# ज्वार-भाटा

## (Tides)

महासागरों तथा समुद्रों का जल कभी शान्त नहीं रहता। उनमें सदैव विभिन्न प्रकार की गतियाँ पाई जाती हैं। महासागरीय जल में उत्पन्न गतियों को स्थूल रूप से तीन वर्गों में विभाजित किया जाता है:- (i) **ज्वार-भाटा** (tides), (ii) **धारायें** (currents) तथा (ii) **लहरें** (waves)। ज्वारा भाटा से तात्पर्य समुद्रों के जल के आवर्ती चढ़ाव तथा उतार (periodic rise and fall) से है। धारायें महासागरों में सरिता प्रवाह की भाँति होती हैं, जिनमें स्पष्ट किनारों के मध्य जलराशि आगे की ओर प्रवाहित होती है। लहरें महासागरीय जल में दोलनात्मक गति (oscillatory movement) का प्रतिनिधित्व करती हैं, जिनकी उत्पत्ति पवनों के कारण होती है।

इन सभी गतियों में ज्वार-भाटा सर्वाधिक महत्वपूर्ण माना जाता है, क्योंकि यह ऐसी गति है जिससे महासागर का सम्पूर्ण जल ऊपर से नीचे तक प्रभावित होता है। ज्ञातव्य है कि अत्यन्त प्राचीन काल से ही समुद्रों के तटवर्ती क्षेत्रों के निवासी तथा नाविक समुद्र के जलस्तर में दिन में दो वार ऊपर उठने तथा उतने ही बार नीचे गिरने की क्रिया का अवलोकन करते रहे हैं। उन्हें अपने अनुभवों के आधार पर यह विश्वास था कि जल के स्तर में इस प्रकार के उतार-चढ़ाव का सम्बन्ध निश्चित रूप से चन्द्रमा एवं सूर्य से है। किन्तु सूर्य, चन्द्रमा और ज्वार-भाटा के मध्य किस प्रकार का संबन्ध है-- यह एक पहेली बन कर रह गया। इस पहेली को सुलझाने के लिये ईसा पूर्व से लेकर सत्रहवीं शताब्दी के उत्तरार्द्ध तक वैज्ञानिकों, दार्शनिकों तथा अन्य विद्वानों के द्वारा अनेक प्रयास किये गए, किन्तु ज्वार-भाटा की उत्पत्ति का समाधान नहीं हो सका। सन् 1687 ई. में **सर आइज़क न्यूटन** ने अपने **गुरुत्वाकर्षण सिद्धान्त** द्वारा प्रथम बार यह स्पष्ट किया कि सूर्य, चन्द्रमा और पृथ्वी की पारस्परिक आकर्षण शक्ति ही ज्वार की उत्पत्ति का मूल कारण है।

ज्वार उत्पादक बलों की विवेचना से पूर्व ज्वार संबन्धी कुछ पारिभाषिक शब्दों का अर्थ समझ लेना उचित होगा। ज्वार और भाटा समुद्री जल की लम्बवत् गतियों के द्योतक हैं। जब सूर्य तथा चन्द्रमा की आकर्षणशक्ति के फलस्वरूप जल ऊपर उठता है, तब उसे **ज्वार** की संज्ञा प्रदान की जाती है। इसके विपरीत, जब समुद्र का जल नीचे गिर जाता है, तब उसे **भाटा** (ebb) कहते हैं। इस प्रकार ज्वार और भाटा एक प्रकार की लहर है, जिसमें जल के कण आगे बढ़ने के बजाय ऊपर और नीचे (to and fro) गतिशील होते हैं। ज्वार और भाटे के कारण समुद्र के जल के स्तर में जो अन्तर होता है, उसे **ज्वारीय परिसर** (tidal range) कहते हैं। दो ज्वारों (high tides) के समयान्तराल को **ज्वारीय अन्तराल (tidal interval)** कहा जाता है। जब कभी किसी खाड़ी में ज्वार-भाटा के फलस्वरूप क्षैतिज धारायें उत्पन्न हो जाती हैं, तब उन्हें **ज्वारीय धारायें (tidal currents)** कहते हैं। तट की ओर अग्रसर होने वाली ज्वारीय धाराओं को **flood tide** तथा समुद्र की ओर लौटने वाली धाराओं को **ebb tide** कहा जाता है। इन ज्वारीय धाराओं की विशेषताओं का उल्लेख आगे किया गया है।

खुले हुए महासागर में ज्वार-भाटा से उत्पन्न जल के स्तरों की ऊँचाइयों का अन्तर बहुत कम (30-60 सेमी तक) होता है। किन्तु उथले तटवर्ती सागरों में यह अन्तर 10 मीटर तक हो सकता है। कहीं-कहीं **ज्वारीय इस्चुअरी** (estuary) में 13 मीटर तक का अन्तर पाया जाता है। सबसे अधिक

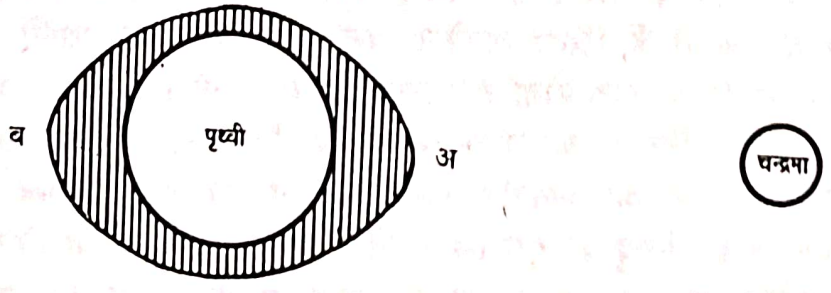
ज्वारीय परिसर **फण्डी की खाड़ी** (कनाडा के उत्तरीपूर्वी तट) में अंकित किया जाता है। इस खाड़ी के मुहाने पर ज्वारीय परिसर लगभग 2.5 मीटर, तथा खाड़ी के शीर्षभाग पर 15 मीटर तक रिकार्ड किया गया है। इसके विपरीत, भूमध्य सागर तथा बाल्टिक सागर जैसे आंशिक रूप से स्थल से घिरे समुद्रों में ज्वारीय परिसर बहुत कम होता है।

अटलांटिक महासागर के अधिकांश भागों में चौबीस घण्टे की अवधि में 12 घं. 25 मि. के अन्तर पर दो बार ज्वार-भाटा उत्पन्न होता है, जिनकी ऊँचाइयों में समानता पाई जाती है। इन्हें **अर्द्ध दैनिक ज्वार (semi-diurnal tides)** कहते हैं। प्रशान्त तथा हिन्द महासागर में प्रतिदिन दो ज्वार-भाटा आते हैं, किन्तु उनके आयामों (amplitudes) में विभिन्नता होती है। कभी ज्वारों की ऊँचाइयों में अन्तर होता है और भाटे का जल-स्तर स्थिर होता है। इसके विपरीत, कभी ज्वारों की ऊँचाइयाँ समान होती हैं, किन्तु भाटे का जल-स्तर भिन्न-भिन्न होता है। ऐसे ज्वार-भाटे का जल-स्तर भिन्न-भिन्न होता है। ऐसे ज्वार-भाटे को **मिश्रित ज्वार (mixed tides)** कहते हैं। इनके अतिरिक्त, कुछ विशेष क्षेत्रों जैसे, मैक्सिको की खाड़ी, फिलीपीन्स द्वीपसमूह के समीपवर्ती सागर, अलास्का के तटवर्ती सागर तथा चीन के समीपवर्ती कुछ समुद्री क्षेत्रों आदि में चौबीस घण्टे में केवल एक ज्वार-भाटा उत्पन्न होता है, जिसे **दैनिक ज्वार (diurnal tides)** की संज्ञा प्रदान की जाती है। उपर्युक्त विभिन्न प्रकार के ज्वार-भाटे की उत्पत्ति के कारणों की व्याख्या करना कठिन है, क्योंकि इनको उत्पन्न करने वाले बल सम्पूर्ण पृथ्वी पर लगभग समान होने चाहिए। अतः इन विभिन्न प्रकार के ज्वारों की उत्पत्ति के लिये महासागरों अथवा सागरों के आकार, उनके समीपवर्ती स्थलखण्डों की स्थिति तथा किनारे के उथले समुद्रों की प्रकृति आदि कारकों को उत्तरदायी माना जाता है। इन तीनों प्रकार के ज्वारों के अतिरिक्त कहीं-कहीं ज्वार भाटा में ऐसी विसंगतियाँ पाई जाती हैं, जिनकी व्याख्या करना अत्यन्त कठिन कार्य है। उदाहरणार्थ, साउदम्पटन के निकट समुद्र में दो घण्टों के अन्तराल में दो उच्च ज्वार उत्पन्न होते हैं, जिनके जल-स्तरों में मात्र 30 से 60 सेमी का अन्तर होता है।

उपर्युक्त विवरण से स्पष्ट है कि ज्वारीय परिसर तथा ज्वार-भाटे की प्रकृति में सर्वत्र समानता नहीं पाई जाती। अतः ज्वार उत्पन्न करने वाले बलों तथा महासागरों की अन्तर्क्रिया के सबन्ध में जानकारी प्राप्त करना आवश्यक हो जाता है।

## ज्वारोत्पादक बल (Tide-producing Forces)

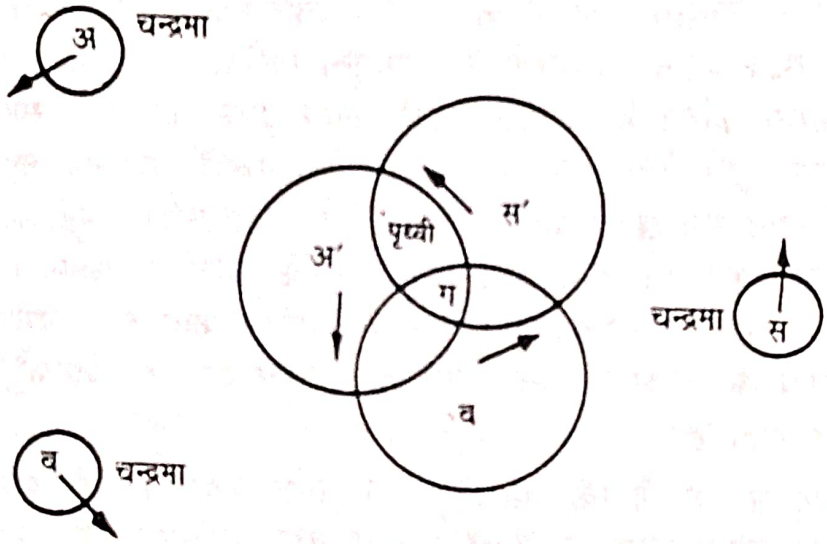
**न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम** (Newton's Law of Gravitation) के फलस्वरूप ज्वार उत्पन्न करने वाले बलों का विश्लेषण करना सम्भव हो सका। **न्यूटन** ने यह बताया कि विश्व में पदार्थ का प्रत्येक कण प्रत्येक दूसरे कण को अपनी ओर आकर्षित करता है। इस सर्वव्यापी आकर्षण बल (Universal Gravitation) को **'गुरुत्वाकर्षण'** कहते हैं। इसी नियम के अनुसार दो पदार्थों के कणों के बीच लगने वाला आकर्षण बल (attractive force) कणों के द्रव्यमान (mass) के गुणनफल का अनुक्रमानुपाती (directly proportional) तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग का व्युत्क्रमानुपाती (inversely proportional) होता है। इस बल की दिशा दोनों कणों को मिलाने वाली रेखा की सीध में होती है। ज्ञातव्य है कि आकाशीय पिण्डों के द्रव्यमान की अधिकता के कारण उनके मध्य आकर्षण बल का




चित्र 21.1 प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष ज्वार

परिमाण (magnitude) काफी अधिक होता है। इसी बल के कारण आकाशीय पिण्डों (heavenly bodies) में आवश्यक **अभिकेन्द्र बल** (centripetal force) उत्पन्न होता है। इसी कारण से पृथ्वी सूर्य के चारो ओर तथा चन्द्रमा पृथ्वी के चारो ओर परिक्रमा करता है।

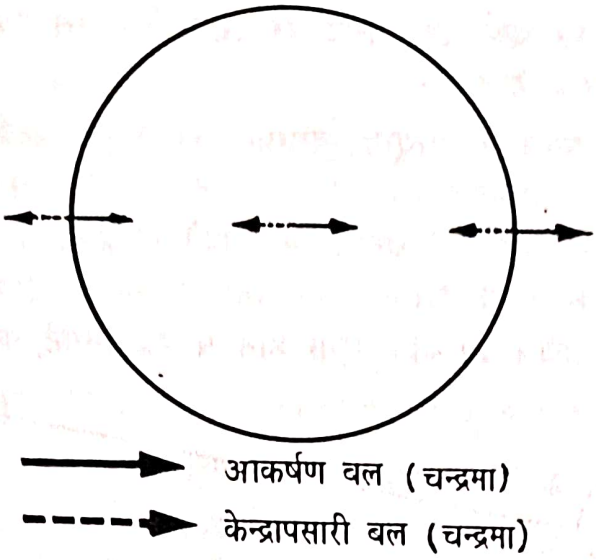
यद्यपि सूर्य का द्रव्यमान चन्द्रमा के द्रव्यमान से 2 करोड़ 60 लाख गुना अधिक है, किन्तु पृथ्वी से सूर्य की दूरी (14,90,00,000 किमी) पृथ्वी और चन्द्रमा के मध्य की दूरी की अपेक्षा 380 गुना अधिक है। **अतः उपर्युक्त नियम के अनुसार सूर्य का ज्वारोत्पादक बल चन्द्रमा के ज्वारोत्पादक बल का केवल 4/9 है। अतः ज्वार-भाटा की उत्पत्ति में सूर्य की अपेक्षा चन्द्रमा का आकर्षण बल अधिक महत्वपूर्ण होता है** (चित्र 21.1)। यद्यपि महासागरों के जल के प्रत्येक कण पर ब्रह्माण्ड में स्थित प्रत्येक आकाशीय पिण्ड का प्रभाव पड़ता है, किन्तु अधिक दूर स्थित होने के कारण उनके आकर्षण बलों का प्रभाव नगण्य होता है। इस प्रकार स्पष्ट है कि महासागरों में ज्वार-भाटा की उत्पत्ति चन्द्रमा और सूर्य के ज्वारोत्पादक वलों के प्रभाव के कारण होती है। न्यूटन ने सन् 1687 में पहली बार बताया कि ज्वारोत्पादक वल पृथ्वी-सूर्य तथा पृथ्वी-चन्द्रमा के द्रव्यमानों के पारस्परिक आकर्षण का परिणाम है।




चित्र 21.2 चन्द्रमा एवं पृथ्वी के परिक्रमण का उभयनिष्ठ गुरुत्व केन्द्र

ज्वारोत्पादक बलों के विश्लेषण के लिये सर्वप्रथम चन्द्रमा के प्रभाव को समझना होगा। पृथ्वी एवं चन्द्रमा के बीच की दूरी इतनी अधिक है कि पृथ्वी तथा चन्द्रमा के द्रव्यमानों के सभी कणों के बीच सभी **आकर्षण बलों** तथा **अपकेन्द्रीय बलों** (centrifugal forces) में पूर्ण सन्तुलन बना हुआ है। यदि ऐसा न होता तो अपकेन्द्री बल के कारण पृथ्वी तथा चन्द्रमा एक दूसरे से दूर चले जाते। स्मरण रहे कि पृथ्वी और चन्द्रमा एक उभयनिष्ठ गुरुत्वाकर्षण केन्द्र के चारो ओर चक्कर लगाते हैं (चित्र 21.2)। यह गुरुत्वाकर्षण केन्द्र पृथ्वी के चन्द्रमा की ओर वाले भाग में सतह से 300 मीटर नीचे स्थित है। ध्यान देने योग्य दूसरी बात यह है कि उपर्युक्त सन्तुलन धरातल पर स्थित अलग-अलग विन्दुओं के लिये लागू नहीं होता। **इसका सम्बन्ध दोनों बलों के सम्पूर्ण योग से है।**

**चूँकि पृथ्वी की सतह पर स्थित सभी विन्दु पृथ्वी-चन्द्रमा के गुरुत्वाकर्षण केन्द्र के चारो ओर** एक ही मार्ग पर चक्कर लगाते हैं, अतः अपकेन्द्र बल पृथ्वी पर सभी स्थानों पर एक ही परिमाण (magnitude) तथा समान दिशा वाला होता है। इसके विपरीत, आकर्षण वलों का परिमाण और उनकी दिशा भूतल पर स्थित विभिन्न विन्दुओं की चन्द्रमा से दूरी पर निर्भर करती है। चित्र-21.1 के अवलोकन से स्पष्ट हो जाता है कि चन्द्रमा का आकर्षण बल बिन्दु 'अ' पर सबसे अधिक है, क्योंकि पृथ्वी के केन्द्र की अपेक्षा चन्द्रमा से इस विन्दु की दूरी 6400 किमी कम है, अर्थात् यह विन्दु चन्द्रमा के सर्वाधिक निकट है। इसके विपरीत, ब विन्दु पर चन्द्रमा का आकर्षण बल सबसे कम लगता है, क्योंकि यह




चित्र 21.3 आकर्षण वल एवं केन्द्रापसारी वल

पृथ्वी के केन्द्र से 6400 किमी दूर है। वास्तव में यह दूसरा विन्दु चन्द्रमा से अधिकतम दूरी पर स्थित है। पृथ्वी का जो गोलार्द्ध चन्द्रमा के सम्मुख पड़ता है, वहाँ चन्द्रमा का आकर्षण वल उसके केन्द्रापसारी बल (centrifugal force) की अपेक्षा अधिक मात्रा में होता है। दूसरी ओर पृथ्वी का जो गोलार्द्ध चन्द्रमा से विमुख होता है, वहाँ केन्द्रापसारी बल का परिमाण आकर्षण बल से अधिक होता है। केवल पृथ्वी के केन्द्र पर आकर्षण बल और केन्द्रापसारी बल परस्पर समान होते हैं। अ तथा व विन्दुओं को छोड़कर पृथ्वी की सतह पर स्थित अन्य सभी विन्दुओं पर सीमित परिमाण वाले **अवशिष्ट बल** (residual forces) उपर्युक्त दोनों बलों के **परिणामी बल** (resultant forces) का कार्य करते हैं। दूसरे शब्दों में, **चन्द्रमा के आकर्षण बल तथा केन्द्रापसारी बल का अन्तर ही ज्वारोत्पादक बल होता है (चित्र 21.3)।**

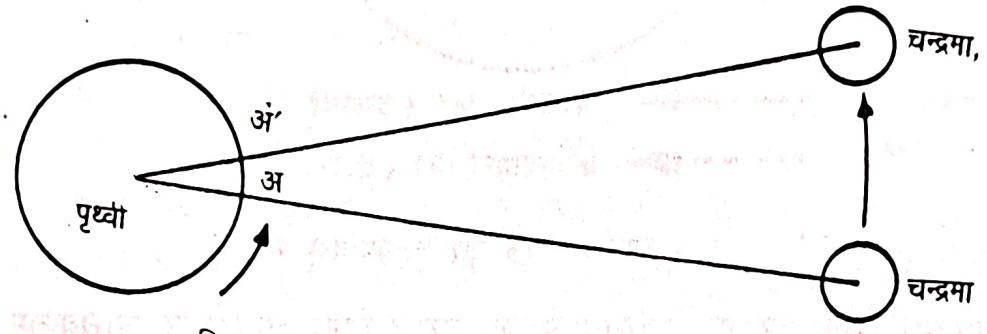
गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना में ज्वारोत्पादक बल बहुत ही कम होता है। इस ज्वारोत्पादक वल को ऊर्ध्वाधर (vertical) तथा क्षैतिज (horizontal) घटकों में विभाजित किया जाता है। ज्वारोत्पादक बल का ऊर्ध्वाधर घटक गुरुत्वकेन्द्र की दिशा में कार्य करता है तथा ज्वारों की उत्पत्ति में इस घटक का कुछ भी महत्व नहीं होता। **वस्तुतः ज्वारोत्पादक बल के क्षैतिज घटक का ही ज्वारा-भाटा उत्पन्न करने में सर्वाधिक महत्वपूर्ण योगदान होता है।**

ज्वारोत्पादक बलों की उपर्युक्त विवेचना से यह निष्कर्ष निकलता है कि चन्द्रमा के सम्मुख स्थित विन्दु 'अ' पर आकर्षण बल की अधिकता के परिणामस्वरूप उत्पन्न ज्वारोत्पादक बल से महासागरों का जल चन्द्रमा की ओर ऊपर उठ जाता है, जिसे **प्रत्यक्ष ज्वार** (direct tide) की संज्ञा प्रदान की जाती है। इसके विपरीत, ब विन्दु पर अपकेन्द्र बल आकर्षण बल से अधिक होने के कारण महासागरीय जल में उभार लाने में सक्षम होता है। इसे **अप्रत्यक्ष ज्वार** (indirect tide) कहा जाता है। इस प्रकार एक ही समय $180^{o}$ देशान्तर की दूरी पर प्रतिदिन **दो ज्वार** उत्पन्न होते रहते हैं। इन दोनों ज्वारों के बीच में समुद्र का जलस्तर नीचे गिर जाता है, क्योंकि वहाँ का जल खिंच कर दोनों उच्च ज्वारों की ओर विस्थापित हो जाता है। महासागरों में जल-स्तर के इस प्रकार नीचे चले जाने को **'भाटा'** कहा जाता है।

पृथ्वी अपनी कल्पित धुरी पर 24 घण्टे में एक चक्कर पूरा कर लेती है, जिसे दैनिक आवर्तन (diurnal rotation) कहते हैं। पृथ्वी के इस दैनिक आवर्तन के कारण उसकी सतह पर स्थित प्रत्येक विन्दु चौबीस घण्टे की अवधि में महासागरीय जल के उपर्युक्त दोनों उभारों से होकर गुजरता है। अतः प्रत्येक स्थान पर प्रतिदिन दो ज्वार और दो भाटा उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार प्रत्येक स्थान पर 12 घण्टे के अन्तर पर ज्वार की उत्पत्ति होनी चाहिए। किन्तु पृथ्वी और चन्द्रमा की सापेक्ष स्थितियों में अन्तर

के परिणामस्वरूप प्रत्येक ज्वार 12 घण्टे 26 मिनट पर आता है। इस प्रकार प्रत्येक 24 घं. 52 मिनट पर दो ज्वार और दो भाटा उत्पन्न होते हैं।

दो ज्वारों के आने के समय में उपर्युक्त विसंगति का कारण पृथ्वी का घूर्णन (rotation) तथा चन्द्रमा का पृथ्वी के चारो ओर परिक्रमण (revolution) है। चौबीस घण्टे में जब पृथ्वी अपना एक चक्कर पूरा कर लेती है, तब इसी अवधि में चन्द्रमा भी अपने परिक्रमा पथ (orbit) पर थोड़ी दूर आगे निकल जाता है। अतः पृथ्वी के किसी देशान्तर को पुनः चन्द्रमा के ठीक सामने आने के लिये थोड़ी और दूरी तय करनी पड़ती है (चित्र 21.4)। ऐसा होने में 52 मिनट का अतिरक्त समय लगता है।




चित्र 21.4 ज्वार आने के समय में उत्पन्न अन्तर

**इसका कारण स्पष्ट है। एक विशेष स्थान अथवा ज्वार-केन्द्र पृथ्वी के दैनिक आवर्तन के कारण** 24 घण्टे में एक चक्कर पूरा कर लेता है, किन्तु इसी अवधि में चन्द्रमा अपनी कक्षा (orbit) के 2/55 भाग की दूरी तक आगे निकल जाता है। ज्ञातव्य है कि पृथ्वी के एकमात्र उपग्रह चन्द्रमा को पृथ्वी की एक परिक्रमा पूरी करने में लगभग $27\frac{1}{2}$ दिन लग जाते हैं। अतः उपर्युक्त ज्वार-केन्द्र को पुनः चन्द्रमा के सामने पहुँचने में 52 मिनट (24x2x60/55 = 52 मिनट) का अतिरिक्त समय लग जाता है। उसी देशान्तर को चन्द्रमा के सम्मुख आने में 52 मिनट से कुछ कम अथवा अधिक समय भी लग सकता है। ऐसे ज्वार-भाटे को, जो 24 घं. 52 मि० में दो बार अर्थात् 12 घण्टे 26 मिनट के अन्तराल पर आते हैं, **अर्द्ध-दैनिक ज्वार** (semidiurnal tides) कहा जाता है। स्मरण रहे कि ऐसे ज्वार सभी महासागरों **अथवा समद्रों में उत्पन्न नहीं होते. बल्कि उनके कछ विशेष क्षेत्र होते हैं।**

## ज्वार-भाटा पर सूर्य का प्रभाव

यद्यपि सूर्य का द्रव्यमान चन्द्रमा से लगभग ढाई-करोड़ गुना अधिक है, फिर भी पृथ्वी से उसकी अधिक दूरी के कारण पृथ्वी के केन्द्र पर लगने वाला सूर्य का आकर्षण बल चन्द्रमा के आकर्षण बल का मात्र 169 गुना अधिक होता है। ज्ञातव्य है कि ज्वारों की उत्पत्ति आकर्षण बल पर निर्भर नहीं करती, वल्कि उसके लिये एक ओर पृथ्वी के केन्द्र पर लगने वाले आकर्षण बल तथा दूसरी ओर पृथ्वी के निकटतम और दूरतम विन्दुओं पर लगने वाले आकर्षण बल का अन्तर उत्तरदायी होता है। **इस प्रकार किसी आकाशीय पिण्ड का ज्वारोत्पादक बल उसकी दूरी के घन का विलोमानुपाती होने के कारण ज्वार-भाटा की उत्पत्ति में चन्द्रमा का स्थान प्रमुख तथा सूर्य का गौण है।** किन्तु इसमें कोई सन्देह नहीं कि सूर्य के ज्वारोत्पादक बल के कारण महासागरों में उत्पन्न ज्वार और भाटे कुछ अंशों में अवश्य प्रभावित होते हैं।