

त्यामुळे गुरुत्वाकर्षणावरील पाचव्या व्याख्यानात तुम्हा सर्वांचे स्वागत आहे आत्तापर्यंत आम्ही जे काही केले आहे ते म्हणजे मोठे अंतर कसे ठरवायचे याचे विश्लेषण करणे म्हणजे कालखंड कसे ठरवायचे याविषयी आम्ही खगोलशास्त्रज्ञांच्या निरीक्षणावर आधारित केपलरने तयार केलेल्या तीन नियमांचीही चर्चा केली. विशेषतः कोपनहेगन टायको ब्राहेच्या केपलरच्या लक्षात आलेली मोठी गोष्ट म्हणजे ग्रहांच्या कक्षेचे एक अतिशय साधे वर्णन सूर्यापासून पृथ्वीपासून सूर्याच्या कक्षेकडे हलवून प्राप्त केले जाऊ शकते, अर्थातच या कक्षा नाहीत. पूर्णपणे वर्तुळाकार ते लंबवर्तुळाकार होते ज्याकडे आपण या अभ्यासक्रमात बऱ्याच अंशी दुर्लक्ष करू पण तुम्हाला हे माहित असले पाहिजे की न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमामध्ये नैसर्गिकरित्या केपलरियन कक्षाला तथाकथित लंबवर्तुळाकार कक्षेत सामावून घेतले जाते खरे तर सर्वात सामान्य केपलीरियन कक्षा लंबवर्तुळाकार असतात बंधनकारक आहे अन्यथा ते लंबवर्तुळाकार असू शकते आणि पॅराबॉलिक किंवा हायपरबोलिक देखील असू शकते तथाकथित कोनिक विभाग ज्याचा तुम्ही अभ्यास करत आहात किंवा $wh\ ich$ तुम्ही तुमच्या मानक भूमितीमध्ये अभ्यास कराल म्हणून या सर्व कक्षा न्यूटोनियन कायदानुसार मान्य केल्या आहेत परंतु येथे आम्हाला गुरुत्वाकर्षण कायद्याच्या तपशीलापेक्षा कायद्यामध्ये अधिक रस आहे की तुम्ही तुमच्या नंतरच्या टप्प्यावर त्याची गणना कशी करावी याची गणना कशी करावी. जीवन आम्ही स्वतःला वर्तुळाकार कक्षेपर्यंत मर्यादित ठेवू हे स्पष्टपणे बद्ध अवस्थेपर्यंत आम्ही पडल्या शरीराच्या गॅलिलियन नियमावर देखील चर्चा केली जी विलक्षण महत्वाची आहे ज्याने असे म्हटले आहे की घसरणाऱ्या शरीराचा प्रवेग सर्व पदार्थासाठी त्यांच्या वस्तुमानाचा विचार न करता समान आहे आणि आम्ही ते तत्त्व तयार केले. 1910 किंवा 1912 च्या आसपास 20 व्या शतकाच्या सुरुवातीस हा शब्द आइन्स्टाईनने तयार केला असला तरी त्याला समतुल्य तत्त्व म्हणून संबोधून आणि आम्ही असा युक्तिवाद केला की न्यूटनच्या नियमांचे संयोजन म्हणजे न्यूटनचे गतीचे नियम आणि केंद्राभिमुख बल प्लस ही संकल्पना कक्षेतील केशिका आणि खाली पडणाऱ्या शरीराचा गॅलिलियन नियम, म्हणून मी ते लिहून ठेवतो, म्हणून प्रथम आपल्याकडे न्यूटनचे गतीचे नियम आहेत म्हणून जेव्हा आपण मा. किंग हे विधान आम्हाला दुसऱ्या आणि तिसऱ्या कायद्यामध्ये स्वारस्य आहे आम्ही त्या दोन्हीचा वापर केला दुसरा कायदा त्वरण कसे घडते याचे वर्णन करतो तिसरा नियम a आणि b मधील बलाच्या सममिती किंवा परस्परसंबंधाचे वर्णन करतो ते एकमेकांशी समान आहेत परंतु विरुद्ध दिशेने आणि आपण हे लक्षात ठेवले पाहिजे की हे विधान मूलतः संवेग संवर्धनाचे पुनरुत्थान आहे जे आपल्यासाठी खूप महत्वाचे आहे म्हणून आपण या दोन्हीचा वापर केला आणि नंतर आपण केंद्राभिमुख शक्तीच्या संकल्पनेचा वापर केला तर काय करावे भौतिक शक्तीच्या उत्पत्तीची पर्वा न करता आपण असे म्हणतो की जोपर्यंत एखादी वस्तू गोलाकार कक्षेत स्थिर कोनीय वेगासह फिरत असते, तेव्हा ती नेहमी $mv\ r$ द्वारे वर्ग असे लिहिता येते हे एक गतिमान विधान आहे जे विशिष्ट आहे जे विलक्षण आहे आणि जे हे केवळ वर्तुळाकार कक्षांना लागू आहे जे आपण लक्षात ठेवले पाहिजे की आपण या केंद्राभिमुख शक्तीचा वापर केला ती तिसरी संकल्पना जी आपण वापरली होती किंवा त्याऐवजी आपण वापरलेली वस्तुस्थिती होती. मुक्तपणे पडणाऱ्या शरीराचा गॅलिलियन नियम ठीक आहे आणि शेवटी आपण त्यांना केपलरच्या नुकसानीसह एकत्र करतो त्यामुळे तीन कायदे किती होते

त्यामुळे पहिला नियम अर्थातच ग्रहांची कक्षा होती जी आपण वर्तुळाकार कक्षेने बदलली नंतर आपण समान क्षेत्रे पाहिली. काळाचे अंतराल आणि तिसरा जो अतिशय महत्वाचा आहे तो कालावधी आणि ग्रहांच्या कक्षेचा त्रिज्या यांच्यातील संबंध होता जो मूलतः $r\ cubed$ ने वर्ग केला जातो हा एक स्थिरांक आहे या अर्थाने तो एक स्थिरांक आहे की तो वैश्विक स्थिरांक नाही. परंतु हे केवळ सूर्याभोवती ग्रहांच्या हालचालीसाठी स्थिर आहे जे आपल्याला लक्षात ठेवायचे आहे, म्हणून हा चौथा आहे म्हणून आम्ही हे सर्व एकत्र केले आणि विचारले की या सर्व निरीक्षण केलेल्या तथ्यांशी सुसंगत असा कोणता नियम असेल. तथ्ये आहेत आणि आम्ही या निष्कर्षावर पोहोचलो की जर मी असे गृहीत धरले की माझे गुरुत्वाकर्षण बल हे एकक व्हेक्टरमध्ये r चौरस द्वारे वजा gmm आहे तर ते सर्व काही सातत्याने समजू शकते, म्हणून मी असे लिहू नका की चला $m\cdot e$ वजा चिन्ह लिहू नका एकतर ही गुरुत्वाकर्षण शक्ती आहे म्हणून आपण काय म्हणत आहोत आपण म्हणत आहोत की हा एक व्यस्त वर्ग नियम आहे आणि दोन वस्तुमान आहेत जे कॅपिटल m आणि लहान m द्वारे दर्शविले जातात या बिंदूवर आपण ते भांडवल गृहीत धरू नये m म्हणजे मोठ्या वस्तुमानाचा आणि लहान m म्हणजे लहान वस्तुमानाचा अर्थ असा आहे की असा कोणताही पूर्वग्रह न ठेवता कायदा तयार करणे अधिक चांगले आहे, म्हणून मी लिहीन की g समान असेल तर $gm\ 1\ m\ 2\ by\ r$ वर्ग, तर मला याचा अर्थ काय आहे? मी येथे एक वस्तुमान m एक ठेवीन मी येथे वस्तुमान m दोन ठेवीन मी येथे m एक m दोन हे अंतर आहे r तेच माझ्याकडे आहे m एक $m\ 2$ स्वतःकडे खेचतो $m\ 2\ m1$ स्वतःकडे खेचतो आणि तुम्ही ते टाकून सामावून घेता हेच योग्य चिन्ह आहे की आम्ही तसे केले दुसऱ्या शब्दांत हा महान कायदा कृपया लक्षात ठेवा की आम्ही ही अभिव्यक्ती प्राप्त केलेली नाही आम्ही केवळ एक अतिशय तार्किक आणि ज्ञात तथ्ये व्यक्त करण्याचा एक अतिशय सोपा मार्ग म्हणून या अभिव्यक्तीपर्यंत पोहोचलो आहोत, कायदा कधीही सिद्ध होऊ शकत नाही. हे केवळ सत्यापित केले जाऊ शकते म्हणून हा महान कायदा $gm\ 1\ m2$ बाय r वर्ग आहे कोपर्निकस टायको ब्राहे खगोलशास्त्रज्ञांच्या आधीच्या हॅलीमुळे सर्व निरीक्षणांचा कळस आहे कारण तेथे हॅलिस धूमकेतू आणि गॅलिलिओ आणि केप्लर देखील होते परंतु आपण हे लक्षात ठेवले पाहिजे की हे नियमानुसार स्थापित करत नाही कारण ते केवळ एक सुसंगत वर्णन आहे आणि आम्हाला त्याचे स्वतंत्र सत्यापन आवश्यक आहे. हा कायदा कायद्याच्या स्वतंत्र पडताळणीमध्ये अंतर्भूत आहे की आपण अनियंत्रित जनतेसह शरीराचा सामना करण्यास सक्षम असले पाहिजे आणि आपल्याला हे स्थिर g निश्चित करण्यास सक्षम असले पाहिजे जे आपल्याला अज्ञात आहे, परंतु या सर्व काळात आपण जे काही वापरले तेच आपल्याला माहित आहे. अंतर आणि आम्हांला पूर्णविराम माहित आहेत म्हणून आम्ही आजूबाजूला खेळलो हेच कारण आहे की हा कायदा आकर्षक आहे यावर मी जोर देत आहे पण ते नेहमीच वैध असण्याची गरज नाही हे खरे नाही पण आम्हाला असा दावा करायचा आहे की न्यूटोनियन कायदा खरोखरच सार्वत्रिक आहे कायदा याला गुरुत्वाकर्षणाचा सार्वत्रिक नियम म्हणतात म्हणून आपल्याला थोडे अधिक काम करावे लागेल, म्हणून मी स्लाइडवर जा आणि मी तुम्हाला काय सांगू इच्छित आहे ते दाखवते म्हणून पहिली स्लाई de मी कागदाच्या शीटवर जे काही लिहिले आहे त्याचा सारांश देतो

त्यामुळे rb बिंदूवर स्थित व्हेक्टर $raa\ mod\ b$ बॉडी b सह वस्तुमान a आहे, म्हणून आपण काय करतो ते म्हणजे a आणि वेगळे करणारा वेक्टर परिभाषित करणे. bra वजा rb आणि मग आम्ही लिहिले की $a\ on\ b$ ने लावलेली शक्ती खूप महत्वाची आहे म्हणूनच मी $a\ go\ on\ b$ बाण लावला आहे वजा $g\ mamb$ द्वारे $rab\ cubed\ in\ vector\ rab$ आहे जे मी तुमच्यासाठी चित्रित केले आहे. कागदाचे पत्रक ठीक आहे जेव्हा आम्ही गॅलिलियन कायद्याचा वापर केला तेव्हा मी फक्त एक वस्तुस्थिती वापरली आहे गॅलिलियन नियमांचे दोन पैलू आहेत एक म्हणजे प्रवेग हा पडल्या शरीराच्या वस्तुमानापासून स्वतंत्र असतो आणि दुसरा म्हणजे प्रवेग स्वतंत्र असतो. शरीर पृथ्वीपासून किती उंचीवर आहे ते ठीक आहे, हे विधान मला करायचे आहे, म्हणून आपण डॉईंग बोर्डवर परत जाऊ या, मग आपण काय म्हणू इच्छितो ते आपण गॅलिलियन नियम पाहतो तर वस्तुमानापासून स्वतंत्र प्रवेगाचे दोन पैलू आहेत आणि दुसरे म्हणजे ते ऍक्स $leration$ उंचीपेक्षा स्वतंत्र आहे, त्यामुळे तुमच्याकडे पृथ्वी आहे असे म्हणण्याचा काय अर्थ आहे आणि जर शरीर सर्व उंचीवर $h1\ h2$ खाली पडत असेल तर आणि पुढे प्रवेग समान आहे जो g ने दिलेला आहे तोच तुम्ही गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे प्रवेग म्हणून कॉल करा जे अंदाजे 9.8 मीटर प्रति सेकंद स्केअर आहे म्हणून हे सर्व नियम काढताना मी फक्त या तथ्यांचा वापर केला आहे परंतु न्यूटोनियन कायदा असे सांगतो की प्रवेग हा आकर्षित करणाऱ्या शरीरापासून अंतरापेक्षा स्वतंत्र असू शकत नाही. स्केअर टर्म जर एक ओव्हर आर स्केअर टर्म असेल तर मला दाखवू द्या की तुमच्या पुढच्या कागदाच्या पत्रकात माझ्याकडे माझी पृथ्वी आहे असे म्हणूया की शरीर घसरत आहे म्हणून शरीर घसरत आहे म्हणून ते प्रवेग खाली येत राहिले पाहिजे. वाढवा म्हणजे हे तत्वतः विधान विधान आहे किंबहुना हे सूत्र बनवण्याचे अनेक मार्ग आहेत की दुसरी गोष्ट जी तुमच्या लक्षात येते की जर तुम्ही दोन शरीरे टाकलीत तर आपण एका विशिष्ट अंतराने वेगळे केले असे म्हणूया d गॅलिलिओ म्हणेल की अशा प्रकारे खाली देखील पडेल म्हणून तुम्ही निरीक्षण केल्यास d हे अंतर स्थिर असेल, तर न्यूटोनियन कायदानुसार ते दोन्ही केंद्राच्या दिशेने पडत असले पाहिजेत म्हणून ते समांतर असू शकत नाहीत. एकमेकांना त्यामुळे न्यूटोनियन गुरुत्वाकर्षण गॅलिलीयन नियमात सुधारणा करते आणि ते पहिले काय आहे की शरीर खाली पडल्यावर प्रवेग वाढला पाहिजे आणि जर

दोन शरीरे विभक्त होण्यास सुरुवात झाली तर त्यांच्यातील अंतर कमी होत गेले पाहिजे. त्या दिशेने पडा कारण ते दोघेही केंद्राच्या दिशेने पडतात ही एक अत्यंत अतिशयोक्तीपूर्ण आकृती आहे त्याबद्दल काही हरकत नाही, म्हणून आपल्याला काय करायचे आहे ते पाहणे आवश्यक आहे की न्यूटोनियन गुरुत्वाकर्षण कोणत्या प्रकारची सुधारणा देते जेणेकरून ते इतके मोठे नाही की गॅलिलियन नियम असेल. अशा परिस्थितीत न्यूटनचे सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षणाचे सूत्रीकरण पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर धरून राहणार नाही जे खूप महत्वाचे आहे म्हणून आपण हे निश्चित करूया की हे निश्चित करणे कठीण गोष्ट नाही

त्यामुळे आपल्याला हे लक्षात ठेवायचे आहे की मी प्रवेग मध्ये वस्तुमान लिहिणार आहे हे डाव्या हाताला एक मुक्तपणे खाली पडणारे शरीर आहे आणि हे पृथ्वीचे जीएम वस्तुमान विभाजित केले जाईल आता मी थोडी अधिक काळजी घेईन. मी ते पृथ्वीची त्रिज्या अधिक h पूर्ण चौरस म्हणून लिहीन म्हणून लक्षात ठेवा जेव्हा आपण दोन शरीरांमधील अंतराबद्दल बोलतो तेव्हा आपल्या मनात पृथ्वीच्या मध्यभागी असतो तो पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून नाही आणि ही उंची किती आहे. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाची पुनरावृत्ती करण्यासाठी म्हणून हा माझा h आहे आणि माझा r येथे कुठे तरी आहे, म्हणून मी त्रिज्या खूप मोठी आहे हे दर्शवण्यासाठी मी एक रेषा काढतो लक्षात ठेवा मी 10 मीटर 20 मीटर 100 च्या क्रमाने उंची बोलत आहे. मीटर असू शकतात परंतु पृथ्वीची त्रिज्या अंदाजे 6400 किलोमीटर आहे म्हणून आपण खूप मोठ्या प्रमाणाबद्दल बोलत आहोत मी त्या संख्येवर नक्की येईन म्हणून हे आहे आपल्याकडे वस्तुमान अटी रद्द करा गुरुत्वीय वस्तुमान जडत्व वस्तुमान सारखेच आहे

त्यामुळे आता आपल्याकडे कोणता एसी शिल्लक आहे खरच h वर अवलंबून असते

त्यामुळे आपल्याला कोणती युक्ती करायची आहे जी आपल्याला वापरायची आहे ती म्हणजे हे लक्षात घ्यावे की हा h r च्या तुलनेत खूप लहान आहे म्हणून मी असे गृहीत धरत आहे की ते त्रिज्या उलटे पडत आहे जेणेकरून माझ्याकडे नाही तथाकथित डॉट उत्पादने आणि व्हेक्टर आणि त्यासारख्या गोष्टींबद्दल काळजी करणे ही एक रेखीय गती आहे म्हणून मला हे लक्षात ठेवणे आवश्यक आहे की h by re हे 1 पेक्षा खूपच कमी आहे ते मला लक्षात ठेवावे लागेल म्हणून आपण काय करतो आपण ते g मी ओव्हर एच स्केअरमध्ये 1 ओव्हर 1 अधिक एच बाय री संपूर्ण स्केअर म्हणून लिहायचे आहे कारण h बाय re हे फारच कमी प्रमाण आहे हे 1 वर एक गोंधळाशिवाय दुसरे काही नाही. मग आपल्याला काय करावे लागेल? आपल्याला फक्त द्विपदी विस्तार किंवा टेलर विस्तार करणे आवश्यक आहे, जर तुम्हाला असे वाटत असेल तर मला ती गणना करू द्या म्हणजे आपण जे करू ते म्हणजे द्विपदी विस्तार h एकापेक्षा खूपच कमी करून मी त्याला x म्हणून संबोधू दे. मी त्याला कॉल करत आहे लक्षात ठेवा h ही पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासूनची उंची आहे पुन्हा पृथ्वीची त्रिज्या आहे आणि मला स्वारस्य आहे i n टर्म 1 ओव्हर री अधिक एच संपूर्ण स्केअर हे प्रमाण काही नाही तर 1 ओव्हर री स्केअर 1 अधिक एच मध्ये 1 अधिक एच द्वारे रि स्केअर मी जे काही केले आहे ते म्हणजे री बाहेर काढणे आणि हे प्रमाण 1 ओव्हर री स्केअर 1 अधिक x संपूर्ण आहे स्केअर ही मला हवी असलेली अभिव्यक्ती आहे म्हणून मला ती अभिव्यक्ती उघडू द्या आणि ते काय आहे ते पाहू द्या म्हणजे माझ्याकडे 1 अधिक 1 अधिक x पूर्ण चौरस 1 अधिक 2 x अधिक x चौरस समान आहे जे मी तुला सांगितले त्याप्रमाणे माझ्याकडे आहे x चा वर्ग x पेक्षा खूपच कमी 1 पेक्षा खूपच कमी आहे म्हणून जर मला अग्रगण्य ऑर्डर योगदानामध्ये स्वारस्य असेल तर मी ही संज्ञा टाकू शकतो म्हणून एकदा मी ही संज्ञा टाकली की हे अंदाजे 1 पेक्षा 1 अधिक 2 x आणि तुमची द्विपदी अभिव्यक्ती असेल मूलतः मला द्या हे अंदाजे 1 उणे 2 x च्या समान आहे जे आपल्याला मिळणार आहे म्हणून आपण आता गुरुत्वाकर्षण शक्तीमध्ये येणारी सुधारणा मोजण्याच्या स्थितीत आहोत जे काही स्थिर असेल तर आपल्याला काय माहित आहे की माझा g चा f मूलतः आहे g mem by re चे वर्गीकरण 1 वजा 2 h by re मी हे par लिहू शकतो टिक्युलर एक्सप्रेसशन आता हीच सुधारणा आहे जी मी आता या विशिष्ट पदाकडे दुर्लक्ष केल्यास हे ma शिवाय दुसरे काहीच नाही म्हणून या विशिष्ट पदाकडे दुर्लक्ष करा हे m रद्द करते आणि तुम्हाला दिसेल की माझे प्रवेग दुसरे काहीही नाही fg by m जे gm by r आहे. चौरस जो गुरुत्वाकर्षणामुळे तुमचा प्रवेग आहे जो आपल्याजवळ आहे म्हणून आपण जे म्हणत आहोत ते म्हणजे सर्व व्यावहारिक हेतूसाठी पृथ्वीमुळे होणारा प्रवेग स्थिर आहे कारण शरीर ज्या उंचीवरून खाली पडत आहे ती अगदी लहान सुधारणा आहे किंवा पृथ्वीच्या त्रिज्याला होणारा गोंधळ

त्यामुळे x चे मूल्य किती आहे याचा अंदाज लावणे कठीण नाही म्हणून जरी मी h 100 मीटर बरोबर ठेवले तरी ती खूप मोठी संख्या आहे माझी पृथ्वीची त्रिज्या 6400 किलोमीटर आहे. 6.4 ते 10 ते 6 च्या पॉवरमध्ये 6.4 ते 10 असू द्या म्हणून तुम्ही पहात आहात की x खरच लहान आहे मग आम्ही काय केले आम्ही सर्व पैलूंशी मुक्तपणे घसरण कायदा मुक्तपणे घसरण शरीराचा नियम न्यूटोनियन कायद्याशी मुक्तपणे घसरणारा शरीर कायदा, म्हणून दुसऱ्या शब्दांत आमच्याकडे ई आहे ज्ञात तथ्यांसह सुसंगतता प्रस्थापित केली जेणेकरून आम्हाला विश्वास आणि विश्वास मिळेल की गुरुत्वाकर्षणाचा न्यूटोनियन नियम हाच योग्य नियम आहे अशा परिस्थितीत आम्ही आतापर्यंत जे काही केले आहे त्यापलीकडे जाऊन अधिक प्रायोगिक पडताळणी शोधण्यात सक्षम असायला हवे आणि खरं तर आम्ही आपण पूर्वी न पाहिलेल्या नवीन घटनांचा अंदाज लावता आला पाहिजे आणि न्यूटनने नेमके हेच केले आहे की त्याचे कौतुक करण्यासाठी आपण पुन्हा मी बनवलेल्या स्लाइडकडे जाऊ या,

त्यामुळे ही स्लाइड 3 ते 10 पर्यंतची संख्या दर्शवते. वजा 4 ची शक्ती म्हणून ही एक अतिशय लहान संख्या आहे जी तुम्ही पाहू शकता याचा अर्थ स्थिरांकातील सुधारणा साधारणपणे आपण स्थिरांक 10 मीटर प्रति सेकंद स्केअर किंवा 9.8 मीटर प्रति सेकंद स्केअर म्हणून मानतो त्याद्वारे दिलेली सुधारणा हा एक भाग असेल. 10 000 मध्ये हे विधान आहे की आपण दहा हजारात तीन भाग करत आहोत, प्रत्यक्षात पृथ्वीच्या गोलाकार नसल्यामुळे आणि पृथ्वीच्या परिभ्रमण स्वभावामुळे सुधारणा होत आहे. संपूर्णपणे जडत्व चौकट नाही कारण ती त्याच्या अक्षाभोवती फिरत आहे यापेक्षा खूप मोठी आहे त्यामुळे हे अजिबात वाईट अंदाज नाही

त्यामुळे आता आपण परिस्थितीचा आढावा घ्यावा लागेल की आपण काय केले आहे आम्ही ज्ञात निरीक्षणांवर आधारित कायदा तयार केला आहे पण काय असे आहे की आपल्याला अंतर माहित आहे की आपल्याला पूर्णविराम माहित आहेत परंतु आपल्याला वस्तुमान माहित नाही जेव्हा गॅलिलिओने वस्तुमान सोडले तेव्हा त्याला खाली पडणाऱ्या शरीराचे वस्तुमान माहित होते परंतु गॅलिलिओला निश्चितपणे पृथ्वीचे वस्तुमान माहित नव्हते g मूल्य निश्चित केले जात नाही तो एक अज्ञात स्थिरांक आहे म्हणून गॅलिलियन नियम मूलतः पृथ्वीचे वस्तुमान गुरुत्वाकर्षण स्थिरांकामध्ये निर्धारित करण्यासाठी काय करत आहे, वास्तविक गॅलिलियन नियम पृथ्वीचे वस्तुमान गुरुत्वीय गुरुत्वीय स्थिरांकामध्ये भागून पृथ्वीच्या चौरसाच्या त्रिज्याने भागले आहे असे गृहीत धरत आहे परंतु मी असे गृहीत धरतो की आपण सर्व लोक पृथ्वीभोवती फिरू शकल्यानंतर पृथ्वीची त्रिज्या जाणून घ्या किंवा ऑरिस्टोथेनचा महान प्रयोग म्हणजे पृथ्वीची त्रिज्या निश्चित करणे म्हणजे आता याच्या पलीकडे जायचे असल्यास आणि जर तुम्ही मला दावा करायचा आहे की येथे पहा माझ्याकडे गुरुत्वाकर्षणाचा सार्वत्रिक नियम आहे मी एकतर वस्तुमान किंवा g किंवा दोन्ही स्वतंत्रपणे ठरवू शकतो आणि सत्यापित करू शकतो की कायद्यात खरोखरच हे काम आहे जे कॅव्हेंडिशने हाती घेतले होते आणि त्याने जे केले ते थेट ठरवण्यासाठी होते. गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक हा भौतिकशास्त्राच्या इतिहासातील उत्कृष्ट प्रयोगांपैकी एक आहे जो त्याने 97 ते 98 या एका वर्षाच्या कालावधीत केला आणि त्याने अनेक काळजीपूर्वक निरीक्षणे केली आणि तो j च्या या मूल्यापर्यंत पोहोचला जो त्याच्या तुलनेत एक लहान लहान संख्या आहे उदाहरणार्थ इलेक्ट्रोस्टॅटिक फोर्सची ताकद जी ई स्केअर ओव्हर फोर पी एक्सिलॉन द्वारे दिली जाते आणि इतर काही नाही आणि कॅव्हेंडिशने g चे मूल्य कसे ठरवले हे समजून घेण्यासाठी आपण थोडा वेळ घालवला पाहिजे ऐतिहासिकदृष्ट्या कॅव्हेंडिशने असा दावा केला नाही की तो मूल्य निर्धारित करत आहे गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक बद्दल पण त्याने एक अधिक मनोरंजक दावा केला त्याने दावा केला की तो पृथ्वीचे वजन करत आहे प्रत्यक्षात त्याने असे विधान देखील केले नाही की त्याने दावा केला की तो सापडला आहे पृथ्वीच्या घनतेबद्दल कारण 18 व्या शतकात जेव्हा कॅव्हेंडिश हे प्रयोग करत होते तेव्हा लोकांना पृथ्वीच्या घनतेबद्दल खूप गंभीरपणे रस होता म्हणून त्याला पृथ्वीची घनता मोजायची होती मला माहित नाही की मी त्रिज्या म्हणून केविन म्हणालो. अस्वीकरण केले की तो पृथ्वीची घनता ठरवत आहे जणू पृथ्वी हे एकसंध एकसमान वस्तुमान वितरण आहे जे खरे नाही पण हरकत नाही परंतु आपण या सर्व संकल्पनांशी सहज संपर्क साधू शकतो परंतु जोपर्यंत आपला संबंध आहे तोपर्यंत कॅव्हेंडिश काय आहे?

गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक हा एक ऐतिहासिक मुद्दा होता जो या क्षणी मनोरंजक आहे की कॅव्हेंडिशने बरेच प्रयोग केले परंतु या प्रयोगाला कॅव्हेंडिश प्रयोग म्हणतात जसे आपण मायकलसन मार्ले प्रयोग म्हणतो कारण साहजिकच हा सर्वात जास्त गाजला होता म्हणून जेव्हा तुम्ही कॅव्हेंडिश म्हणता आम्ही नेहमी गुरुत्वाकर्षण शक्तीच्या स्थिरतेच्या भांडवलाच्या निर्धारणाचा संदर्भ घेतो, म्हणून कॅव्हेंडिशने असे काय केले ते पाहू या कॅव्हेंडिश प्रयोगाची आयसी कल्पना हा एक शून्य टॉर्क प्रयोग आहे म्हणून हे एक मानक तंत्र आहे जे तुम्ही वापरता जेव्हा तुम्हाला काही नाजूक शक्ती मोजायच्या असतील तेव्हा बल मोजण्याचे दोन मार्ग आहेत, म्हणून मी तुम्हाला ते सूचित करू इच्छितो म्हणजे बल कसे ठरवायचे ते एक मार्ग आहे. प्रवेग मोजा शरीराचा प्रवेग मोजा आता ही एक कंटाळवाणी प्रक्रिया आहे कारण तुम्ही वेगवेगळ्या वेळी वेगवेगळ्या पोजिशन्स अतिशय अचूकतेने मोजण्यास सक्षम असाल तर तुम्हाला सहजतेने त्यात सामील व्हावे लागेल जे मूलतः स्पष्टिकेची गणना करण्यासाठी तुम्हाला वेग प्लॉटचा वेग मिळेल. आणि पुन्हा सहजतेने त्यांना सामील करा आणि नंतर तुम्ही पुन्हा स्पष्टिकेची गणना कराल आणि तुम्हाला प्रवेग मिळेल जी एक कंटाळवाणी प्रक्रिया आहे आणि त्यात त्रुटीचा धोका असतो दुसरी प्रक्रिया म्हणजे ज्ञात शक्तीने गती रोखणे आणि ही एक अतिशय उपयुक्त पद्धत आहे. ज्ञात बलाद्वारे गती म्हणून उदाहरणार्थ समजा येथे एक कॅपेसिटर प्लेट आहे ज्यामध्ये पृष्ठभागावरील चार्ज घनता सिग्मा आहे तेथे एक चार्ज कण आहे q

त्यामुळे is वजा आहे आणि हे अधिक आहे जेणेकरून ते या दिशेने आकर्षित होईल म्हणून मी काय करू मी येथे एक स्प्रिंग जोडेन आणि मी विचारले की नवीन समतोल स्थिती काय आहे त्याला विश्रांती कुठे मिळेल मला माहित आहे की f उणे kx बरोबर आहे स्प्रिंगमधून येत आहे आणि जर चार्ज कण यामुळे विश्रांती घेत असेल तर मला माहित आहे की सिग्मामध्ये पृष्ठभागावरील चार्ज वाहून नेणाऱ्या या प्लेटद्वारे वापरले जाणारे बल यामुळेच रद्द केले जाते आणि मला विद्युत क्षेत्र निश्चित करण्यास सक्षम असावे. ही युक्ती आहे म्हणून या गतीला अटक करणे याला शून्य बल म्हणतात आणि निव्वळ बल शून्य आहे म्हणून हे एक तंत्र आहे जे तुम्ही मूलतः प्रतिकार शक्ती लागू करून वापरता जेणेकरून प्रवेग शून्य असेल आणि आशा आहे की वेग देखील शून्य असेल आणि मग तुम्ही निश्चित करता अज्ञात शक्ती जेव्हा इलेक्ट्रोस्टॅटिक बलांच्या बाबतीत येते तेव्हा कूलॉम्बच्या लक्षात आले की कूलॉम्ब कायद्याचे निर्धारण करण्याचा आणखी चांगला मार्ग म्हणजे तथाकथित एक ओव्हर आर स्केअर फोर्स ज्याला डिशमध्ये गुहा म्हणून देखील ओळखले जाते ते टॉर्शन बीएद्वारे आहे. लान्स आणि टॉर्शन बॅलन्स काय करते तुमचा टॉर्शन बॅलन्स शून्य बल तयार करत नाही परंतु तो एक शून्य टॉर्क तयार करतो, मग तुम्ही काय कराल, आपण या स्लाईडवर परत येऊ या इथे $n1$ टॉर्क प्रयोग म्हणून हे चित्र विकिपीडियावरून आहे आणि हे नेमके ते उपकरण आहे जे कॅव्हेंडिशने वापरले होते जे मी पुन्हा पुन्हा वापरणार आहे म्हणून तुमच्याकडे एक पातळ वायर आहे ज्यावर तुम्ही दोन रॉड्स लटकवता आणि नंतर तुम्ही ते इतर दोन वस्तूद्वारे आकर्षित कराल जे समान आणि विरुद्ध बल लागू होतील.

त्यामुळे टॉर्कमुळे आता टॉर्क आहे कारण संपूर्ण गोष्ट स्विंग होते आणि समतोल स्थितीत येते त्यामुळे टॉर्क्स काउंटरमांड केले जातात कारण स्प्रिंगच्या टॉर्शनमुळे एक शून्य टॉर्क प्रयोग असेल आणि नंतर तुम्हाला विक्षेपणाचा कोन सापडेल. कूलॉम्बने जे तंत्र वापरले होते आणि जे कॅव्हेंडिशने केले होते तेच तंत्र वापरायचे होते

त्यामुळे तुम्ही येथे दोन वस्तुमान पाहू शकता इतर दोन वस्तुमान दिसत नाहीत $i1$ पण ही मूळ कल्पना आहे आता मी ही संकल्पना दुसऱ्या आकृतीद्वारे विस्तारित करणार आहे जे मला जे काही दाखवायचे आहे ते पूर्णपणे स्पष्ट करते

त्यामुळे येथे काय घडत आहे ते तुम्ही पाहू शकता, कॅव्हेंडिशने त्याच्या प्रयोगशाळेच्या छतावर जाऊन काय केले ते मी तुम्हाला सांगेन. त्याची प्रयोगशाळा काही मिनिटांत आली होती मग तिथे एक पातळ वायर आहे जी तुम्हाला खाली येत आहे असे दिसते जी टॉर्शन वायर म्हणून दर्शविली जाते आणि त्या पातळ वायरला बारीक रॉड जोडलेले आहे ठीक आहे ती गडद काळी रेषा बोल्ड काळी रेषा आहे. सडपातळ रॉड आणि ती अगदी बारीक रॉडच्या मध्यभागी जोडलेली आहे ही एकसमान सिलेंडर रॉड आहे आणि दोन टोकांना दोन लहान वस्तुमान m आहेत जे तेथे बसलेले आहेत म्हणून येथे लहान m म्हणजे हलक्या वस्तूला मोठा m म्हणजे जड वस्तूचा संदर्भ देतो तुम्हाला दिसत असलेल्या गुलाबी रंगाचा किंवा पीच रंगाचा तुम्हाला दिसणारा अबाधित स्थिती आता त्या अबाधित स्थितीमध्ये काय होते ते असे की दोन खूप जड वस्तुमान आहेत खरेतर लहान वस्तुमान आणि जड y वस्तुमान दोन्ही शिशापासून बनलेले होते ते सर्व पूर्णपणे गोलाकार होते ते अशा प्रकारे ठेवलेले आहेत की ते या दोन वस्तूपासून समान अंतरावर आहेत तर काय होते जड वस्तुमान हे शिसे स्वतःकडे हलवते म्हणून मी जड वस्तुमान एक जड वस्तुमान मागे जाऊ द्या या दिशेतील एका वस्तूवर दुसरा जड वस्तुमान विरुद्ध दिशेने बल लावतो त्यामुळे नेट टॉर्क असतो पण हा नेट टॉर्क टॉर्शनने काउंटरमांड केला जातो जो काउंटर माउंटिंग टॉर्क निर्माण करून विरोध करतो म्हणून नेट अँगल थीटा असावा तर ही कल्पना आहे आणि जड वस्तुमान आणि लहान वस्तुमान यांच्यातील अंतर ri द्वारे दर्शविले जाते बहुधा नोटेशन d वापरले आणि मुळात मला नवीन समतोल स्थिती शोधायची आहे कारण या टॉर्क्सच्या संतुलनामुळे हा प्रयोग आता आला आहे. ज्या प्रायोगिक तपशिलांकडे आपण खूप लक्ष दिले पाहिजे त्या प्रायोगिक संख्यांकडेही आपण खूप लक्ष दिले पाहिजे कारण दुर्दैवाने आपले एनसीआरटी पाठ्यपुस्तक गायन आहे. $ularly$ अभाव त्याच्याशी संबंधित कोणतीही संख्या नाहीत परंतु आम्ही येथे दुरुस्त करू की कॅव्हेंडिशने काय केले त्याने त्याच्या इस्टिमधील एका मोठ्या शेडमध्ये त्याची लॅब स्थापन केली कॅव्हेंडिश एक खानदानी व्यक्ती, श्रीमंत व्यक्ती, एक अर्थपूर्ण माणूस म्हणून तो जमीनदार होता

त्यामुळे त्याच्याकडे खूप मोठी शेड होती म्हणून त्याने काय केले ते म्हणजे त्याच्या शेतात कुठेतरी मोठ्या शेडला त्याची प्रयोगशाळा म्हणून रूपांतरित करणे आणि त्याने काय केले हे उपकरण जे मी आधी दाखवले होते त्याने संपूर्ण उपकरणे एका जाड लाकडी पेटीत ठेवली होती. वर संदर्भ उदाहरणार्थ विकिपीडिया देखील ते तुम्हाला बॉक्सचे परिमाण देतील ते एक खूप मोठे बॉक्स होते आणि जाड बॉक्सची जाडी स्वतःच कित्येक फूट होती ती लाकडी पेटीपासून बनलेली होती आणि ही लाकडी पेटी स्वतःच बंद करण्यात आली होती शेड कारण कॅव्हेंडिशला वाऱ्याचा किंवा कंपनांचा कोणताही त्रास नको होता जो त्या काळातील फिरत्या कार्ड्स किंवा रथ किंवा वॅगन्समुळे होतो, म्हणून त्याला आजच्या काळातील काही प्रकारचे उष्णतारोधक वातावरण हवे होते. आरएसई आम्ही तथाकथित कंपनमुक्त टेबलांवर अतिशय अत्याधुनिक प्रयोग करतो ते त्या वेळी उपलब्ध नव्हते पण कामंतेश यॉनी एक उल्लेखनीय सुधारणा केली आणि अशा प्रकारे आम्ही निरीक्षण करण्यासाठी आणि ऑपरेटर्सना त्रास होऊ नये म्हणून तुमच्या स्वतःच्या दृष्टिकोनातून पुढे गेलो. प्रत्यक्षात त्याचा परिणाम होईल तेव्हा तुम्हाला दिसेल की जेव्हा मी संख्या लिहून ठेवतो आणि जर तुम्ही त्यात रूपांतरित केले तर त्याची आमच्या स्वतःच्या वजनाशी तुलना करा म्हणजे तो बॉक्स आणि दोन्ही छोट्या छोट्या छोट्या छोट्या छिट्टांमधून त्याने बनवलेल्या लाकडी पेटीच्या जवळपासही गेला नाही. शेड आणि त्याने दोन दुर्बिणी लावल्या आणि त्याने पायपीट केली आणि त्याने टॉर्शन पेंडुलमचा जो काही कोन किंवा दोलन दूरवर आहे त्याकडे पाहिले हे असे काहीतरी आहे जे आपल्याला लक्षात ठेवले पाहिजे की तथाकथित शून्य प्रयोग हे एक आदर्शिकरण आहे कारण जर एक शून्य बल आहे ज्याचा सरळ अर्थ असा आहे की ऑब्जेक्टवर कोणतेही बल नाही आणि ती आपल्यासाठी निश्चित आहे की ती विश्रांती घेत आहे याची खात्री करत नाही की ती अगदी कमी गतीने एकसमान गतीने हलू शकते. जेव्हा तुमच्याकडे शून्य टॉर्कचा प्रयोग असेल तेव्हा n त्याला एकसमान वेग देऊ शकतो, जरासा विक्षेपण प्रत्यक्षात त्याला एक लहान टोकदार प्रवेग देऊ शकतो, म्हणून जरी आमच्या विश्लेषणामध्ये आम्ही प्रयोग शून्य मानू प्रत्यक्षात एक गती होती पण तो कालावधी खूप मोठा होता तो 20 मिनिटांचा होता

त्यामुळे एक पूर्ण दोलन पूर्ण करण्यासाठी 20 मिनिटे लागली होती जी सर्व व्यावहारिक कारणांसाठी तुम्ही दुर्लक्ष करू शकता कारण तुम्ही कोन मोजता तेव्हा निरीक्षणाचा कालावधी तुम्हाला कळतो तो एक सेकंद किंवा एक सेकंदाच्या कालावधीपेक्षा जास्त आहे. काही सेकंद किंवा अगदी अर्धा मिनिटाच्या तुलनेत 20 मिनिटांहून अधिक काळातील गती खूपच लहान सुधारणा होती याचा अर्थ कॅव्हेंडिशने पिचोट पूर्णपणे घर्षणरहित बनवण्यासाठी खूप काळजी घेतली होती आणि पुढे तेच त्याने केले होते आणि महत्त्वाचा मुद्दा होता आमच्या लक्षात आले पाहिजे की त्याने त्याच्या वेळी उपलब्ध असलेल्या सर्वात अचूक संभाव्य मापन साधनांचा वापर केला कारण त्याचा व्हर्नियर स्केल तुम्हाला माहित आहे की ते प्रवासी माइकसारखे होते रोस्कोप म्हणजे त्याने जे काही मायक्रोस्कोप निश्चित केले होते त्याची मोजणी 0.1 मिलिमीटर होती,

त्यामुळे व्हर्नियर स्केलमध्ये किमान ०.१ मिलिमीटर मोजणी होती असे मी म्हटल्यावर आपण निश्चितपणे लक्षात ठेवले पाहिजे की मी त्याची इतर परिमाणांशी तुलना केली पाहिजे. आणि तेच मी खाली उतरणार आहे आणि इथे तुमच्याकडे तपशील आहेत मला माहित नाही की ते दृश्यमान होईल की नाही, म्हणून मी ते येथे लिहून ठेवू द्या जेणेकरून तुम्हाला ते इतके प्रायोगिक तपशील काय आहे ते पाहू शकाल. मोठे लीड बॉल्स ते स्वतः निलंबित होते आणि त्यांना हलवायचे नाही म्हणून लीड बॉल पृथ्वीची भूमिका बजावत आहे आणि लहान बॉल्स लहान लीड बॉल पडत्या शरीराची भूमिका बजावत आहेत जे आपण लक्षात ठेवले पाहिजे.

त्यामुळे त्यांचे वस्तुमान 1 58.04 किलोग्रॅम होते म्हणून त्याला 158.04 किलोग्रॅमचा एक मोठा झाकण गोलाकार बनवला गेला, जर तुम्ही मूळ कागदावर पाहिले तर संख्या तथाकथित धान्यांमध्ये दिली आहे आणि ती 24 लाख 39,000 धान्ये आहेत, तेव्हा तुम्ही लक्षात ठेवावे की cavendish ने प्रयोग केला किंवा त्या बाबतीत जेव्हा न्यूटोनियन फॉर्म्युलेटेड देखील लॉस s i युनिट्स किंवा सीजीएस युनिट्स ग्रेट ब्रिटनमध्ये वापरली जात नव्हती तेव्हा ब्रिटीशांनी याला एफपीएस युनिट फूट पाउंड म्हणतात आणि दुसरे म्हणजे ते वापरले ते इंच होते आणि कॅव्हेंडिशला खूप हवे होते. अतिशय अचूकतेने त्याने पौडाचा एक अतिशय लहान अंश निवडला आणि त्यालाच धान्य म्हटले जाते म्हणून ते 24 लाख 39,000 धान्ये होते

त्यामुळे धान्ये बहुधा तुम्हाला लहान बियांचे वजन किंवा अशी काही गोष्ट माहित आहे ठीक आहे. ते वापरतात म्हणूनच जर धान्य वापरले असेल तर ठीक आहे म्हणून तेथे एक उल्लेखनीय अचूकता होती आणि या लहान शिशाच्या बॉल्सचे काय? लहान लीड बॉल्सचे वस्तुमान 0.73 किलो होते म्हणून आपल्याकडे 300 पेक्षा जास्त वजनाचा अंश आहे. वस्तुमान किमान 148 158.73 आहे जसे की 300 पट जास्त हलक्या वस्तुमानापेक्षा जड म्हणू या आणि त्यांनी तेच केले आम्ही जडत्वाच्या क्षणाची गणना करणार आहोत हे खूप महत्वाचे आहे म्हणून आपल्याला रॉडच्या वस्तुमानाबद्दल काळजी करावी लागेल. आघाडीचे बॉल निलंबनाचे होते अगदी बारीक धातूच्या तारांपासून बनवलेले खरे तर धातूच्या तारांची त्रिज्या कदाचित काही सेंटीमीटर इतकी होती आता रॉडचे वस्तुमान प्रत्यक्षात लाकडी दांडके होते

त्यामुळे लाकूड शिशापेक्षा खूपच हलके असते हे आपल्या सर्वांना माहित आहे आणि ते ०.०३ किलो इतके होते. आमच्यासाठी महत्वाचे आहे म्हणून जर मी या रॉडकडे पाहिले आणि मी दोन वस्तुमान ठेवले आणि ही स्ट्रिंग येथे येत आहे जवळजवळ सर्व वस्तुमान काठावर आहे रॉडचे वस्तुमान स्वतःकडे दुर्लक्ष केले जाऊ शकते कारण आपण 0.03 ते 0.73 बोलत आहोत. आपण 200 वेळा बोलत आहोत किंवा आपण रॉडच्या वस्तुमानाबद्दल सर्व काही विसरू शकतो जेव्हा आपण अंदाज लावणार आहोत ते ठीक आहे मग आपल्याला रॉड किती लांब आहे याची काळजी करावी लागेल अंतर मला हेच हवे आहे होय हे अंतर 1.860 मीटर होते खरेतर ते सहा फूट रॉड होते जे 1.860 मीटर आहे

त्यामुळे तुम्ही कल्पना करू शकता की ती लाकडी पेटी किती मोठी होती आणि ती शेड किती मोठी होती आपण 1.860 मीटर बोलत आहोत ते अंतर आहे ठेवले होते म्हणून कदाचित मी करू नये याला d म्हणून कॉल करू द्या मी त्याला 1 म्हणून कॉल करू कारण मी मोठ्या वस्तुमानांमधील अंतर वापरणार आहे हे नोटेशन देखील समान आहे ते बरोबर आहे की एक वस्तुमान येथे होते आणि दुसरे वस्तुमान देखील होते ते ठीक आहे जर मी ते इथे खाली आणले आणि हे अंतर देखील समान असेल तर मला असे म्हणायचे आहे की ते दोन रॉडच्या दोन्ही बाजूला होते ठीक आहे, आम्हाला त्रिज्याबद्दल काळजी करण्याची गरज नाही आम्हाला या लहान रॉडमधील अंतराबद्दल काळजी करण्याची गरज नाही. मोठ्या रॉडमध्ये मी लहान रॉड आणि मोठ्या रॉडमध्ये किती अंतर आहे ते पाहू दे जर ते माझ्याकडे असेल तर ते 0.225 मिलिमीटरचे होते लक्षात ठेवा मला खूप मोठे गुरुत्वाकर्षण बल हवे आहे म्हणून अंतर इतके असले पाहिजे शक्य तितके लहान अन्यथा ते खूप वेगाने मरेल म्हणून अंतर बिंदू 0.225 मीटरच्या क्रमाने होते ते मिलिमीटर असू शकत नाही कारण त्याच्याकडे निश्चितपणे किमान मोजणी नव्हती म्हणून 0.225 मीटर हे अंतर होते ते 1.860 मीटर होते आणि तो व्या मोजत होते ई कोनात जे अंतर पाहिले जात होते ते आता आपल्याला विश्लेषण करायचे आहे आणि आपण g चे मूल्य कसे ठरवणार आहोत हे शोधून काढायचे आहे आणि हेच आपल्याला करायचे आहे आणि मी तुम्हाला कमीतकमी मोजणी सांगितली. व्हर्नियर 0.254 मिलिमीटर होता

त्यामुळे आपण विश्लेषण करण्यास सुरुवात करूया

त्यामुळे मी काय करेन ते म्हणजे मी टॉर्क लिहीन माझा टॉर्क म्हणजे रॉडची लांबी याशिवाय काहीही नाही कारण ते काय आहे की माझ्याकडे लांबीची रॉड आहे 1. स्ट्रिंग मध्यबिंदूवर आहे दोन वस्तुमान आहेत आणि ते आकर्षित करत आहेत ते ठीक आहे म्हणून दोन शरीरांवर कार्य करणारे एक परिपूर्ण जोडपे आहे जी सक्तीची लांबी आहे म्हणून हे दुसरे काहीही नाही 1 जड लेग बॉलच्या वस्तुमानात g मध्ये लहान लीड बॉलचे वस्तुमान d स्केअरने भागले आहे तेच माझ्याकडे आहे, जर तुम्ही असे गृहीत धरले की ते टॉर्शनने तंतोतंत प्रतिकार केले आहे तर आपण काय करणार आहोत ते असे लिहू टॉर्शन स्थिरांक किंवा थीटामध्ये जे काही k असेल

त्यामुळे तारे f लिहितात e काल ते वजा kx जेथे k हा स्प्रिंग स्थिरांक आहे हा माझा टॉर्शन स्थिरांक आहे आणि हा थीटा हा विक्षेपणाचा कोन आहे हा विक्षेपणाचा कोन आहे की तो किती हलला आहे हे तुम्हाला माहित आहे आणि हेच कॅव्हेंडिशने ठरवले आहे

त्यामुळे g कसे ठरवायचे ते मला माहित आहे हा एक साधा बीजगणितीय व्यायाम आहे

त्यामुळे जे घडत आहे ते मी हे समीकरण करणार आहे म्हणून मला g समान मिळणार आहे

त्यामुळे मी कोणतीही चूक करू नये म्हणून मी काय मिळवणार आहे मला एक थीटा मिळणार आहे d चौरस mm1 वर

त्यामुळे गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक k theta d वर्ग mm1 साठी ही माझी प्राथमिक अभिव्यक्ती आहे

त्यामुळे मला विक्षेपणाचा कोन माहित आहे मला अंतर माहित आहे मला जास्त वस्तुमान माहित आहे मला लहान वस्तुमान माहित आहे मला वस्तुमानाची लांबी माहित आहे पण कसे करावे मला हे स्थिरांक माहित आहे म्हणून स्थिरांक ठरवण्यासाठी सर्व काही उकळते म्हणून प्रश्न म्हणजे k कसे ठरवायचे याचे उत्तर सोपे आहे सर्वकाही काढून टाका जड वस्तुमान काढून टाका सर्वकाही काढून टाका आणि नैसर्गिक दोलन पहा तर नैसर्गिक दोलनाकडे पाहा उपाय काय आहे प्रणालीचा n तर माझ्याकडे काय आहे माझ्याकडे ही रॉड आहे दोन गोळे आहेत आणि मी त्याला एक वळण थीटा देतो आणि विचारतो की ते कसे oscillates म्हणून जर तुम्ही लहान कोन थीटा दिली तर तुम्हाला माहिती आहे की ती एक साधी हार्मोनिक गती आणि कालावधी कार्यान्वित करते मूलतः t द्वारे 2 pi रूट i बरोबर अज्ञात टॉर्शनल स्थिरांक k द्वारे दिले जाते ते म्हणजे आपल्याकडे जे आहे ते बिंदू वस्तुमानाचे सामान्यीकरण आहे जे दोलन होणार आहे आणि तुमचा i मूलतः जडत्वाचा क्षण आहे जडत्वाचा क्षण काय आहे पृथक्करण असलेल्या दोन वस्तुमानांच्या प्रणालीचे 1 आता महत्वाचे निरीक्षण आले आहे की या दोन लाल स्वामींच्या वस्तुमानांच्या तुलनेत लाकडी रॉडचे वस्तुमान फारच लहान अंश आहे त्यामुळे जडत्वाचा क्षण अगदी सहज होऊ शकतो. गणना केली आहे आणि ते m 1 बाय 2 पूर्ण वर्गाशिवाय दुसरे काहीही नाही कारण ते या अधिक m मध्ये 1 च्या 2 पूर्ण वर्गाच्या या विशिष्ट बिंदूबद्दल आहे जेणेकरून ते 2 m मध्ये 1 बाय 2 पूर्ण चौरस बनते म्हणून हा माझा जडत्वाचा क्षण आहे मी काय करीन मी कालावधी मोजेन i माझ्या जडत्वाचा क्षण जाणून घ्या आणि ते मला लगेचच स्प्रिंग स्थिरांक देते म्हणून जर मी ही सर्व गणना केली तर मला g साठी एक अतिशय सुंदर अभिव्यक्ती मिळेल जी मी येथे माझ्या स्लाइडमध्ये प्रदर्शित केली आहे मी तुम्हा सर्वांना आमंत्रित करतो कृपया सर्व अभिव्यक्ती बदला आणि खात्री करा. तुम्ही स्वतः आणि तुमचा g दोन pi चौरस 1d चौरस बाय mt वर्गाने काय दिले आहे कृपया लक्षात ठेवा हा छोटा d हा मोठा रॉड मोठा बॉल आणि लहान चेंडू कॅपिटल 1 रॉडची लांबी आहे हे कॅपिटल m चे वस्तुमान आहे मोठा लीड बॉल लहान चेंडूचे वस्तुमान रद्द केले जाते आणि नंतर टी अर्थातच कालावधी आहे म्हणून ही उत्कृष्ट अभिव्यक्ती आहे म्हणून कॅव्हेंडिशने एका वर्षाच्या कालावधीत हेच केले असेल त्याने खूप वाचन केले असेल आणि जर तुम्ही इंटरनेटवर जा आणि जर तुम्ही गुगल केले तर तुम्हाला रॉयल सोसायटी ऑफ लंडनच्या तात्विक व्यवहारांचा संदर्भ सापडेल जिथे तुम्हाला केबिन आणि कॅव्हेंडिशचे तपशीलवार कागद सापडतील जे उल्लेखनीय क्रमांकावर आले आहेत जे सहा गुणांनी दिले आहेत. अगदी चार ते दहा ते उणे अकरा च्या पांवरमध्ये, म्हणून खरोखरच त्याने एक विलक्षण नाजूक प्रयोग केला ज्यामध्ये खूप कमी संख्या ठरवली गेली हे लिहिताना अर्थातच

मी पूर्णपणे लहान आणि निष्काळजी राहिलो आहे, म्हणजे हे जाणूनबुजून केले आहे जेणेकरून आम्ही थोडा वेळ घालवू. आपण हे जे लिहित आहोत ते अर्थातच निरर्थक आहे जोपर्यंत आपण युनिट्स निर्दिष्ट करत नाही आणि युनिट्स si युनिट्समध्ये आहेत, म्हणून मी तुम्हा लोकांसाठी si युनिट्स म्हणजे न्यूटनच्या संदर्भात माझे बल काय असेल याची गणना करण्याचा व्यायाम म्हणून मी सोडतो आणि न्यूटन स्वतःच आहे. मीटरमध्ये किती किलो मीटर भागिले दुस-या चौरसाने उजव्या बाजूस भागिले वस्तुमान चौरस लांबीच्या चौरसाने भागले आहे,

त्यामुळे जर तुम्ही संपूर्ण गोष्ट बदलली तर तुम्हाला g चे मूल्य न्यूटनमध्ये मिळेल म्हणून त्याने केलेला हा प्रयोग आहे आणि तुम्ही सहज करू शकता हिती साधारणपणे सहा फूट उंचीची व्यक्ती होती आणि त्याचे वजन ७० किंवा ८० किलो होते असे गृहीत धरून जर कॅव्हेंडिश उपकरणाच्या अगदी जवळ गेले असते तर मोठ्या संख्येने अंदाजे अंदाज होता. गुरुत्वाकर्षण शक्तींवर खूप गोंधळ होतो म्हणून तो कदाचित मीटर आणि मीटर दूर राहण्याइतका हुशार होता आणि तो आकर्षणाच्या शक्तीकडे पहात होता जे मीटरच्या अंशाने वेगळे केले जातात हे जाणून घेणे फार महत्वाचे आहे अतिशय समान स्वरूपाचा पण प्रचंड अचूकतेचा प्रयोग हा क्षयचा उत्कृष्ट प्रयोग आहे जो 1964 मध्ये करण्यात आला होता ज्याने प्रत्यक्षात हे सत्यापित करण्याचा प्रयत्न केला की ग्रॅव्हिटेशनल फोर्स एक्सप्लेशन मध्ये वस्तुमान टर्म रद्द होते ma समान gm आणि आम्ही $inertial$ आणि tm समतुल्य रद्द करतो तेथे गुरुत्वाकर्षण वस्तुमान प्रत्यक्षात उभे क्षय हे सुनिश्चित केले की पृथ्वीच्या वस्तुमानाचा देखील प्रयोगावर कोणताही परिणाम होणार नाही जो खूप महत्वाचा आहे कारण उदाहरणार्थ कॅव्हेंडिश प्रयोगात असे गृहित धरले जाते की तारांची लांबी ज्याने वजनदार वस्तुमान आणि लहान वस्तुमान तंतोतंत सारखेच होते अन्यथा थोडासा विसंगती असेल आणि टॉर्क विमानात ठीक नसेल आणि नंतर गुरुत्वीय क्षेत्र पृथ्वी एक भूमिका निभावेल की क्षय प्रत्यक्षात दूर करण्यात सक्षम होती की आपल्याला त्यात प्रवेश करण्याची गरज नाही परंतु हा खरोखर मनोरंजक प्रयोग आहे म्हणून मी या विशिष्ट टप्प्यावर स्वतःला काय विचारले पाहिजे ते म्हणजे त्याची तुलना करून हा प्रायोगिक निर्धार किती चांगला होता ज्ञात मूल्यांसह आणि येथे माझ्या स्लाइडमध्ये मी ज्ञात मूल्य घेतले आहे, हे सर्वात अलीकडील मूल्य कदाचित 2014 मध्ये किंवा त्यापेक्षा जास्त असेल आणि संख्या सहा पॉइंट सहा सात चार शून्य आठ आणि तीन एक कंसात दहा ते वजा अकरा ची शक्ती

त्यामुळे आम्हाला काय आढळले की पहिला महत्वाचा अंक पूर्णपणे सहमत आहे की परिमाण त्रुटीचा कोणताही क्रम नाही परिपूर्ण त्रुटी सुमारे सात टक्के आहे प्रत्यक्षात एक अधिक काळजीपूर्वक प्रयोग जो दोन मुलांनी केला होता किंवा कोणीतरी मला आठवत नाही जवळजवळ 100 वर्षांनंतर अचूकता फक्त दोन टक्क्यांनी वाढवा ठीक आहे तुम्हाला आजच्या प्रयोगाच्या वास्तविकतेच्या तुलनेत पाच टक्के त्रुटी होती आणि तुम्ही सापेक्ष त्रुटी पाहू शकता आधुनिक मूल्यादरम्यान आजचे वर्तमान मूल्य आणि कॅव्हेंडिश मूल्य सुमारे एक टक्का आहे म्हणून वापरलेले उपकरण आधुनिक मानकानुसार वापरत असलेल्या तुलनेत खूपच कच्चे होते आणि सर्वात कमी शंकू इतके मोठे नव्हते या वस्तुस्थितीच्या तुलनेत आज आम्ही जे वापरले त्या वस्तुस्थितीच्या तुलनेत ते पूर्णपणे कंपनमुक्त नव्हते की ते बंदिस्त असूनही तेथे वाऱ्याची झुळूक किंवा वाऱ्याची एक छोटीशी झुळूक असू शकते, तुम्हाला दिसेल की कॅव्हेंडिश प्रयोग खरोखरच खूप यशस्वी ठरला आणि अगदी न्याय्यपणे कॅव्हेंडिशला श्रेय दिले जाते. g च्या निश्चयाने अर्थातच एक कल्पना आहे की आपल्याला पृथ्वीचे वजन करायचे आहे ते आर्किमिडीजकडे परत जाते ज्यांनी सांगितले की जेव्हा त्याने हे शोधले तेव्हा तुम्हाला यकृताचे तत्व माहित आहे तुम्हाला आठवते जे तुम्ही आठवी अलंकार इयत्तेत शिकलात तो म्हणाला की द्या मला उभे राहण्यासाठी जागा द्या आणि मला एक पुरेसा लांब दांडा द्या, मी तुमच्यासाठी पृथ्वीचे वजनही करू शकतो, मी तुमच्यासाठी काहीही तोलू शकतो जो आर्किमिडीजचा दावा होता,

त्यामुळे कदाचित लोक प्रभावित झाले असतील त्याद्वारे आणि विविध कारणांमुळे लोकांना पृथ्वीचे वस्तुमान आणि पृथ्वीची घनता यामध्ये रस होता, आता जर आपल्याला पृथ्वीचे वस्तुमान गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक माहित असेल तर आपण पृथ्वीचे वस्तुमान देखील शोधू शकू जे मी दाखवले आहे. या स्लाईडमध्ये पण मी ते लिहून ठेवणार आहे, म्हणून आपण ते लिहू या, वास्तविक मूल्य बदलण्यासाठी आणि स्वतःला पटवून देण्यासाठी मी काय करू इच्छितो, त्यामुळे आता मी गॅलिलिओकडे परत जात आहे, तोच शरीर घसरण्याचा गॅलिलियन नियम आहे. पृथ्वीच्या चौरसाच्या त्रिज्याने भागलेल्या वस्तूच्या पृथ्वी वस्तुमानाच्या g वस्तुमानाच्या समान m j लिहीन तेच मी लिहीन पण आता मी 15 मिनिटांपूर्वी जितका शक्तीहीन होतो तितका असहाय्य नाही कारण केबिन डिशला धन्यवाद गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक माहित आहे की हा m निघून जाईल आणि मला पृथ्वीची त्रिज्या माहित आहे निरीक्षणांमुळे धन्यवाद म्हणून मी ताबडतोब पृथ्वीचे वस्तुमान निश्चित करू शकतो ग्रे स्केअर भागिले कॅपिटल g हेच माझ्याकडे आहे जसे मी तुम्हाला सांगितले की कॅव्हेंडिश नव्हते पूर्णपणे मध्ये पृथ्वीच्या वस्तुमानात मला रस होता पण मी पृथ्वीची त्रिज्या लिहित असताना सरासरी घनतेमध्ये रस होता, ती म्हणजे मध्य त्रिज्या देखील कारण शेवटी आपल्याला माहित आहे की पृथ्वी एक परिपूर्ण गोलाकार नसून ती एक भूगर्भ आहे. हे धुवांवर सपाट आहे आणि विषुववृत्तावर किंचित फुगलेले आहे म्हणून ही त्रिज्या फक्त एक मध्यम आहे परंतु तरीही आपण दुर्लक्ष केले तर आपण हे 4π बाय 3 रे क्यूबेड ρ मध्ये लिहू आणि मी त्या सर्वांवर एक पट्टी ठेवू. बार म्हणजे बार म्हणजे पृथ्वीच्या त्रिज्येचे सरासरी मूल्य आणि पंक्ती बार म्हणजे सरासरी घनता म्हणजे पृथ्वीची वस्तुमान घनता म्हणजे किती घनता आहे, म्हणून जर तुम्ही सर्व आकडे जोडले तर त्या काळातील लोकांना आवडायचे घनतेऐवजी विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण देण्यासाठी आणि कृपया लक्षात ठेवा विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण हे एखाद्या पदार्थाच्या घनतेच्या घनतेचे आणि खोलीच्या तपमानावर शक्यतो पाण्याच्या घनतेचे गुणोत्तर आहे, म्हणून पृथ्वीची पंक्ती म्हणजे ρ पाण्याने भागली जाते असे म्हणू या की सामान्य तपमानाचा दाब निघतो. 5.448 अधिक किंवा उणे ०.०३३ ही संख्या आहे जी कॅव्हेंडिशला मिळाली मनोरंजकपणे आम्हाला सांगण्यात आले आहे की प्रत्यक्षात कॅव्हेंडिशने चूक केली बीजगणितीय संख्यात्मक त्रुटी वरवर पाहता त्याने ती 5.84 किंवा काहीतरी किंवा 5.448 असल्याचे घोषित केले ती ट्रान्स्क्रिप्शन एरर किंवा संख्यात्मक त्रुटी असू शकते ही खूप क्षुल्लक त्रुटी आहे प्रतिस्थापन त्रुटी आम्ही यासाठी कोणासही दंड करणार नाही परंतु योग्य संख्या 5.448 आहे जी तुम्हाला सांगते की पृथ्वी बहुतेक घन आहे आणि ती जड आहे जरी ती घन नसली तरीही त्यात खूप जड घटक असणे आवश्यक आहे जे तुमच्याकडे आहे. पृथ्वीच्या गाभ्यामध्ये त्यामुळे पाण्याचे प्रमाण मोठे नाही, जरी पाण्याच्या पृष्ठभागाचा दोन तृतीयांश भाग पृथ्वी पाण्याने व्यापलेला आहे, त्यामुळे तुलनेसाठी तुम्ही लक्षात ठेवा की घनता किंवा लोहाचे विशिष्ट गुरुत्व सुमारे 7 अधिक 7 बिंदू आहे. $1ed$ चे काहीतरी म्हणजे 11 पॉइंट काहीतरी आहे

त्यामुळे आपल्याकडे इतर विविध घटकांचे मिश्रण आहे ठीक आहे भरपूर सिलिकॉन वगैरे वगैरे

त्यामुळे कॅव्हेंडिशचा शोध लागला किंवा कॅव्हेंडिश मोजला गेला. on तो पृथ्वीचे वजन करण्यासाठी किंवा पृथ्वीचे वजन पहिल्यांदा शोधण्यासाठी प्रसिद्ध आहे आणि आपण ते दिवस देखील लक्षात ठेवले पाहिजे जे लोक वस्तुमान आणि वजन यात फरक करत नव्हते म्हणून तो म्हणाला की मी आज पृथ्वी बनवली आहे जेव्हा आपण म्हणतो वजन म्हणजे वस्तुमान आहे पण त्याचा अर्थ असा होता की त्याला गुरुत्वाकर्षण m ते g मध्ये वस्तुमान सापडले हे त्याने शोधून काढले पण हे थोडेसे विचलन किंवा एकीकरण आहे ज्याची आपल्याला काळजी करण्याची गरज नाही म्हणून आपण आता खूप पुढे आलो आहोत. पण आपली गणना इथेच संपत नाही कारण पुन्हा माझ्याकडे पृथ्वीचे वस्तुमान मोजण्याचे आणि गुरुत्वाकर्षणाचा नियम बरोबर आहे याची पडताळणी करण्याचे कोणतेही स्वतंत्र साधन नाही, काटेकोरपणे बोलायचे तर ते शक्य असले पाहिजे म्हणून मी काय करावे मी सक्षम असावे चंद्राच्या कक्षकडे पहा आणि पृथ्वीचे वस्तुमान पुन्हा ठरवूया, जे आपल्याला करायचे आहे, जर पृथ्वीचे वस्तुमान कॅव्हेंडिश किंवा कॅव्हेंडिश द्वारे मिळालेल्या मूल्याशी सहमत असेल तर आपण जिथे पहाल तिथे थोडा वेळ घालवू या. चंद्राच्या कक्षतून येणाऱ्या निरीक्षणांवरून दोन स्वतंत्र वस्तुमानांवर लक्ष केंद्रित केले तर गुरुत्वाकर्षण नियमावरील आपला विश्वास वाढतो मी पुढे काय करावे ते मला पृथ्वीच्या सूर्याभोवतीच्या परिभ्रमण गतीकडे पाहता आले पाहिजे आता सूर्याच्या वस्तुमानाचा अंदाज लावू शकेन, अर्थातच माझ्याकडे सूर्याचे वस्तुमान शोधण्याचे कोणतेही साधन नाही परंतु नंतर मला विविध ग्रहांच्या परिभ्रमण गतीकडे लक्ष देणे आवश्यक आहे आणि

त्यामुळे सूर्याचे वस्तुमान निश्चित केले पाहिजे. पण सुदैवाने हे केप्लरच्या तिसऱ्या नियमाने आधीच स्थापित केले आहे कारण अशा प्रकारे आपल्याला स्थिरांक

मिळाला आहे परंतु जर मी हुशार असेन तर मला पृथ्वीभोवती चंद्राची गती आणि सूर्याभोवतीची पृथ्वीची गती एकत्र करता आली पाहिजे. पृथ्वी आणि चंद्र यांच्यातील अंतर पाहता पृथ्वीभोवती चंद्राचा कालावधी आणि पृथ्वी आणि सूर्य यांच्यातील अंतर पाहता सूर्याभोवतीचा पृथ्वीचा कालावधी यांच्यातील संबंध प्रस्थापित करण्यास सक्षम असावे, म्हणून हे विविध मार्ग आहेत प्रवृत्ती तपासत आहे की आपण तसे केले तर गुरुत्वाकर्षण स्थापित होईल परंतु मी त्या ठिकाणी का थांबावे मी थोडे पुढे जाऊ शकतो मी मंगळाचे चंद्र पाहू शकतो उदाहरणार्थ मी गुरूचे चंद्र पाहू शकतो बृहस्पति ग्रह एक आहे खूप मोठ्या संख्येने चंद्र आहेत मला माहित नाही अनेक नावे आहेत मला ती आता मिळत नाहीत ठीक आहे 12 चंद्र आहेत किंवा अशी काही गोष्ट आहे की मी त्यांचे मासिक पाळी गोलाकार असल्यास मी वापरण्यास सक्षम आहे मी लिहिलेले सूत्र जर ते उच्च लंबवर्तुळाकार असतील तर मिस्टर न्यूटन हे आम्हाला सांगते की ते निश्चित करणे शक्य आहे कारण न्यूटनचे नियम तुम्हाला योग्य ग्रहांच्या कक्षा देतात आणि मी विविध वस्तुमान निश्चित करू शकेन आणि जर ते सर्व एकमेकांशी पूर्णपणे सहमत असतील तर तुम्ही पहात आहात की मी युरेनस किंवा मंगळ किंवा गुरू ग्रहांच्या वस्तुमानाची भविष्यवाणी करत आहे ज्यामुळे गुरुत्वाकर्षणाचा नियम पूर्णपणे स्थापित होईल आणि एक अनपेक्षित बोनस आहे ज्याचा आपण सामना करणार आहोत आणि ते म्हणजे लोक भरती-ओहोटीचे स्पष्टीकरण. आणि लोकांना चड्डीची भुरळ पडली आहे कारण तुम्हाला माहित आहे की पौर्णिमेची रात्र आणि अमावस्येची रात्र भरतींना कारणीभूत ठरते आणि कितीही अलौकिक स्पष्टीकरण दिले गेले न्यूटनने पाहिले की चड्डी हे सूर्य किंवा चंद्राच्या गुरुत्वाकर्षण शक्तीच्या फरकाशिवाय दुसरे काहीही नाही. पृथ्वीची दोन भिन्न टोके म्हणजे ही सुधारणा आहे की आपल्याला या सर्वांची गणना करायची आहे आपण पुढील व्याख्यानात करू, म्हणून तुम्हा सर्वांना माझा प्रामाणिक सल्ला आहे की कृपया परत जा या सर्व गोष्टी काळजीपूर्वक करा मी प्लग इन केले नाही. संख्यात्मक मूल्ये आणि पुढील लेख्यमध्ये मी तुम्हाला जे काही सांगितले त्याचा अभ्यास आम्ही पूर्ण करू आणि त्यानंतर अर्जावर चर्चा करू, तुमचा दिवस शुभ जावो.