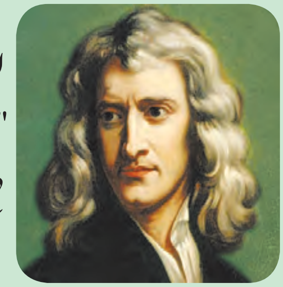
قوت اور رفتار (Force and Motion)

ہم جانتے ہیں کہ کسی جسم کی رفتار کی قدر یا حرکت کی سمت میں تبدیلی پیدا کرنے کے لیے اس پر قوت کا عمل ضروری ہوتا ہے۔

ذرا یاد کیجیے۔

نیوٹن کے حرکت سے متعلق تین قوانین کون سے ہیں؟

سائنس دانوں کا تعارف



سر آئزیک نیوٹن (1642-1727) کو جدید دور کا ایک اہم سائنس داں مانا جاتا ہے۔ ان کی پیدائش انگلینڈ میں ہوئی۔ انھوں نے حرکت کے قوانین، حرکی مساواتیں، ثقلی کشش کے قوانین اپنی کتاب "Principia" میں درج کیے ہیں۔ اس سے قبل کیپلر نے سیاروں کے مدار کا خلاصہ کرنے والے تین اُصول درج کیے تھے لیکن سیارے اس اُصول کے تحت گردش کیوں کرتے ہیں۔ اس کی وجہ معلوم نہ تھی۔ نیوٹن نے ثقلی کشش کے اُصولوں کا استعمال کر کے ان اصولوں کو ریاضیاتی طریقے سے ثابت کیا۔

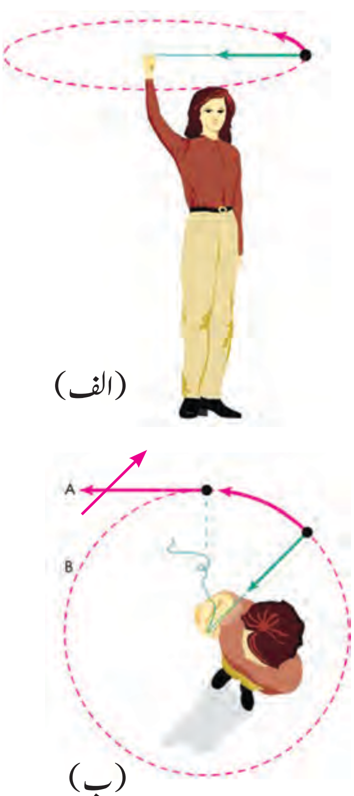
نیوٹن نے نور، آواز، حرارت اور ریاضی کے میدان میں نمایاں کام کیا ہے۔ انھوں نے ریاضی کی ایک نئی شاخ علم الاحصاء (Calculus) نام سے ایجاد کی۔ اس شاخ کا ریاضی اور طبعیات میں بہت زیادہ استعمال کیا جاتا ہے۔ انعکاسی دوربین تیار کرنے والا سب سے پہلا سائنس داں نیوٹن ہے۔

دائروی حرکت (Circular motion) اور مرکز جو قوت (Centripetal force)

آئیے، عمل کر کے دیکھیں۔

ڈوری کے ایک سرے پر ایک پتھر باندھیے۔ ڈوری کے دوسرے سرے کو ہاتھ میں پکڑ کر شکل (1.2 الف) میں دِکھائے ہوئے طریقے سے گھمائیے۔ اس طرح پتھر دائروی حرکت کرنے لگتا ہے۔ اس پتھر پر کیا آپ کوئی قوت لگا رہے ہیں؟ اس کی سمت کون سی ہے؟ یہ قوت اس پر عمل نہ کرے اس کے لیے آپ کیا کریں گے؟ اور ایسا کرنے سے پتھر پر کیا اثر ہوگا؟

جب تک آپ ڈوری کو پکڑے رہتے ہیں تب تک آپ پتھر کو اپنی طرف یعنی دائرے کے مرکز کی جانب کھینچتے ہیں یعنی پتھر پر مدار کی دائروی سمت میں قوت عمل کرتی ہے۔ اگر ہم نے ڈوری چھوڑ دی تب پتھر پر لگائی گئی قوت ختم ہو جائے گی۔ اسی لمحہ مدار (دائرہ) میں پتھر اپنے مقام سے مماسی سمت میں پھینکا جائے گا کیونکہ وہی اس کی رفتار کی سمت ہوتی ہے۔ (شکل 1.2 ب) اس سے قبل آپ نے ایسا ہی ایک عمل کیا تھا۔ آپ کو یاد ہوگا کہ ایک گھومنے والی چکری پر 5 روپے کا سکہ مماسی سمت پھینکا جاتا ہے۔ دائروی مدار میں گھومنے والے جسم پر مدار کے مرکز کی سمت میں قوت عمل کرتی ہے۔ یہ بات مذکورہ بالا عمل سے واضح ہوتی ہے۔ اس قوت کو ہم **مرکز جو قوت (Centripetal force)** کہتے ہیں۔ یعنی اس قوت کی وجہ سے اشیا مرکز کی طرف جانے کے لیے تیار رہتی ہیں۔



1.2 : ڈوری سے باندھا ہوا دائروی مدار میں گھومنے والا پتھر اور مماس کی سمت اس کی رفتار

آپ جانتے ہیں کہ زمین کا قدرتی ذیلی سیارہ چاند، زمین کے اطراف ایک مخصوص مدار میں گردش کرتا ہے۔ یعنی اس کی سمت مسلسل بدلتی رہتی ہے۔ تو کیا اس پر کوئی قوت مسلسل عمل کر رہی ہے؟ اس قوت کی سمت کون سی ہوگی؟ اگر ایسی قوت نہ ہوتی تو پھر چاند کی حرکت کیسی ہوتی؟ کیا ہمارے نظامِ شمسی کے دوسرے سیارے سورج کے اطراف ایسے ہی گھومتے ہیں؟ کیا ان پر بھی ایسی ہی قوت عمل کرتی ہے؟ اس کی سمت کیا ہوگی؟

پچھلی سرگرمی، مثال اور سوالوں پر غور کرنے سے ذہن میں یہ آتا ہے کہ چاند کو زمین کے اطراف مدار میں گردش جاری رکھنے کے لیے اس پر قوت کا اثر ہونا ضروری ہے۔ یہ قوت زمین سے عمل کرتی ہوگی اور چاند کو اپنی جانب کشش کر رہی ہوگی۔ اسی طرح سورج بھی زمین کے ساتھ تمام سیاروں کو اپنی طرف کشش کرتا ہوگا۔

کیپلر کے قوانین (Kepler's Laws)

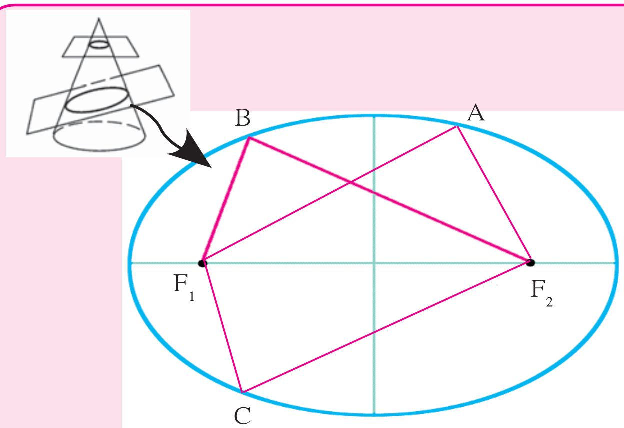
قدیم زمانے سے انسان سیاروں کے مقامات کا مشاہدہ کرتا آ رہا ہے۔ گیلیلیو سے پہلے یہ مشاہدات صرف آنکھوں سے کیے جاتے تھے۔ سولھویں صدی تک سیاروں کے مقامات اور حرکت کے متعلق بہت سی معلومات حاصل ہوگئی تھی۔ 'جوہانس کیپلر' نامی سائنس داں نے ان تمام معلومات کا مطالعہ کیا تو انھیں پتا چلا کہ سیاروں کی حرکت (گردش) کچھ مخصوص اُصولوں کے تحت ہوتی ہے۔ انھوں نے سیاروں کی حرکت کے متعلق تین قوانین بیان کیے۔ کیپلر کے یہ قوانین نیچے دیے ہوئے ہیں۔

کیا آپ جانتے ہیں؟

بیضوی دائرہ یعنی ایک مخروط کی ہموار سطح کو ترچھا کاٹنے سے حاصل ہونے والی سطح کی شکل کو ہموار بیضوی دائرہ کہتے ہیں۔ اس کے دو نقطۂ ماسکہ (مراکز) ہوتے ہیں۔ ان دو نقطۂ ماسکہ سے محیط پر واقع کوئی بھی نقاط کے فاصلوں کے مجموعے ایک دوسرے کے مساوی ہوتے ہیں۔

شکل 1.3 میں F_1 اور F_2 یہ دو نقطۂ ماسکہ اور محیط پر کوئی نقاط A, B, C ہوں تو

$$AF_1 + AF_2 = BF_1 + BF_2 = CF_1 + CF_2$$

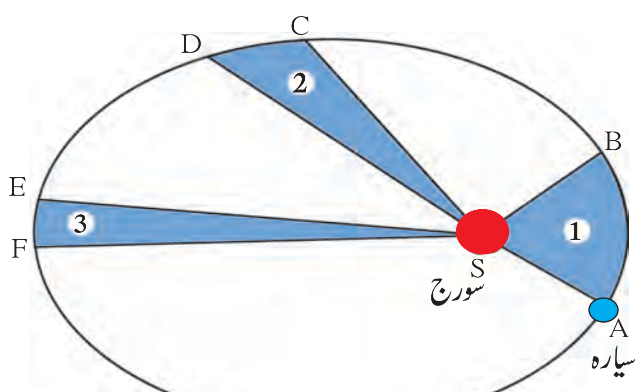


1.3 : بیضوی مدار

کیپلر کا پہلا قانون

سیارے کا مدار بیضوی ہوتا ہے، سورج اس مدار کا ایک نقطۂ ماسکہ ہوتا ہے۔

شکل 1.4 میں سیارہ کی سورج کے اطراف گردش کو بیضوی مدار کے ذریعے دِکھایا گیا ہے۔ سورج کا مقام S سے ظاہر کیا گیا ہے۔



1.4 : سیارہ کی سورج کے اطراف مداری گردش

کیپلر کا دوسرا قانون :

سیارے کو سورج سے جوڑنے والا خطِ مستقیم یکساں وقفۂ وقت میں یکساں علاقہ (رقبہ) طے کرتا ہے۔

شکل میں AS اور CS خطِ مستقیم ایک وقفۂ وقت میں یکساں علاقہ گھیرتے ہیں، یعنی ASB اور CSD کے رقبے مساوی ہیں۔

کیپلر کا تیسرا قانون : **سورج کے اطراف مدار میں گردش کرنے والے سیارے کا گردش کے لیے درکار وقت کا مربع، اس سیارے کا سورج سے اوسط فاصلے کے مکعب کے راست تناسب میں ہوتا ہے۔** یعنی سیارے کا وقفۂ وقت T اور سورج سے اوسط فاصلہ r ہو تو

$$T^2 \propto r^3 \quad \text{یعنی} \quad \frac{T^2}{r^3} = \text{مستقل} = K \qquad \dots (1)$$

کیپلر نے یہ قانون مسلسل مشاہدات کی بنا پر کی گئی سیاروں کے مقامات کی پیمائشوں سے حاصل کیا۔ سیارے ان قوانین پر کیوں عمل پیرا ہیں؟ اس کا جواب انھیں معلوم نہ تھا۔ ثقلی کشش کے قانون کو بیان کرتے وقت کیپلر کے قوانین کس طرح مفید ثابت ہوئے یہ ہم آگے دیکھیں گے۔

آئیے، دماغ پر زور دیں۔ شکل 1.4 میں ESF اور ASB کے رقبے مساوی ہوں تو EF کے متعلق کیا کہا جاسکتا ہے؟

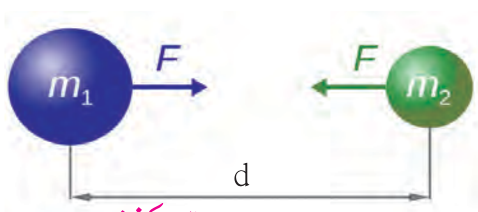
نیوٹن کا کششِ ثقل کا کائناتی قانون (Newton's universal law of gravitation)

مندرجہ بالا تمام مشاہدات اور کیپلر کے قوانین ذہن میں رکھتے ہوئے نیوٹن نے کششِ ثقل کا کائناتی قانون بیان کیا ہے۔ اس قانون کے مطابق کائنات کا ہر ایک جسم دوسرے ہر جسم کو مقررہ قوت سے کشش کرتا رہتا ہے۔ یہ قوت ایک دوسرے کو کشش کرنے والے اجسام کی کمیتوں کے حاصلِ ضرب کے تناسب میں اور ان کے درمیان فاصلے کے مربع کے معکوس تناسب میں ہوتی ہے۔

سائنس دانوں کا تعارف

جوہانس کیپلر (1571-1630) ایک جرمن ماہرِ فلکیات اور ریاضی داں تھے۔ انھوں نے 1600 میں پراگ میں مشہور ماہرِ فلکیات 'ٹائیکو براہے' کے مددگار کے طور پر کام کرنا شروع کیا۔ 1601 میں ٹائیکو براہے کی اچانک موت کے بعد کیپلر کو ان کے عہدے (شاہی ریاضی داں) پر ترقی دی گئی۔ براہے کے ذریعے کیے گئے سیاروں کے مقامات کے مشاہدات کا استعمال کر کے کیپلر نے سیاروں کی حرکت کے قوانین تیار کیے۔ انھوں نے علمِ فلکیات پر مختلف کتابیں لکھیں۔ ان کا یہ کام آگے نیوٹن کو ثقلی کشش کے قوانین بیان کرنے میں مددگار ثابت ہوا۔

شکل 1.5 میں m_1 اور m_2 کمیت والے دو اجسام دِکھائے گئے ہیں۔ ان کے درمیان کا فاصلہ d ہے۔ ان دو اجسام کے درمیان قوتِ کشش F ہے۔ اس کو ریاضیاتی طور پر اس طرح لکھا جاتا ہے۔



1.5 : دو اجسام میں قوتِ کشش

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{d^2} \quad \text{یعنی} \quad F = G\frac{m_1 m_2}{d^2} \qquad \dots (2)$$

G یہ ایک مستقل ہے جسے 'کائناتی مستقل' کہتے ہیں۔

اگر دو اجسام میں سے کسی ایک کی کمیت کو دوگنا کر دیا جائے تو اس قانون کے مطابق ان کے درمیان ثقلی قوتِ کشش دگنی ہو جائے گی۔ اسی طرح ان کے درمیان کا فاصلہ دوگنا کر دیا جائے تو قوت ایک چوتھائی ہو جائے گی۔ دونوں اجسام کروی ہوں تو ان کی قوت ان کے مرکزوں کو جوڑنے والے خطِ مستقیم میں ہوتی ہے اور ان مرکزوں کو جوڑنے والے قطعہ خط کی لمبائی کو ان کے درمیان فاصلہ سمجھا جاتا ہے۔ اگر وہ اجسام مکمل طور پر کروی اور باقاعدہ (Regular shape) نہ ہوں تو قوت ان اجسام کی کمیتوں کے مرکزوں (Centre of mass) کو جوڑنے والے قطعہ خط کی سمت میں ہوتی ہے اور d کے لیے اس قطعہ خط کی لمبائی لی جاتی ہے۔

مساوات (2) سے یہ سمجھ میں آتا ہے کہ G کی قیمت اکائی کمیت رکھنے والے ایک دوسرے سے اکائی فاصلے پر رکھے گئے دو اجسام کے درمیان ثقلی قوت کی پیمائش کرنے پر حاصل ہوگی۔ SI نظام میں G کی قیمت 1 کلوگرام کمیت والے دو اجسام جو 1 میٹر کے فاصلے پر رکھے ہوں تو ان کے درمیان عمل کر رہی ثقلی قوت کے مساوی ہوگی۔

آئیے، دماغ پر زور دیں۔

ثابت کیجیے کہ SI نظام میں G کی اکائی Nm^2/Kg^2 ہے۔

G کی قیمت سب سے پہلے سائنس داں ہینری کیوینڈش نے تجربے کے ذریعے معلوم کی۔ SI نظام میں G کی قیمت حسب ذیل ہے:

$$6.673 \times 10^{-11}\ Nm^2/Kg^2$$

کسی جسم کا مرکزِ کمیت اُس جسم کے اندر یا باہر ایسا نقطہ ہوتا ہے جس پر جسم کی ساری کمیت مرکوز ہوتی ہے۔ یکساں حجم رکھنے والے کروی اجسام کا مرکزِ کمیت کرہ کا ہندسی مرکز ہوتا ہے۔ کسی بھی یکساں کثافت کے اجسام کا مرکزِ کمیت اس کے ہندسی مرکز (centroid) پر ہوتا ہے۔

ثقلی قوتِ کشش کا قانون بیان کرتے وقت نیوٹن کو فاصلے کے مربع کو شامل کرنے کا خیال کس وجہ سے آیا ہوگا؟ اس کے لیے اس نے کیپلر کے تیسرے قانون کی مدد لی۔ کس طرح یہ ہم دیکھیں گے۔

یکساں دائروی حرکت/مرکز جو قوت کا اثر (Uniform circular motion / Effect of centripetal force)

فرض کیجیے ایک جسم یکساں دائروی حرکت سے متحرک ہے۔ آپ جانتے ہیں کہ متحرک جسم مرکز کی جانب مرکز جو قوت کے زیرِ اثر ہوتا ہے۔

اگر اس جسم کی کمیت m، اس کے مدار کا نصف قطر r، اور اس کی رفتار v سے ظاہر کریں تو قوت کی قدر $\frac{mv^2}{r}$ ہوگی۔ اسے ریاضیاتی عمل سے دِکھایا جاسکتا ہے۔

چال = طے کردہ فاصلہ / درکار وقت

اگر ایک سیارہ سورج کے اطراف دائروی مدار میں گردش کرتا ہے تو اس پر سورج کی سمت عمل کرنے والی مرکز جو قوت $F = \frac{mv^2}{r}$ ہونا چاہیے۔ یہاں m سیارہ کی کمیت v اس کی رفتار اور r سیارے کے دائروی مدار کا نصف قطر یعنی سورج سے سیارے کا فاصلہ ہے۔ اس کی رفتار ہم اس کے سورج کے اطراف ایک چکر مکمل کرنے کے لیے درکار وقت (T) اور نصف قطر کا استعمال کرکے معلوم کرسکتے ہیں۔

سورج سے فاصلہ = r ; $2\pi r$ = مدار کا محیط = سیارہ کا ایک چکر (گردش) میں طے کردہ فاصلہ ←

T = درکار وقفہ وقت = اس کے لیے درکار وقت

v = مدار کا محیط / درکار وقفہ وقت $= \frac{2\pi r}{T}$

$$F = \frac{mv^2}{r} = \frac{m\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4m\pi^2 r}{T^2}$$

اس کو r^2 سے ضرب اور تقسیم کرنے پر ہمیں ملتا ہے۔

$$F = \frac{4m\pi^2}{r^2}\left(\frac{r^3}{T^2}\right)$$

کیپلر کے تیسرے قانون سے $\frac{T^2}{r^3} = K$ یہ مستقل ہے۔ $\therefore F = \frac{4m\pi^2}{r^2K}$

لیکن ، $\frac{4m\pi^2}{K}$ = مستقل ، $\therefore F \alpha \frac{1}{r^2}$

اس سے نیوٹن نے یہ نتیجہ اخذ کیا کہ سورج اور سیارے میں مرکز جو قوت جو سیارے کی گردش کی وجہ سے ہوتی ہے، وہ ان کے درمیان فاصلے کے مربع کے معکوس تناسب میں ہوتی ہے۔ یہی ثقلی قوت ہے اور فاصلے کے مربع کے معکوس تناسب میں ہوتی ہے۔ ثقلی کشش کی قوت قدرت میں پائی جانے والی تمام قوتوں کے مقابلے کمزور ہوتی ہے لیکن تمام کائنات پر قابو رکھتی ہے اور کائنات کا مستقبل طے کرتی ہے۔ سیارے، ستارے اور کائنات کے دیگر اجزا کی بہت زیادہ کمیت کی وجہ سے یہ ممکن ہوتا ہے۔

آیئے، دماغ پر زور دیں۔

ٹیبل پر دو اشیا کے درمیان اور آپ کے بازو میں بیٹھے آپ کے دوست کے درمیان کیا ثقلی قوتِ کشش موجود ہے؟ اگر ہے تو دونوں ایک دوسرے کے قریب کیوں نہیں آتے؟

مثال 1 : عبدالصمد اور عبدالباسط ایک دوسرے سے 1 میٹر کے فاصلے پر بیٹھے ہیں ان کی کمّیتیں بالترتیب 75 کلوگرام اور 80 کلوگرام ہیں۔ ان کے درمیان ثقلی قوت کتنی ہے؟

دی ہوئی معلومات :

$r = 1\ m,\ m_1 = 75\ kg,\ m_2 = 80\ kg,$ اور

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

نیوٹن کے قانون کے مطابق

$$F = \frac{G\,m_1 m_2}{r^2}$$

$$F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 75 \times 80}{1^2}\ N$$

$$= 4.002 \times 10^{-7}\ N$$

عبدالصمد اور عبدالباسط کے درمیان ثقلی قوت 4.002×10^{-7} N ہوگی۔

یہ قوت معمولی (قابلِ نظر انداز) ہے۔ اگر عبدالصمد جس بینچ پر بیٹھتا ہے اس کی قوتِ رگڑ صفر ہو تو اس قوتِ کشش کی وجہ سے عبدالصمد عبدالباسط کی جانب سرکنے لگے گا۔ اس کا اسراع اور اس کے ہٹنے کی رفتار ہم نیوٹن کے مساوات کا استعمال کر کے معلوم کر سکتے ہیں۔

مثال 2 : اوپر کی مثال میں عبدالصمد کی چکنی (بغیر رگڑ کے) بینچ پر ساکن حالت سے عبدالباسط کی جانب ہٹنا شروع ہونے کے 1 سیکنڈ کے بعد رفتار کیا ہوگی؟ کیا وہ رفتار وقت کے مطابق بدلے گی اور کیسے؟

دی ہوئی معلومات :

عبدالصمد پر عمل کرنے والی قوت $= F = 4.002 \times 10^{-7} N,$

عبدالصمد کی کمیت $= m = 75\ Kg.$

نیوٹن کے حرکت کے دوسرے قانون کے مطابق عبدالصمد پر

قوت کے عمل سے پیدا اسراع $= a$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4.002 \times 10^{-7}}{75} = 5.34 \times 10^{-9}\ m/s^2$$

نیوٹن کی پہلی حرکتی مساوات کا استعمال کر کے ہم عبدالصمد کی 1 سیکنڈ بعد کی رفتار معلوم کر سکتے ہیں۔

اِس مساوات کے مطابق

$$v = u + at$$

ابتدا میں عبدالصمد بینچ پر بیٹھا ہوا ہے اس لیے اس کی ابتدائی رفتار صفر ہے۔ اس کی بینچ بغیر رگڑ کی ہونے کی بنا پر $(u = 0)$

$$v = 0 + 5.34 \times 10^{-9} \times 1\ m/s$$

عبدالصمد کی 1 سیکنڈ بعد رفتار $= 5.34 \times 10^{-9}\ m/s$

آپ سمجھ گئے ہوں گے کہ یہ بہت ہی دھیمی رفتار ہے جو کہ بغیر رگڑ کے بھی ممکن ہے۔ یہ رفتار اسراع کی وجہ سے بڑھتی جائے گی اور وقت کے مطابق عبدالصمد عبدالباسط کے قریب جانے سے اُن کا فاصلہ کم ہوگا۔ ثقلی کشش کے قانون کے مطابق ثقلی قوت بڑھتی جائے گی جس کی وجہ سے نیوٹن کے دوسرے قانون کے مطابق اسراع بھی بڑھتا جائے گا۔

آیئے، دماغ پر زور دیں۔

مثال 2 میں عبدالصمد کا اسراع مستقل رکھ کر رفتار کے مطابق اس کو عبدالباسط کی جانب 1 سم ہٹنے کے لیے کتنا وقت درکار ہوگا؟

کیا آپ جانتے ہیں؟

سمندر میں باقاعدگی سے ہونے والے مد و جزر کے متعلق آپ جانتے ہیں۔ کسی ایک کنارے پر سمندر کے پانی کی سطح معمول کے مطابق دن میں دو مرتبہ مخصوص اوقات میں بڑھتی اور کم ہوتی ہے۔ مختلف مقامات پر مد و جزر کے اوقات مختلف ہوتے ہیں۔ پانی کی سطح چاند کی ثقلی کشش کی وجہ سے بدلتی ہے۔ اس قوت کی وجہ سے چاند کی سمت میں موجود پانی میں اُبھار پیدا ہوتا ہے جس کی وجہ سے اس مقام پر مد واقع ہوتا ہے اور شکل 1.6 کے مطابق اس مقام سے 90° کے زاویے پر واقع زمین پر موجود پانی کی سطح کم ہوتی ہے اور وہاں جزر واقع ہوتا ہے۔

1.6 : مد و جزر کی حالت

مضمون جغرافیہ کی درسی کتاب سے مد و جزر کے متعلق مزید معلومات حاصل کیجیے۔ ساحل سمندر پر سیر کے لیے جا کر ایک ہی مقام کے مد و جزر کا مشاہدہ کیجیے۔ تصاویر کھینچیے اور ان کی نمائش کیجیے۔

زمین کی ثقلی قوت (Earth's gravitational force)

کیا اُفق کی عمودی سمت خطِ مستقیم میں پھینکے گئے پتھر کی رفتار یکساں ہوگی یا وہ وقت کے ساتھ تبدیل ہوتی ہے؟ کس طرح تبدیل ہوگی؟ وہ پتھر مسلسل اوپر کیوں نہیں جاتا؟ کچھ بلندی پر پہنچ کر وہ واپس نیچے کیوں گرتا ہے؟ اس کی سب سے زیادہ بلندی کس بات پر منحصر ہوتی ہے؟

زمین اپنے قریب کی تمام اشیا کو ثقلی قوت سے اپنی جانب کشش کرتی ہے۔ زمین کا مرکزِ کمیت اس کے مرکز میں ہوتا ہے۔ اسی لیے کسی بھی شے پر زمین کی ثقلی قوت زمین کے مرکز کی سمت ہوتی ہے۔ لہٰذا اس قوت سے شے اُفق کی عمودی سمت سیدھی نیچے گرتی ہے۔ اسی طرح ہم جب کسی پتھر کو اُفق کی عمودی سمت سیدھے اوپر پھینکتے ہیں تب یہ قوت اسے نیچے کی جانب کشش کرتی ہے اور اس کی رفتار کم کرتی ہے۔ مسلسل عمل کرنے والی اس قوت کی وجہ سے کچھ وقفے کے بعد رفتار صفر ہو جاتی ہے اور اسی قوت کے نتیجے میں پتھر نیچے زمین کے مرکز کی جانب آنے لگتا ہے۔

حل کردہ مثالیں

مثال 1 : پچھلی مثال کے مطابق عبدالصمد پر عمل کرنے والی زمین کی قوتِ کشش معلوم کیجیے۔

دی ہوئی معلومات :

→ زمین کی کمیت $= m_1 = 6 \times 10^{24}$ kg

زمین کا نصف قطر $= R = 6.4 \times 10^6$ m

عبدالصمد کی کمیت $= m_2 = 75$ kg

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

ثقلی قوت کے ضابطے کے مطابق عبدالصمد پر زمین کی ثقلی قوت

$$F = \frac{G m_1 m_2}{R^2}$$

$$F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 75 \times 6 \times 10^{24}}{(6.4 \times 10^6)^2}\ N = 733\ N$$

یہ قوت عبدالصمد اور عبدالباسط کے درمیان ہونے والی ثقلی قوتِ کشش کا 1.83×10^9 گنا ہے۔

مثال 2 : زمین کی قوتِ کشش کی وجہ سے بلندی سے نیچے گرتے ہوئے حالتِ سکون سے حرکت میں آنے کے 1 سیکنڈ کے بعد عبدالصمد کی رفتار کیا ہوگی؟

دی ہوئی معلومات :

→ عبدالصمد کی ابتدائی رفتار $u = 0$

اُس پر ثقلی قوت $= F = 733$ N

عبدالصمد کی کمیت $= m = 75$ kg

$t = 1$ s

عبدالصمد کا اسراع $a = \frac{F}{m} = \frac{733}{75}\ m/s^2$

$= 9.77\ m/s^2$

نیوٹن کی پہلی حرکت کی مساوات سے

$v = u + at$

عبدالصمد کی 1 سیکنڈ بعد رفتار

$v = 0 + 9.77 \times 1 = 9.77$ m/s

یہ رفتار صفحہ 6 کی مثال (2) میں عبدالصمد کی رفتار کے 1.83×10^9 گنا ہے۔

آیئے، دماغ پر زور دیں۔ نیوٹن کے قانون کے مطابق ہر ایک شے دوسری ہر شے کو کشش کرتی ہے یعنی زمین سیب کو اپنی جانب کھینچتی ہے، اسی طرح سیب بھی زمین کو اتنی ہی قوت سے اپنی جانب کھینچتا ہے۔ پھر سیب زمین پر کیوں گرتا ہے؟ زمین سیب کی جانب کیوں نہیں جاتی؟

زمین کی ثقلی قوت کی وجہ سے چاند زمین کے اطراف گردش کرتا ہے۔ زمین کے اطراف گردش کرنے والے مصنوعی سیارے پر یہی عمل ہوتا ہے۔ چاند اور مصنوعی سیارے زمین کے اطراف گردش کرتے ہیں۔ ان کو زمین اپنی جانب کشش کرتی ہے لیکن وہ سیب کی طرح زمین پر نہیں گرتے۔ ایسا کیوں ہوتا ہے؟ چاند اور مصنوعی سیاروں کی اپنے اپنے مدار میں ان کی رفتار سے ایسا ہوتا ہے۔ یہ رفتار نہ ہوتی تو وہ زمین پر گر گئے ہوتے۔

زمین کا ثقلی اسراع (Earth's gravitational acceleration)

زمین کے قریب کی تمام اشیا پر ثقلی قوت کا اثر ہوتا ہے۔ نیوٹن کے دوسرے قانون کے مطابق کسی شے پر عمل کرنے والی قوت سے اس شے میں اسراع پیدا ہوتا ہے۔ اس کو زمین کا ثقلی اسراع کہتے ہیں اور اسے 'g' حرف سے ظاہر کرتے ہیں۔ اسراع ایک سمتی مقدار ہے۔ زمین کے ثقلی اسراع کی سمت، ثقلی قوت کی طرح زمین کے مرکز کی جانب یعنی اُفق کی عمودی سمت ہوتی ہے۔

ذرا سوچیے۔

1. زمین کی ثقلی کشش نہ ہوتی تو کیا ہوتا؟
2. G کی قیمت دوگنا ہوتی تو کیا ہوتا؟

سطحِ زمین پر 'g' کی قیمت : نیوٹن کے قانون کے مطابق زمین کے مرکز سے r فاصلے پر m کمیت والے جسم پر قوتِ ثقل (F) اور اس جسم کا اسراع (g) نیچے دیے گئے طریقے سے معلوم کر سکتے ہیں۔

$$F = \frac{G\,M\,m}{r^2} \quad \ldots (3)$$

$$F = Mg \quad \ldots (4)$$

M یہ زمین کی کمیت ہے۔ مساوات (3) اور (4) سے

$$mg = \frac{G\,M\,m}{r^2}$$

$$g = \frac{G\,M}{r^2} \quad \ldots (5)$$

اگر شے سطحِ زمین پر واقع ہو تو r = R زمین کا نصف قطر

اِسی لیے سطحِ زمین پر 'g' کی قیمت ذیل کے مطابق ہوگی۔

$$g = \frac{G\,M}{R^2} \quad \ldots (6)$$

SI نظام میں g کی اکائی m/s^2 ہے۔ زمین کی کمیت 6×10^{24} kg اور اس کا نصف قطر 6.4×10^6 m ہے۔

مساوات (6) میں یہ قیمت رکھنے پر

$$g = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{(6.4 \times 10^6)^2} = 9.77\ m/s^2 \quad \ldots (7)$$

یہ اسراع صرف زمین کی کمیت M اور اس کے نصف قطر R پر منحصر ہوتا ہے اس لیے وہ زمین پر کسی بھی شے کے لیے یکساں ہوتا ہے۔ شے کی کسی بھی خصوصیت پر منحصر نہیں ہوتا۔

بتائیے تو بھلا!

اگر زمین کی کمیت دگنی اور نصف قطر آدھا کر دیا جائے تو 'g' کی قیمت کیا ہوگی؟

'g' کی قیمت میں ہونے والی تبدیلی

(الف) سطحِ زمین پر تبدیلی : کیا سطحِ زمین پر ہر جگہ g کی قیمت یکساں ہوگی؟ اس کا جواب ہے نہیں۔ اس کی وجہ یہ ہے کہ زمین کی شکل مکمل کروی نہیں ہے۔ اسی لیے اس کی سطح پر مختلف نقاط کا زمین کے مرکز سے فاصلہ نقطہ کے مقام کے مطابق بدلتا ہے۔ زمین اپنے محور کے گرد گھومنے کی وجہ سے قطبین کے قریب اس کی شکل سپاٹ ہے اور استوائی علاقہ اُبھرا ہوا ہے۔ یعنی زمین کا نصف قطر قطبین پر کم اور خطِ استوا پر زیادہ ہوتا ہے۔ اس لیے g کی قیمت قطبین پر سب سے زیادہ یعنی $9.832\ m/s^2$ اور وہاں سے خطِ استوا پر جاتے وقت بتدریج کم ہوتی جاتی ہے۔ استوائی علاقے میں g کی قیمت سب سے کم یعنی $9.78\ m/s^2$ ہے۔

(ب) اونچائی کے مطابق تبدیلی : سطحِ زمین سے اوپر جاتے وقت نقطے کا مرکز سے فاصلہ بڑھتا جاتا ہے اور مساوات (5) کے مطابق g کی قیمت کم ہوتی جاتی ہے۔ زمین کی سطح سے شے کی اونچائی زمین کے نصف قطر کے مقابلے بہت کم ہونے کی وجہ سے اس اونچائی سے g میں ہونے والی تبدیلی کم ہوتی ہے۔ مثال کے طور پر زمین کا نصف قطر 6400 km ہے۔ زمین کی سطح سے 10 کلومیٹر بلندی پر اُڑنے والے ہوائی جہاز کا زمین کے مرکز سے فاصلہ 6400 کلومیٹر سے 6410 کلومیٹر تک یعنی 10 کلومیٹر بڑھنے سے g کی قیمت میں ہونے والی تبدیلی بہت معمولی ہوتی ہے۔ اور اگر ہم کسی مصنوعی سیارے کے متعلق سوچتے ہیں تب زمین کی سطح سے اس کی بلندی کی وجہ سے g کی قیمت میں ہونے والی تبدیلی کو دھیان میں رکھنا ہوگا۔ کچھ مخصوص بلندی کے لیے g کی قیمت میں ہونے والی تبدیلی نیچے جدول میں دی ہوئی ہے۔

مقام	سطحِ زمین سے اونچائی (km)	$g\ (m/s^2)$
سطحِ زمین کا حصہ (اوسط)	0	9.81
ماؤنٹ ایوریسٹ	8.8	9.8
انسان کے تیار کردہ غبارے سے حاصل کی گئی سب سے زیادہ بلندی	36.6	9.77
خلائی جہاز کا مدار	400	8.7
مواصلاتی سیٹلائٹ (مصنوعی سیارے) کا مدار	35700	0.225

اونچائی کے مطابق 'g' کی قیمت میں ہونے والی تبدیلی

(ج) گہرائی کے مطابق تبدیلی: زمین کے اندر گہرائی میں جاتے وقت بھی g کی قیمت تبدیل ہوتی رہتی ہے۔اگر مساوات (5) میں r کی قیمت بتدریج کم کی جائے تو g کی قیمت بڑھنی چاہیے لیکن شے زمین کے مرکز کی جانب جانے کی وجہ سے جسم پر عمل کرنے والی ثقلی قوت کا زمینی حصہ بھی کم ہوتا ہے۔یعنی مساوات (5) میں استعمال ہونے والی M کی قیمت بھی بدلتی ہے۔ان کے ایک ساتھ اثر سے زمین کے اندر گہرائی میں جاتے وقت گہرائی کے مطابق g کی قیمت کم ہوتی جاتی ہے۔

ذرا سوچیے۔

1. زمین کے اندر گہرائی میں جاتے وقت کیا ثقلی قوت کی سمت میں کچھ فرق آئے گا؟
2. زمین کے مرکز پر g کی کتنی قیمت ہوگی؟

ہر ایک سیارہ، سیارچے کی کمیت اور نصف قطر الگ الگ ہوتے ہیں اور مساوات (6) کے مطابق ہر ایک کی سطح پر g کی قیمت بھی مختلف ہوتی ہے۔ چاند کی قوتِ ثقل زمین کی قوتِ ثقل کا 1/6 گنا ہوتی ہے۔اسی لیے مخصوص قوت کا استعمال کر کے چاند پر زمین کے مقابلے 6 گنا زیادہ اونچی چھلانگ لگا سکتے ہیں۔

کمیت اور وزن (Mass and Weight)

کمیت : کسی بھی شے کی کمیت اس میں موجود مادّے کی مقدار ہوتی ہے۔SI نظام میں اس کی اکائی کلوگرام ہے۔کمیت غیر سمتی مقدار ہے۔ایک ہی شے کی کمیت ہر جگہ یکساں ہوتی ہے۔کسی دوسرے سیارے پر بھی اس کی قیمت تبدیل نہیں ہوتی۔ نیوٹن کے پہلے قانون کے مطابق کمیت شے کے جمود کے مقدار کی پیمائش ہے۔یعنی کمیت جتنی زیادہ ہوگی جمود بھی اتنا ہی زیادہ ہوتا ہے۔

وزن : کسی جسم کو زمین جس قوت سے کشش کرتی ہے، اس قوت کو وزن کہتے ہیں۔ m کمیت والے جسم پر زمین کی ثقلی قوت (F) مساوات (4) کی بنا پر

$$\therefore \text{وزن}, W = F = mg \quad ..... \left(g = \frac{GM}{R^2}\right)$$

وزن یہ ایک قوت ہونے کی وجہ سے SI نظام میں اس کی اکائی نیوٹن ہے۔اسی طرح وزن قوت ہونے کی وجہ سے سمتی مقدار ہے۔اس قوت کی سمت زمین کے مرکز کی جانب ہوتی ہے۔ g کی قیمت ہر جگہ یکساں نہیں ہوتی اس لیے شے کا وزن بھی مقام کے مطابق بدلتا ہے، لیکن اس کی کمیت ہر جگہ یکساں ہوتی ہے۔

عام بول چال میں ہم وزن لفظ کا استعمال وزن اور کمیت دونوں معنوں میں کرتے ہیں اور کسی شے کی پیمائش وزن kg میں یعنی کمیت کی اکائی میں کرتے ہیں۔لیکن جب ہم عرفان کا وزن 75 kg ہے ایسا سائنسی زبان میں کہتے ہیں تب ہماری مراد عرفان کی کمیت ہے۔75 kg والے جسم پر جتنی ثقلی قوت عمل کرتی ہے اتنا عرفان کا وزن ہے ایسا ہم اخذ کرتے ہیں۔عرفان کی کمیت 75kg ہونے سے زمین پر اس کا وزن $F = mg = 75 = 75 \times 9.8 = 735\ N$ ہوتا ہے۔1 kg کمیت کا وزن $1 \times 9.8 = 9.8\ N$ ہوتا ہے۔ہمارے وزن کی پیمائش کرنے والے آلات ہم کو کمیت ہی بتاتے ہیں۔دکانوں میں موجود مساوی بازو والا ترازو دو وزنوں کا اور دو کمیتوں کا موازنہ کرتے ہیں۔

آئیے، دماغ پر زور دیں۔

1. سطحِ زمین سے اونچائی پر جائیں تو کیا آپ کا وزن مستقل رہے گا؟
2. فرض کیجیے آپ ایک اونچی سیڑھی پر کھڑے ہیں۔ زمین کے مرکز سے آپ کا فاصلہ 2R ہو تو آپ کا وزن کتنا ہوگا؟

حل کردہ مثالیں

مثال : اگر ایک شخص کا زمین پر وزن 750 N ہے تب چاند پر اس کا وزن کتنا ہوگا؟
(چاند کی کمیت زمین کی کمیت کا $\frac{1}{81}$ گنا ہے تب اس کا نصف قطر زمین کے قطر کا $\frac{1}{3.7}$ گنا ہے۔)

دی ہوئی معلومات :

زمین پر وزن $= 750\ N,$

زمین کی (M_E) اور چاند کی (M_M) کمیتوں میں نسبت $= \frac{M_E}{M_M} = 81$

زمین کے (R_E) اور چاند کے (R_M) نصف قطروں میں نسبت $= \frac{R_E}{R_M} = 3.7$

فرض کیجیے اس شخص کی کمیت m kg ہے۔

زمین پر اس کا وزن $= m\,g = 750 = \frac{m\,G\,M_E}{R_E^2} \qquad \therefore\ m = \frac{750\,R_E^2}{(G\,M_E)}$ ....(i)

شخص کا چاند پر وزن $= \frac{m\,G\,M_M}{R_M^2}$

مساوات (i) کے استعمال سے،

$$= \frac{750\,R_E^2}{(G\,M_E)} \times \frac{G\,M_M}{R_M^2} = 750\,\frac{R_E^2}{R_M^2} \times \frac{M_M}{M_E} = 750 \times (3.7)^2 \times \frac{1}{81} = 126.8\ N$$

چاند پر کسی شے کا وزن زمین پر اس کے وزن کا 1/6 گنا ہے۔ چاند پر کسی شے کا وزن $m\,g_M$ (g_M یعنی چاند کا ثقلی اسراع) ایسا لکھ سکتے ہیں۔ یعنی چاند پر اسراع زمین کے اسراع کا 1/6 گنا ہے۔

کیا آپ جانتے ہیں؟

ثقلی لہریں (Gravitational waves) : پانی میں پتھر پھینکنے سے اس پر لہریں تیار ہوتی ہیں۔ اسی طرح آپ نے دیکھا ہوگا کہ دھاگے کے دونوں سرے پکڑ کر ہلانے سے اس پر بھی لہریں پیدا ہوتی ہیں۔ نور بھی ایک قسم کی لہر ہی ہے۔ اس کو برقی مقناطیسی لہریں کہتے ہیں۔ گاما شعاعیں، X- شعاعیں(X-rays)، بالائے بنفشی شعاعیں(UVR)، زیریں سرخ شعاعیں (IRR) ، مائیکرو ویو اور ریڈیو لہریں یہ سب برقی مقناطیسی لہروں کی مختلف اقسام ہیں۔ فلکی اجسام یہ لہریں خارج کرتے ہیں اور ہم اپنے مخصوص آلات کی مدد سے انھیں حاصل کرتے ہیں۔ کائنات کے متعلق ہم کو تمام معلومات ان لہروں کی وجہ سے حاصل ہوئی ہیں۔

ثقلی لہریں بالکل مختلف قسم کی لہریں ہیں۔ ان کو خلائی مواصلاتی لہریں کہا گیا ہے۔ ان کی موجودگی کے متعلق آئن اسٹائن نے 1916 میں پیشین گوئی کی تھی۔ یہ لہریں بہت کمزور ہونے کی وجہ سے انھیں تلاش کرنا بہت مشکل ہوتا ہے۔ فلکی اجسام سے خارج ہونے والی ثقلی لہروں کو ڈھونڈنے کے لیے سائنس دانوں نے بہت ہی حساس آلات تیار کیے ہیں۔ ان میں LIGO یعنی Laser Interferometric Gravitational Wave Observatory اہم ہے۔ سائنس دانوں نے 2016 میں آئن اسٹائن کی پیشین گوئی کے مکمل 100 سال بعد فلکی اجسام سے آنے والی ثقلی لہروں کو دریافت کیا۔ اس معلومات میں بھارتی سائنس دانوں کا نمایاں حصہ ہے۔ اس دریافت سے کائنات کی معلومات حاصل کرنے کا ایک نیا راستہ کھل گیا ہے۔

آزادانہ حرکت (Free fall)

عمل کیجیے۔

ایک چھوٹا پتھر ہاتھ میں پکڑیے۔ اس پر کون کون سی قوتیں عمل کر رہی ہیں؟ اب اُس پتھر کو آہستہ سے چھوڑ دیجیے۔ آپ نے کیا محسوس کیا؟ پتھر چھوڑنے سے اس پر کس قوت نے عمل کیا؟

ہم جانتے ہیں کہ زمین کی ثقلی قوت تمام اجسام پر عمل کرتی ہے۔ جب ہم پتھر کو ہاتھ میں پکڑے ہوئے تھے تب بھی اس پر یہ قوت عمل کر رہی تھی لیکن ہم ہاتھ سے مخالف سمت میں قوت لگا کر اس کو متوازن کر رہے تھے اور وہ پتھر ساکن تھا۔ جب ہم نے ہاتھ سے چھوڑ دیا تو صرف ثقلی قوت ہی عمل کر رہی تھی۔ اسی کے اثر سے پتھر نیچے گر گیا۔ اگر کوئی جسم صرف ثقلی قوت کے اثر سے متحرک ہو تو اُس حرکت کو آزادانہ حرکت کہتے ہیں۔ یعنی پتھر کی آزادانہ حرکت ہوتی ہے۔ آزادانہ حرکت میں ابتدائی رفتار صفر ہوتی ہے اور وقت کے مطابق ثقلی اسراع کی وجہ سے بڑھتی جاتی ہے۔ زمین پر آزادانہ حرکت کے دوران ہوا سے رگڑ کی وجہ سے جسم کی حرکت میں مزاحمت ہوتی ہے اور جسم پر مزاحمتی قوت بھی عمل کرتی ہے۔ اس لیے صحیح معنوں میں آزادانہ حرکت ہوا میں ممکن نہیں۔ وہ صرف خلا میں ہی ممکن ہے۔

آزادانہ حرکت سے جسم کی زمین پر گرتے وقت رفتار اور اس کو درکار وقت ہم نیوٹن کی مساواتوں کا استعمال کر کے معلوم کر سکتے ہیں۔ آزادانہ حرکت میں اسراع g ہوتا ہے اور ابتدائی رفتار u صفر ہوتی ہے، اس کا استعمال کرتے ہوئے ذیل کے مطابق مساواتیں حاصل ہوتی ہیں۔

$$v = g\,t$$

$$s = \frac{1}{2}\,g\,t^2$$

$$v^2 = 2\,g\,s$$

سیدھے اوپر پھینکی گئی شے کی حرکت کا مطالعہ کرتے وقت g کی قیمت g کی بجائے g– لینا ہوگا کیونکہ اس رفتار کا اسراع رفتار کی مخالف سمت میں ہوتا ہے۔ g کی قدر اتنی ہونے پر بھی اِس اسراع کی وجہ سے پتھر کی رفتار بڑھنے کی بجائے کم ہوتی جاتی ہے۔ چاند اور مصنوعی سیارے بھی صرف زمین کی ثقلی قوت کے اثر سے ہی متحرک رہتے ہیں۔ اس لیے وہ بھی آزادانہ حرکت کی مثالیں ہیں۔

کیا آپ جانتے ہیں؟

زمین پر کسی ایک مقام پر g کی قیمت تمام اشیا کے لیے یکساں ہوتی ہے۔ اس لیے کوئی بھی دو اشیا ایک ہی بلندی سے چھوڑنے پر ایک ہی وقت زمین پر پہنچتی ہیں۔ ان کی کمیت یا دیگر کوئی بھی خصوصیت اس وقفے پر اثر انداز نہیں ہوتی۔ ایسا کہا جاتا ہے کہ گیلیلیو نے تقریباً 1590 میں اٹلی کے پیسا شہر میں ایک تجربہ کر کے یہ ثابت کیا۔ ایک جھکے ہوئے مینار سے دو الگ الگ کمیت کی گیندیں ایک ہی وقت میں نیچے چھوڑی گئیں تب وہ ایک ہی وقت زمین پر گریں۔

ہم ایک وزنی پتھر اور ایک پَر اگر اونچائی سے ایک ہی وقت میں چھوڑیں تب وہ ایک ہی وقت میں زمین پر پہنچتے ہوئے دِکھائی نہیں دیتے۔ ہوا کی مزاحمتی قوت کی وجہ سے پَر ہوا میں اُڑتا ہوا آہستہ آہستہ نیچے آتا ہے اور زمین پر دیر سے پہنچتا ہے۔ ہوا کی وجہ سے پتھر پر عمل ہونے والی قوت اس کے وزن سے بہت کم ہوتی ہے اور پتھر کی حرکت پر کم اثر ہوتا ہے۔ اس کے باوجود سائنس دانوں نے یہ تجربہ خلا یا ہوا کی غیر موجودگی میں کر کے یہ ثابت کیا ہے کہ پتھر اور پَر دونوں اشیا ایک ہی وقت میں زمین پر پہنچتی ہیں۔

حوالے کے لیے دیکھیے : https://www.youtube.com/watch?v=eRNC5kcvINA

مثال 1 : ایک 3 kg کمیت کی لوہے کی گیند 125 m بلندی سے نیچے گرتی ہے۔ g کی قیمت $10\ m/s^2$ فرض کرکے ذیل میں دی ہوئی مقداروں کی قیمتیں معلوم کیجیے۔

(الف) زمین تک پہنچنے کے لیے درکار وقت

(ب) زمین پر پہنچتے وقت کی رفتار

(ج) نصف وقت کے بعد اس کی بلندی

دی ہوئی معلومات : لوہے کی گیند کی کمیت = $m = 3\ kg$ ،

کل طے کردہ فاصلہ = $s = 125\ m$, ابتدائی رفتار = $u = 0$,

اسراع = $a = g = 10\ m/s^2$

(الف) نیوٹن کی دوسری مساوات کی بنا پر

$$s = ut + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\therefore\ 125 = 0t + \frac{1}{2} \times 10 \times t^2 = 5t^2$$

$$t^2 = \frac{125}{5} = 25$$

$$t = 5\ s$$

لوہے کی گیند 5 سیکنڈ میں زمین پر پہنچے گی۔

(ب) نیوٹن کی پہلی مساوات کی بنا پر

آخری رفتار $= v = u + at$

$= 0 + 10 \times 5$

$= 50\ m/s$

لوہے کی گیند کی زمین پر پہنچتے وقت کی رفتار 50 m/s ہوگی۔

(ج) کل وقت کا نصف وقفہ $= t = \frac{5}{2} = 2.5$ سیکنڈ

اس وقت لوہے کی گیند کا طے کردہ فاصلہ $= s$

نیوٹن کی دوسری مساوات کی بنا پر

$$s = ut + \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = 0 + \frac{1}{2} 10 \times (2.5)^2 = 31.25\ m.$$

نصف وقت میں لوہے کی گیند کی بلندی

$$= 125 - 31.25 = 93.75\ m$$

مثال 2 : ایک ٹینس کی گیند اوپر پھینکنے پر وہ 4.05 میٹر بلندی پر پہنچ کر نیچے آتی ہے۔ اس کی ابتدائی رفتار کتنی تھی؟ نیچے آنے کے لیے اسے کل کتنا وقت درکار ہوگا؟ g کی قیمت $10\ m/s^2$

دی ہوئی معلومات :

گیند کی اوپر جاتے وقت آخری رفتار , $v = 0$

گیند کا طے کردہ فاصلہ , $s = 4.05\ m$

گیند کا اسراع $a = -g = -10\ m/s^2$

نیوٹن کی تیسری مساوات کی بنا پر

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$0 = u^2 + 2(-10) \times 4.05$$

$$\therefore\ u^2 = 81$$

$$u = 9\ m/s$$

لہٰذا گیند کی ابتدائی رفتار = 9 m/s

اب ہم گیند کے نیچے آنے کا عمل دیکھیں گے۔ فرض کیجیے کہ گیند t وقت میں نیچے آتی ہے۔ اب گیند کی ابتدائی رفتار 0 m/s ، گیند کا طے کردہ فاصلہ 4.05 m اور گیند کی رفتار اور اسراع کی سمت ایک ہی ہے

اس لیے $a = g = 10\ m/s^2$

نیوٹن کی دوسری مساوات کی بنا پر ...

$$s = ut + \frac{1}{2} a t^2$$

$$4.05 = 0 + \frac{1}{2} 10\, t^2$$

$$t^2 = \frac{4.05}{5} = 0.81, \quad t = 0.9\ s$$

گیند کو نیچے آنے کے لیے 0.9 سیکنڈ درکار ہوں گے۔ اسے اوپر جانے کے لیے بھی اتنا ہی وقت درکار ہوگا۔

گیند کو درکار کل وقت $= 2 \times 0.9 = 1.8\ s$

آئیے، دماغ پر زور دیں۔

نیوٹن کے ثقلی کشش کے قانون کے مطابق زیادہ کمیت والے اجسام پر زمین کی ثقلی قوت زیادہ ہوتی ہے تب وہ جسم کم کمیت والے جسم سے زیادہ رفتار سے کیوں نہیں گرتا؟

ثقلی توانائی بالقویٰ (Gravitational potential energy)

گزشتہ جماعت میں آپ نے توانائی بالقویٰ کے متعلق سیکھا ہے۔ شے کی مخصوص حالت یا مقام کی وجہ سے اس میں جو توانائی جمع ہوتی ہے اسے توانائی بالقویٰ کہتے ہیں۔ یہ توانائی نسبتی ہوتی ہے اور سطح سے شے کی اونچائی بڑھانے پر وہ بڑھتی جاتی ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ m کمیت والے اور زمین کی سطح سے h بلندی پر موجود شے کی ثقلی توانائی بالقویٰ mgh ہوتی ہے اور سطحِ زمین پر وہ صفر ہوتی ہے۔ h کی قیمت زمین کے نصف قطر کے مقابلے بہت کم ہو تو ہم g کی قیمت کو مستقل مان سکتے ہیں اور اوپر دیا گیا ضابطہ mgh استعمال کر سکتے ہیں لیکن h کی قیمت زیادہ ہونے پر g کی قیمت بلندی کے مطابق کم ہوتی جاتی ہے۔ شے زمین سے لامحدود فاصلے پر ہو تو g کی قیمت صفر ہوتی ہے اور شے پر زمین کی ثقلی قوت اثر نہیں کرتی۔ اس لیے وہاں شے کی ثقلی توانائی بالقویٰ بھی صفر ماننا زیادہ مناسب ہوتا ہے۔ اگر فاصلہ اِس سے بھی کم ہو تو توانائی بالقویٰ صفر سے کم یعنی منفی رہتی ہے۔

شے زمین کی سطح سے h بلندی پر ہو تو اس کی ثقلی توانائی بالقویٰ $-\dfrac{GMm}{R+h}$ ہوگی۔

یہاں M اور R بالترتیب زمین کی کمیت اور نصف قطر ہیں۔

گریز ثقلی رفتار (Escape velocity)

آپ جانتے ہیں کہ گیند اوپر پھینکنے پر اس کی رفتار کم ہوتی جاتی ہے۔ یہ زمین کی ثقلی کشش کی وجہ سے ہوتا ہے۔ اور ایک مخصوص بلندی پر جا کر اس کی رفتار صفر ہو جاتی ہے اور وہ وہاں سے نیچے گرنے لگتی ہے۔ اس کی زیادہ سے زیادہ بلندی اس کی ابتدائی رفتار پر منحصر ہوتی ہے۔

نیوٹن کی تیسری مساوات کی بنا پر

$$v^2 = u^2 + 2as$$

v = گیند کی آخری رفتار $= 0$ اور $a = -g$

$\therefore \quad 0 = u^2 + 2(-g)s$ اس لیے ,

گیند کی زیادہ سے زیادہ اونچائی $= s = \dfrac{u^2}{(2g)}$

اس لیے گیند کی ابتدائی رفتار جتنی زیادہ ہوگی گیند اتنی زیادہ بلندی پر جائے گی۔ یعنی ابتدائی رفتار جتنی زیادہ ہوگی گیند اتنا ہی زیادہ زمین کی کشش کا مقابلہ کر سکتی ہے اور اتنی ہی زیادہ اونچائی پر جا سکتی ہے۔

جیسا کہ آپ نے اوپر دیکھا g کی قیمت سطحِ زمین سے اونچائی کے مطابق کم ہوتی جاتی ہے، اسی لیے اونچائی پر جانے کے بعد گیند پر ثقلی کشش کم ہوتی ہے۔ ہم گیند کی ابتدائی رفتار بڑھاتے چلے جائیں تو وہ زیادہ سے زیادہ اونچائی تک جائے گی اور ایک مخصوص ابتدائی رفتار ایسی بھی ہوگی کہ اُس رفتار سے گیند کو اوپر پھینکنے پر گیند زمین کی قوتِ کشش کو مات دے دے گی اور زمین پر نہیں گرے گی۔

ابتدائی رفتار کی اِس مخصوص قیمت کو گریز ثقلی رفتار (V_{esc}) کہتے ہیں کیونکہ اس رفتار سے پھینکی ہوئی شے زمین کی ثقلی کشش سے آزاد ہو سکتی ہے۔ ہم توانائی کی بقا کے قانون کا استعمال کر کے آگے دیے گئے طریقے سے گریز ثقلی رفتار کے ضابطے معلوم کر سکتے ہیں۔

ابتدائی رفتار، گریز ثقلی رفتار کے مساوی ہونے پر شے زمینی سطح سے سیدھا اوپر جانے پر زمین کی ثقلی کشش سے آزاد ہو جاتی ہے۔ ثقلی کشش کی قوت فاصلے کے مربع کے معکوس تناسب میں ہونے سے وہ قوت لامحدود فاصلے پر ہی صفر ہو جاتی ہے۔ یعنی شے کو اس قوت سے آزاد ہونے کے لیے لامحدود فاصلے پر جانا ضروری ہے۔ یعنی شے لامحدود فاصلے پر جا کر ساکن ہو جائے گی۔

m کمیت والے جسم کی کل توانائی

سطحِ زمین پر

(الف) توانائی بالحرکت $= \dfrac{1}{2}mv^2_{esc}$

(ب) توانائی بالقویٰ $= -\dfrac{GMm}{R}$

(ج) توانائی بالقویٰ + توانائی بالحرکت = E_1 کل توانائی

$$= \frac{1}{2}mv^2_{esc} - \frac{GMm}{R}$$

لامحدود فاصلے پر

(الف) توانائی بالحرکت $= 0$

(ب) توانائی بالقویٰ $= -\dfrac{GMm}{\infty} = 0$

(ج) توانائی بالقویٰ + توانائی بالحرکت = E_2 کل توانائی $= 0$

توانائی کی بقا کے مطابق $E_1 = E_2$

$$\frac{1}{2} mv^2_{esc} - \frac{GMm}{R} = 0$$

$$v^2_{esc} = \frac{2\,GM}{R}$$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2\,GM}{R}}$$

$$= \sqrt{2\,g\,R}$$

$$= \sqrt{(2 \times 9.8 \times 6.4 \times 10^6)} = 11.2\ km/s$$

چاند پر یا دوسرے سیاروں پر بھیجے جانے والے خلائی طیاروں کی ابتدائی رفتار، گریز ثقلی رفتار سے زیادہ ہونا ضروری ہے۔ جس سے وہ طیارہ زمین کی ثقلی کشش کو عبور کر کے دیگر سیاروں تک پہنچ سکتے ہیں۔

حل کردہ مثالیں

مثال : چاند کی کمیت اور نصف قطر بالترتیب 7.34×10^{22} kg اور 1.74×10^6 m ہے۔ چاند پر کی گریز ثقلی رفتار معلوم کیجیے۔

دی ہوئی معلومات :

چاند کی کمیت $M = 7.34 \times 10^{22}$ kg,

اس کا نصف قطر $R = 1.74 \times 10^6$ m اور

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

گریز ثقلی رفتار $= v_{esc} = \sqrt{\frac{2\,GM}{R}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 7.34 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6}}$$

$= 2.37$ km/s

چاند پر گریز ثقلی رفتار $= 2.37$ km/s

کیا آپ جانتے ہیں؟

خلا میں عدم توازن کی کیفیت

خلائی طیارے کے مسافر اور اشیا تیرتی ہوئی دِکھائی دیتی ہیں۔ اس کی کیا وجہ ہے؟ خلائی طیارے زمین سے اونچائی پر ہوں تب بھی g کی قیمت صفر نہیں ہوتی۔ خلائی اسٹیشن پر g کی قیمت سطح زمین پر کی قیمت کے مقابلے صرف 11% کم ہوتی ہے، اس لیے خلائی طیارے کی بلندی بے وزنی کی وجہ سے نہیں ہے بلکہ ان کی یہ بے وزنی کی کیفیت ان کے اور خلائی جہاز کی آزادانہ حرکت کی وجہ سے ہے۔ طیارے کے مدار میں رفتار کی وجہ سے وہ حقیقتاً زمین پر نہیں گرتا تب بھی ان پر ثقلی قوت کا عمل ہونے سے وہ آزادانہ حرکت ہی کرتے ہیں۔ آزادانہ حرکت کی رفتار شے کی خصوصیات پر منحصر نہیں ہوتی۔ مسافر، طیارہ اور اس کی چیزیں یکساں رفتار سے آزادانہ گھومتی رہتی ہیں۔ اسی لیے کوئی شے ہاتھ سے چھوڑنے پر مسافر کی نسبت سے وہ ساکن ہوتی ہے اور بے وزن ہونے کا احساس ہوتا ہے۔

مشق

1. درج ذیل جدول کے تین ستونوں میں تعلق کو ذہن میں رکھ کر اس کے مطابق دوبارہ جدول بنا کر لکھیے۔

I	II	III
کمیت	m/s^2	مرکز کے قریب صفر
وزن	kg	جمود کی پیمائش
ثقلی اسراع	Nm^2/kg^2	ساری کائنات میں یکساں
ثقلی مستقل	N	بلندی پر منحصر ہے

2. ذیل کے سوالوں کے جواب لکھیے۔

(الف) وزن اور کمیت کے درمیان کیا فرق ہے؟ کیا کسی شے کی کمیت اور وزن زمین اور مریخ پر یکساں ہوں گے؟ کیوں؟

(ب) آزاد حرکت، ثقلی اسراع، آزاد رفتار اور مرکز گریز قوت کی تعریف لکھیے۔

(ج) کیپلر کے تین قوانین لکھیے۔ اس کی وجہ سے نیوٹن کو اپنے ثقلی قوانین بیان کرنے میں کس طرح مدد ملی؟

(د) ایک پتھر u رفتار سے پھینکنے پر h بلندی تک پہنچتا ہے اور بعد میں نیچے آتا ہے۔ ثابت کیجیے کہ اوپر جانے کے لیے اسے جتنا وقت درکار ہوتا ہے اتنا ہی نیچے آنے کے لیے درکار ہوتا ہے۔

(ہ) فرض کیجیے g کی قیمت اچانک دوگنی ہوجائے تو کیا ایک وزنی شے کو زمین پر کھینچنا دگنا مشکل ہوگا؟ کیوں؟

3. زمین کے مرکز پر g کی قیمت صفر ہوتی ہے، اس کے متعلق وضاحت کیجیے۔

4. ایک ستارے سے R فاصلے پر واقع سیارے کی گردش کو درکار وقت T ہے تو ثابت کیجیے کہ اگر وہی سیارہ 2R فاصلے پر ہو تو اس کی گردش کے لیے درکار وقت $\sqrt{8}\,T$ ہوگا۔

5. مثالیں حل کیجیے۔

(الف) اگر ایک سیارے پر ایک شے کو 5 m بلندی سے نیچے آنے کے لیے 5 سیکنڈ درکار ہوتے ہیں تو اس سیارے کا ثقلی اسراع کتنا ہوگا؟ **جواب: $g = 0.4\ m/s^2$**

(ب) سیارہ 'ج' کا نصف قطر 'خ' سیارے کے نصف قطر کا نصف ہے۔ 'ج' کی کمیت M_A ہے۔ اگر 'خ' سیارے پر g کی قیمت 'ج' سیارے کی قیمت کا نصف ہو تو 'خ' سیارے کی کمیت کتنی ہوگی؟ **جواب: $2\ M_A$**

(ج) ایک شے کی کمیت اور زمین پر وزن بالترتیب 5 kg اور 49 N ہیں۔ اگر چاند پر g کی قیمت زمین کا 1/6 گنا ہو تو اس شے کی چاند پر کمیت اور وزن کتنا ہوگا؟

جواب: 5 kg اور 8.17 N

(د) اوپر پھینکی گئی ایک شے 500 میٹر بلندی تک پہنچتی ہے۔ اس کی ابتدائی رفتار کتنی ہوگی؟ اس شے کو اوپر جا کر واپس نیچے آنے کے لیے کتنا وقت درکار رہوگا؟ $(g = 10\ m/s^2)$

جواب: 100 m/s, 20 s

(ہ) ٹیبل پر سے ایک گیند نیچے گرنے پر 1 سیکنڈ میں زمین پر پہنچتی ہے۔ $g = 10 m/s^2$ ہو تو ٹیبل کی اونچائی اور زمین پر پہنچتے وقت گیند کی رفتار کتنی ہوگی؟

جواب: 5 m, 10 m/s

(و) زمین اور چاند کی کمیتیں بالترتیب 6×10^{24} kg اور 7.4×10^{22} kg ہیں اور دونوں کے درمیان کا فاصلہ 3.84×10^{5} km ہے۔ ان دونوں کے درمیان ثقلی قوت کتنی ہوگی؟

(دیا ہوا ہے: $G = 6.7 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$)

جواب: 2×10^{20} N

(ز) زمین کا وزن 6×10^{24} kg ہے اور اس کا سورج سے فاصلہ 1.5×10^{11} m ہے۔ اگر ان دونوں کے درمیان ثقلی قوت 3.5×10^{22} N ہو تو سورج کی کمیت کتنی ہوگی؟

جواب: 1.96×10^{30} kg

سرگرمی:

اپنے پانچ دوستوں کے وزن معلوم کیجیے۔ اس کی مدد سے ان کے چاند اور مریخ پر وزن معلوم کیجیے۔