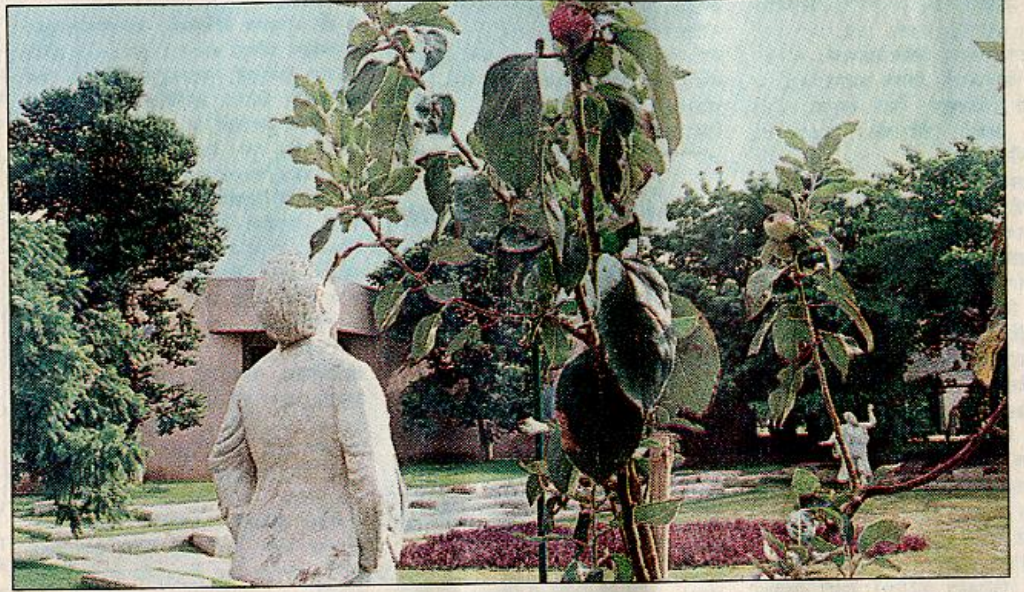


## खगोल विज्ञानाच्या पारुलखुणा

गेल्या सहस्रकात खगोल विज्ञानात घडलेली स्थित्यंतरे या लेखमालेत प्रस्तुत केली आहेत. पहिल्या सात लेखांत भूतकाळाचा आढावा घेतला आहे, तर आठव्या आणि शेवटच्या लेखात भविष्यकाळाकडे दृष्टिक्षेप टाकून काय स्थित्यंतरे घडू शकतील यावर तर्क करायचे घाडस केले आहे. या दुसऱ्या लेखात गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाचा शोध खगोल निरीक्षणातून कसा लागला याविषयी..

डॉ. जयंत नारळीकर



चित्र १ : न्यूटनच्या घरातील सफरचंदाच्या झाडाचा वंशज! हे रोप (इंग्लंडमधील ब्रॉडेल हॉर्टिकल्चरल ट्रस्टतर्फे पुरवले गेले) आयुकातील आइन्स्टाइनच्या पुतळ्यामागे वाढत आहे. असेच एक रोप आयुकात न्यूटनच्या पुतळ्यामागे आणि एक तेथील विज्ञान वाटिकेत लावले आहे.

# गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाचा शोध

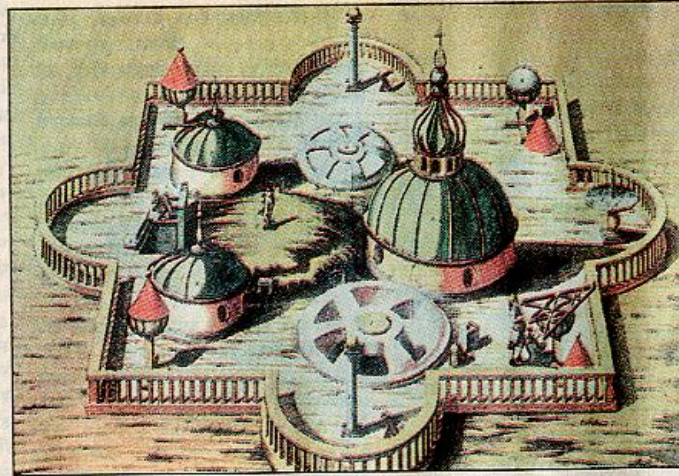
खगोल वैज्ञानिकाला एक प्रश्न सामान्यपणे विचारला जातो- "आकाशदर्शनाचा फायदा काय?" अर्थात, या प्रश्नाची ऐतिहासिक उत्तरे म्हणजे १) मानवसमाज शेतीवर अवलंबून राहायला लागल्यापासून त्याला ऋतुचक्र समजून त्याचा वापर करायला नक्षत्रांचा उपयोग होऊ लागला. पृथ्वी सूर्याची प्रदक्षिणा करत असतानाच्या वर्षभराच्या आवर्तन काळात नक्षत्रांची पार्श्वभूमी (सूर्य-चंद्राच्या तुलनेत) बदलत राहते. २) पृथ्वीतलावर प्रवास करताना ध्रुव तारा आणि इतर तारका, नक्षत्रे आपले मार्गदर्शन करतात. पण ही पूर्वापारची उत्तरे सोडून अलीकडच्या काळातदेखील खगोल विज्ञान उपयोगी ठरत आहे. त्याचे एक उदाहरण म्हणजे मूलभूत विज्ञानाचा पहिला शोध-गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाचा - खगोलनिरीक्षणातून लागला. गेल्या सहस्रकातला खगोल विज्ञानाचा हा दुसरा महत्त्वाचा टप्पा.

### न्यूटन आणि सफरचंद

शालेय पाठ्यपुस्तकात आपण वाचतो त्याप्रमाणे असे म्हटले जाते, की आपल्या घरातील सफरचंदाच्या झाडाखाली बसला असताना डोक्यावर सफरचंद पडून न्यूटनला गुरुत्वाकर्षणाचा

नियम सुचला. ही आख्यायिका कितपत खरी आहे त्याबद्दल वाद आहे. खुद्द न्यूटनच्या हयातीत त्याला ओळखणाऱ्या त्याच्या चरित्रकारांनी या घटनेचा उल्लेख केलेला नाही. प्रख्यात साहित्यिक व्हॉल्टेअरने (१७३८ मध्ये) या आख्यायिकेला प्रसिद्धी दिली. वास्तविकता काय आहे?

न्यूटनच्या घरी (लिनकनशर येथील वुल्थॉर्प या खेडेगावी) सफरचंदाचे 'ते' झाड होते याबद्दल वाद नाही. न्यूटन त्या झाडाखाली बसून विचार करित असे, मित्र मंडळींशी चर्चा करित असे, याची पण नोंद आहे. १६६५-६६ मध्ये इंग्लंडमध्ये प्लेगची साथ आली तेव्हा लोक शहरातून खेड्यांकडे धावले, त्यांत न्यूटनही वुल्थॉर्पला आला होता. आणि त्या दोन वर्षांत त्याने पुष्कळ विचारमंथन केले. त्याच्या पुढील आयुष्यातील अनेक महत्त्वाच्या शोधांचे सूतोवाच या दोन वर्षांत झाले, हेदेखील इतिहास सांगतो. तसेच ऐतिहासिक गोष्टी जतन करणाऱ्या ब्रिटनने ते सफरचंदाचे झाड वंशच तयार करून टिकवले आहे. जगात त्या झाडाचे वंशज काही निवडक वैज्ञानिक संस्थांनी लावले आहेत, त्यांत पुण्यातील आयुकाचा समावेश आहे. (चित्र १) आज आपण एवढे म्हणू शकतो, की



चित्र २ : टायको ब्राहेची युरानीबोर्ग येथील वेधशाळा

सफरचंद पडल्याने न्यूटनच्या डोक्यात विचारचक्र सुरू झाले असावे. सफरचंद का पडले? पृथ्वी ने आकर्षित केल्यामुळे? या आकर्षणामुळे चंद्र पृथ्वीभोवती फिरतो का? ... आणि पृथ्वीसकट इतर ग्रह सूर्याभोवती? (पहा या मालिकेतील पहिला लेख!)

या प्रश्नावलीत पहिला सोडून बाकीचे सर्व आकाशाशी नाते जोडणारे आहेत. न्यूटनला गुरुत्वाकर्षणाचा नियम सापडला तो आकाशातील ग्रह-चंद्रांच्या

निरीक्षणांच्या तपशिलातून. त्यासाठी आपल्याला दोन महान खगोल निरीक्षकांच्या योगदानाची दखल घेतली पाहिजे.

### टायको आणि केप्लर

अतिशय कुशल आणि कल्पक निरीक्षक म्हणून प्रसिद्ध असलेल्या टायको ब्राहेचा कार्यकाळ न्यूटनच्या शंभर वर्षापूर्वी १५७०-१६०० दरम्यानचा. हा मूळचा डेन्मार्कचा आणि तेथे राजाश्रयाने त्याने युरानीबोर्ग येथे

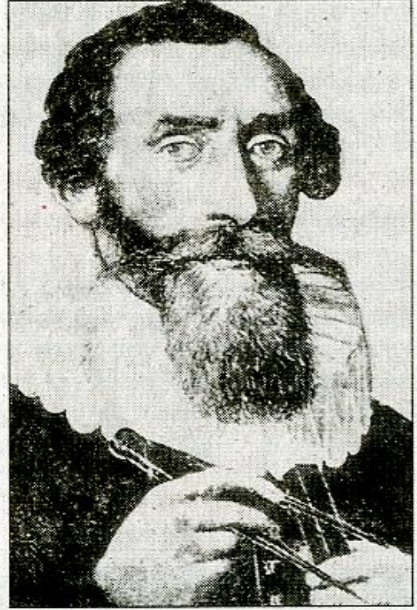


चित्र ३ : टायको ब्राहे

वेधशाळा उभारली. (चित्र २) दुर्बिणीपूर्वीच्या युगातली ही सर्वांत अद्ययावत वेधशाळा होती. टायकोने तारकांच्या विशेषकरून ग्रहांच्या गतीच्या सविस्तर नोंदी केल्या. १५७२ मध्ये आकाशात स्फोट झालेल्या आणि त्यामुळे काही काळ फार प्रकाशवान दिसणाऱ्या ताऱ्यांची नोंद त्यांनी केली. तो स्फोट झालेला तारा 'टायको सुपरनोव्हा' म्हणून ओळखला जातो. (त्यापूर्वी पृथ्वीवरून दिसलेला तारकास्फोट सन १०५४ चा, ज्याची नोंद चिनी व जपानी खगोल निरीक्षकांनी केली होती.)

परंतु टायको त-हेवाईक होता. त्याचे इतरांशी पटत नसे. अशाच एका भांडणाचे (पान ११ पाहा)

रूपांतर एका द्वंद्वयुद्धात होऊन, त्यात टायकोला नाक गमवावे लागले होते आणि तो पुढे नकली नाक लावत असे. अशाच वादात डेन्मार्क सोडून तो त्या वेळच्या बोहेमिया येथे वास्तव्यास गेला, आणि तेथे त्याने आपले



चित्र क्र. ४ : योहान्न केप्लर

निरीक्षण चालू ठेवले.

ग्रहांची निरीक्षणे चालू ठेवण्यामागे टायकोचा एक उद्देश होता, तो कोपर्निकसचा सूर्यकेंद्रित सिद्धान्त खोटा ठरवणे. (या लेखमालेतील पहिल्या लेखात सूर्यकेंद्रित आणि पृथ्वी केंद्रित सिद्धान्तांमधला वाद पहा.) टायकोच्या मते पृथ्वी स्थिर असून सूर्य तिच्याभोवती फिरतो आणि इतर ग्रह सूर्याभोवती फिरतात. परंतु हे सिद्ध करायला त्याने घेतलेल्या निरीक्षणांची सखोल तपासणी करणे आवश्यक होते. टायको उत्तम निरीक्षक असला, तरी ही आकडेमोड त्याला झेपणारी नव्हती. म्हणून तो एका सहायकाच्या शोधात होता.

योहान्न केप्लर (१५७१-१६३०) (चित्र क्र. ४) याने ती जबाबदारी स्वीकारली. निरीक्षक आणि गणिती दोन्हीच्या क्षमता त्यात होत्या आणि ग्रहांच्या गतीचे रहस्य उकलायची जिद्द पण, मात्र टायकोच्या तऱ्हेवाईकपणाला आणि उद्धट वागणुकीला सांभाळून हे करावे लागत होते. परंतु योगायोगाने केप्लर कामाला लागल्यापासून वर्षभरातच १६०१ मध्ये टायकोचे निधन झाले. मृत्युशय्येवर त्याने केप्लरकडून 'कोपर्निकसची चूक दाखवीन' हे आश्वासन घेतले.

## केप्लरचे नियम

टायकोच्या इस्टेटीव्हल त्याच्या वारसांत भांडणे चालू असतानाच केप्लरने त्याच्या महत्त्वाच्या नोंदी आपल्या ताब्यात घेतल्या- कारण वारसांना त्यांचे महत्त्व माहीत नव्हते. दोन अधिक दशकांच्या कालखंडानंतर त्याने ग्रहांच्या गतीचे रहस्य पूर्णपणे सोडवले. त्याने टायकोला दिलेल्या आश्वासनाप्रमाणे कोपर्निकसला चूक ठरवले खरे, पण वेगळ्या अर्थाने.

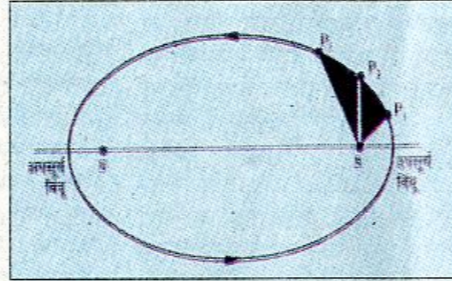
कोपर्निकसच्या मताप्रमाणेच संपूर्ण ग्रहमाला (पृथ्वीसकट) स्थिर सूर्याभोवती फिरते, हे केप्लरचे पण मत होते. मात्र कोपर्निकसने ग्रीक खगोलविदांचीच 'चक्रावर चक्रे' हीच पद्धत वापरली होती, ती चुकीची होती. सूर्याला स्थिर ठेवून त्याभोवती एक वर्तुळ काढून, त्या वर्तुळावर फिरणाऱ्या एका बिंदूभोवती एक वर्तुळ काढून त्यावर फिरणाऱ्या एका बिंदूभोवती आणखी एक वर्तुळ.. अशी भूमितीय रचना उगाचच क्लिष्ट आहे, हे केप्लरने दाखवले. त्याऐवजी ग्रह एका दीर्घ वर्तुळाकार कक्षेत फिरतो आणि सूर्य त्या दीर्घ वर्तुळाच्या दोन नाभीपैकी एकावर असतो, हा केप्लरचा पहिला नियम. (चित्र क्र. ५) त्याचा दुसरा नियम कक्षेतील ग्रहाचा वेग कसा ठरवायचा ते स्पष्ट करतो, तर तिसरा नियम कक्षेतील आवर्तनकालाचा संबंध कक्षेच्या दीर्घ अक्षाशी जोडतो.

केप्लरचे हे तीन नियम बुधापासून शनीपर्यंत तेव्हा जात असलेल्या सहा ग्रहांना लागू पडत होते. आता प्रश्न होता,



चित्र क्र. ६ : न्यूटनचा 'आयुका'मधील पतळा. मागे बारकेसे सफरचंदाचे झाड दिसत आहे.

# गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाचा शोध



चित्र क्र. ५ : दीर्घ वर्तुळाकार कक्षेत फिरणाऱ्या ग्रहाला (p) सूर्याशी (S) जोडणारी रेषा ठराविक वेगाने दीर्घ वर्तुळाचे क्षेत्रफळ पार करते. सूर्य हा दीर्घ वर्तुळाच्या दोन नाभिस्थानांपैकी एक. दोन्ही नाभिस्थानांतून जाणारा दीर्घ वर्तुळाचा दीर्घ अक्ष चित्रात दाखवला आहे. केप्लरचे तीन नियम ग्रह कसा फिरतो ते सांगतात, तसेच त्याच्या आवर्तनकालाचा संबंध दीर्घ अक्षाच्या लांबीशी जोडतात.

की याच नियमाप्रमाणेच सर्व ग्रह का फिरतात?

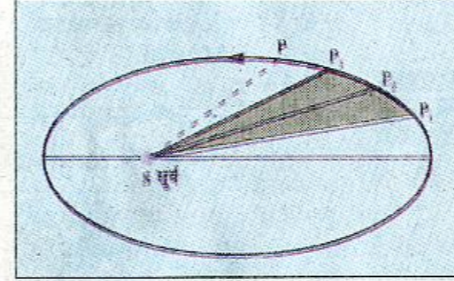
हे कोडे १६६५-६६ मध्ये न्यूटनने सोडवले आणि त्यातून त्याला गुरुत्वाकर्षणाचा नियम सापडला.

## न्यूटनचे कर्तृत्व

न्यूटन (१६४२-१७२७) पासून विज्ञानाचे आधुनिक रूप सुरू झाले, यात शंका नाही. अ‍ॅरिस्टॉटलपासून जवळजवळ दोन सहस्रके चालत आलेले गतीचे नियम बदलून त्याने गतीचे तीन नवे नियम मांडले. आज शालेय पाठ्यक्रमात विज्ञान विषयात हे नियम शिकवले जातात. कुठल्याही वस्तूची स्वाभाविक प्रवृत्ती ठराविक वेगाने ठराविक दिशेने जाण्याची असते. त्यात फरक करायला बळ वापरणे लागते. वेगात आणि दिशेत किती बदल झाला, त्यावरून किती बळ वापरले गेले, हे सांगता येते. (चित्र क्र. ६)

केप्लरच्या नियमांप्रमाणे ग्रहाचा वेग बदलत राहतो आणि दिशा पण. त्यामागेचे बळ कोणते? १६६५-६६ मध्ये न्यूटनने हा प्रश्न सोडवला. सहज सुटावा म्हणून त्याने गणिताची नवीन शाखाच शोधून वापरली. आज तिला कलनशास्त्र (कॅल्क्युलस) म्हणतात. मात्र समकालीन वैज्ञानिकांना कॅल्क्युलस कळणार नाही म्हणून त्याने भूमिती वापरूनदेखील हा प्रश्न सोडवला. ग्रह 'असे' फिरतात कारण त्यांना सूर्याच्या दिशेने एक बळ खेचत असते. ते बळ अंतराच्या (सूर्य-ग्रह अंतराच्या) व्यस्त वर्ग प्रमाणात असते. उदाहरणार्थ जर हे अंतर दुप्पट झाले, तर आकर्षणाचे बळ चतुर्थांश इतके राहील, दसपट झाले तर शतांश इतके...

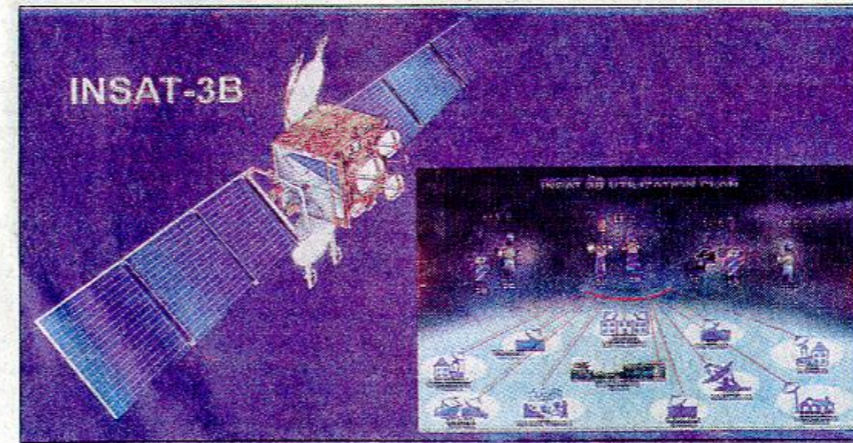
काही वर्षांनी न्यूटनने हा प्रश्न उलटा पण सोडवला... जर ग्रहावर असे व्यस्त वर्ग अंतराचे बळ काम करत असेल, तर ग्रहाची कक्षा काय राहील? याचे उत्तर म्हणजे केप्लरचे नियम!



थोडक्यात, ग्रह केप्लरच्या नियमांनुसार का फिरतात याचे उत्तर या वळात आहे. यालाच आपण गुरुत्वाकर्षण म्हणतो. हे बळ सर्व वस्तूवर प्रभाव टाकते.. पृथ्वी सफरचंदाला खेचते तसेच चंद्रालादेखील.

## गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाची यश-मालिका

न्यूटनने हा प्रश्न सोडवला; पण तरी हा नियम प्रसिद्ध केला नाही. कारण त्याच्या मनात काही शंका होत्या. त्यांचे निरसन



चित्र क्र. ८ : दळणवळणासाठी वापरला जाणारा एक कृत्रिम उपग्रह. असे उपग्रह सोडायला लागणारे अंतराळ तंत्रज्ञान गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धान्तावर अवलंबून आहे आणि या सिद्धान्ताच्या शोधाचे मूळ खगोल निरीक्षणात आहे.

झाल्याशिवाय हा नियम जाहीर करायला तो तयार नव्हता. पृथ्वीभोवती चंद्र फिरतो त्यामागे हाच नियम आहे का? मूळ नियम बिंदुवत् असलेल्या वस्तूंना लागू पडतो. पृथ्वी, सूर्य

इत्यादी बिंदुवत् नसून, पसरलेल्या वस्तू आहेत. पृथ्वीची त्रिज्या सुमारे ६४०० किलोमीटर, तर सूर्याची जवळजवळ सात लाख किलोमीटर. त्यांनादेखील व्यस्त वर्गाचा नियम लागू होतो का?

हा प्रश्न न्यूटनने गणित मांडून सोडवला. चंद्राच्या गतीची निरीक्षणे तपासली आणि अखेर त्याचा स्नेही एडमंड हॅले याने गळ घातल्यावर न्यूटनने 'प्रिंकिपिया' हा तीन खंडी ग्रंथराज प्रसिद्ध केला. यात त्याच्या प्रतिभेचे सर्वांगीण दर्शन होते. काही वर्षांपूर्वी नोबेल पारितोषिक विजेते सुब्रह्मण्यन् चंद्रशेखर यांनी प्रिंकिपियावर टीकात्मक ग्रंथ लिहिला आणि त्यात अशी कबुली दिली, की आधुनिक गणिती साघने वापरून प्रिंकिपियातली प्रमेये सोडवल्यावर त्यांना जाणवले, की न्यूटनने वापरलेल्या पद्धती अधिक सरस होत्या.

पण केवळ गणिती भांडवलावर वैज्ञानिक नियम चालत नाहीत. वस्तुस्थितीवर आधारलेले प्रयोग आणि निरीक्षणे नियमाला किती पुष्टी देतात यावर त्याचे यश ठरते. न्यूटनच्या नियमाचा यशस्वी वापर करून एडमंड हॅले याने तो धूमकेतूनाही लागू होत असल्याचा दावा केला. सन १६८२ मध्ये एक धूमकेतू दिसला होता. तत्पूर्वी १०६६, १४५६, १५३१, १६०७ मध्येदेखील धूमकेतू दिसले होते. ते सर्व वेगवेगळे धूमकेतू नसून, तोच धूमकेतू सुमारे ७६ वर्षांनी



चित्र क्र. ७ : हॅलेचा धूमकेतू... १९८६ चे छायाचित्र

७६ वर्षे लागतात. कारण तोही केप्लरच्या नियमाप्रमाणे सूर्याभोवती फिरतो, असे गणित मांडून हॅलेने भाकीत केले, की हा धूमकेतू पुन्हा १७५८ मध्ये दिसेल. आपले भाकीत खरे ठरलेले पाहायला हॅले जिवंत नव्हता; पण जनतेने धूमकेतूला हॅलेचे नाव देऊन त्याचा सन्मान केला. हॅलेचा धूमकेतू अलीकडे १९८६ मध्ये येऊन गेला.

नेपोलियनचा समकालीन फ्रेंच गणिती लप्लासने या नियमाची सौरमालेतल्या गृह-उपग्रहांच्या गतींशी तुलना करून त्याची कसोशीने तपासणी केली, आणि आखळी सूर्यमाला या नियमानुसार चालते, असा निर्वाळा दिला. आपला पाचखंडी ग्रंथ सम्राटाला त्याने भेट केला, तेव्हा तो उघडून बघून पाहून (त्यातले गणित सम्राटाच्या डोक्यावरून गेले!) नेपोलियनने विचारले "यात देवाचा कुठे उल्लेख दिसत नाही?" तेव्हा लप्लासने ठसक्यात उत्तर दिले "महाराज, मला त्या गृहीतकाची गरज भासली नाही."

पुढे १८४५-४६ च्या काळात न्यूटनचा गुरुत्वाकर्षणाचा नियम वापरून अ‍ॅडमस आणि लव्हेरिये या दोन इंग्लिश आणि फ्रेंच तरुण शास्त्रज्ञांनी युरेनस ग्रहाच्या गतीत सापडलेल्या विसंगतीचा अभ्यास करून असा निष्कर्ष काढला, की युरेनसच्या जवळपास एक अज्ञात ग्रह असावा. त्यांनी गणिताने ठरवलेल्या दिशेत तो ग्रह सापडलाही! हाच तो आठवा ग्रह नेपच्यून!

## आधुनिक अंतराळ तंत्रज्ञान (चित्र क्र. ८)

अशा तऱ्हेने तावूनसुलाखून निघालेल्या या गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमावर आजचे अंतराळ तंत्रज्ञान आधारलेले आहे. पृथ्वीभोवती फिरणारे कृत्रिम उपग्रह, चंद्र आणि सूर्यमालेतील इतर ठिकाणाकडे जाणारी अंतराळ याने न्यूटनच्याच नियमाद्वारे प्रवासकक्षा आक्रमतात. आज आपण दळणवळणाच्या साधनांचा मुबलक वापर करतो. त्यामागे असणाऱ्या उपग्रहांची कक्षा ठरवताना गुरुत्वाकर्षणाचा नियम अत्यावश्यक आहे आणि तो माहीत व्हायला टायको-केप्लरची खगोलनिरीक्षणेच कारणीभूत झाली, हे लक्षात ठेवले पाहिजे. या लेखाच्या सुरवातीला विचारलेल्या प्रश्नाचे उत्तर इथे मिळते.