

[संगीत] [टाब्या]

त्यामुळे फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टवरील व्याख्यानांच्या मालिकेतील शेवटच्या व्याख्यानासाठी मी तुम्हा सर्वांचे स्वागत करतो, आम्ही विद्युत चुंबकीय लहरींच्या लहरी स्वरूपाच्या पुराव्यावर चर्चा करण्यात बराच वेळ घालवला आहे. अपवर्तनाचे नुकसान इत्यादि इत्यादि आणि आम्ही हे देखील निदर्शनास आणले की लेनार्ड आणि मिलिकनचे महान प्रयोग अर्थातच पहिले प्रयोग हर्ट्झने कसे केले होते ते इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी किंवा प्रकाशाच्या लहरी निसर्गाच्या संकल्पनेशी समेट होऊ शकत नाहीत म्हणून आम्ही अडथळे आहोत. प्रकाशाच्या लहरी स्वरूपाचा स्वीकार केला तर प्रकाशविद्युत परिणामाचे परिणाम समजून घेण्याच्या स्थितीत आपण नसतो आणि दुसरीकडे आपण प्रकाशाच्या स्वरूपाचे तरंग स्पष्टीकरण सोडून दिले तर प्रक्रिया कशा समजून घ्यायच्या या प्रश्नात आपण अडचणीत येऊ शकतो. ढवळाढवळ आणि विवर्तन,

त्यामुळे या क्षणी आपण काय करणार आहोत हे विचारू नये की आपण एक संकल्पना समेट कसा करू शकू. प्रकाशाच्या लहरी स्वरूपाचे फोटोन जे सध्या खूप प्रगत मार्गाने केले जाईल ते म्हणजे प्रकाशाच्या लहरी स्वरूपाचा आपला विश्वास किंवा आपल्याकडे जे काही पुरावे आहेत ते निलंबित करणे आणि केवळ तार्किक पद्धतीने आपण कसे समजून घेण्याचा प्रयत्न करू. मिलिकन आणि लेनार्ड मिलिगनच्या प्रयोगांच्या परिणामांचा लेखाजोखा देऊ शकतो हे अर्थातच सर्वात महत्वाचे आहेत आणि आम्ही माझ्या आधीच्या एका व्याख्यानात नमूद केल्याप्रमाणे आम्ही खूप वेळ घालवला आहे, परंतु आम्ही संपूर्ण वर्णनासाठी लक्ष्य ठेवत नाही. सोप्या वर्णनासाठी उद्दिष्ट ठेवल्यास तुम्हाला स्पष्टपणे दिसून येईल की लहरी स्वरूपाचा विरोधाभास आहे परंतु मी म्हटल्याप्रमाणे ते भविष्यातील काही काळ समजून घेण्यासाठी आहे म्हणून आपल्याला आइन्स्टाईनचे स्पष्टीकरण पहावे लागेल हे लक्षात ठेवले पाहिजे की आइन्स्टाईन हा प्रवर्तक नाही. फोटॉन या तथाकथित प्रकाशाच्या कणाची संकल्पना ही संकल्पना प्रत्यक्षात मॅक्स प्लॅंकेने मांडली होती आणि प्लॅंकेला ती संकल्पना का आणावी लागली याचीही आपण चर्चा केली आहे. ब्लॅकबॉडी रेडिएशनची घटना पाहून ब्लॅकबॉडी रेडिएशन हा तुमच्या कोर्सचा भाग नाही पण मी तुम्हाला उर्जेच्या समतुल्य तत्त्वाचा वापर करून दाखवू शकलो की जर तुम्ही प्रकाशाच्या लहरींचे वर्णन स्वीकारले तर कोणत्याही तापमानात माझी एकूण ऊर्जा लाट अमर्याद असेल हेच आम्हाला आढळले म्हणून मी तुम्हाला दाखवलेल्या चित्रात एक चतुर्भुज विचलन आहे आणि प्लॅंकेने मूळगामी गृहीतक मांडले आहे की हे समजले जाऊ शकते काळ्या शरीराच्या किरणोत्सर्गासंबंधीचे प्रायोगिक परिणाम समजू शकतात जर तुम्ही प्रकाशाची कल्पना केली असेल तर कणांचा एक प्रवाह जो तो म्हणाला होता पण प्लॅंकेचा फोटॉनच्या संकल्पनेवर खरोखरच विश्वास नव्हता त्याने फक्त विचार केला की जेव्हा इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लाटा पोकळीतील अणू किंवा रेणूंची संवाद साधतात कारण जेव्हा तुम्ही काळ्या रंगाचा अभ्यास करता तेव्हा तेच तुम्ही पहाल. बॉडी रेडिएशन हे एक कण असल्याचे भासवते ज्यावर प्लॅंकेचा विश्वास होता म्हणून आइन्स्टाईनने त्याचे स्पष्टीकरण देताना उचललेले मोठे पाऊल कारण त्याने फोटॉनला संपूर्णपणे वास्तवाचे प्रतिनिधित्व केले म्हणून मानले म्हणून तो एक प्रभावी चित्र देण्याचा प्रयत्न करत नाही असे त्याने सांगितले की प्रकाश कणांच्या प्रवाहाप्रमाणे वागू शकतो आणि मी यावर काही प्रमाणात चर्चा करणार आहे

त्यामुळे त्या अर्थाने काय? प्लॅंकेसाठी प्लॅंकेने पूर्वी जे केले त्यापेक्षा आइन्स्टाईनने केले हे खूप धाडसी आणि धाडसी आहे, तर आइन्स्टाईनसाठी ती एक सोयीची भाषा होती आणि आइन्स्टाईनसाठी ती वास्तविकता होती आणि म्हणूनच काही साथी समीकरणे लिहिण्याआधी आपण बराच वेळ घालवला आहे कारण मला माहित आहे की तुम्ही सर्वांनी फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टमध्ये पुरेशा प्रमाणात समस्या सोडवल्या आहेत त्यामुळे लेनार्टाचा प्रसिद्ध प्रयोग लक्षात ठेवा हा मिलिकन हा सोडियमचा प्रयोग आहे आणि सोडियम हे लक्ष्य आहे आणि तुम्हाला येणारी सरळ रेषा दिसते त्यामुळे ही सर्वात जास्त आहे. आश्चर्यकारक गोष्ट म्हणजे ती वारंवारतेशी रेषीय रीतीने वागते, ही वारंवारता अर्थातच दृश्यमान प्रदेशात पूर्णपणे भौतिक नसते कारण ती थोडीशी असते. वर आपण सोडियम हे घटक किंवा सीझियम सारखे धातू नाही तर बघत आहोत पण जर तुम्ही असे केले तर तेच तुम्हाला दिसेल आणि हे असे काहीतरी आहे जे तरंग सिद्धांताच्या संदर्भात समजू शकत नाही. चला तर मग आपण आठवूया की मिलिकॉनव्हर्ट मिलिकनच्या काळजीपूर्वक प्रयोगांचे सर्व निष्कर्ष काय आहेत हे प्रयोग दहा वर्षांच्या कालावधीत केले गेले हा प्रयोग सहा महिने किंवा आठ महिने किंवा दोन वर्षांच्या कालावधीत केलेला प्रयोग नाही म्हणून तेथे आहे. भरपूर डेटाचा पहिला परिणाम असा आहे की फोटो उत्सर्जनासाठी तुम्हाला किमान वारंवारता आवश्यक आहे हे लक्षात ठेवा शास्त्रीयदृष्ट्या लहरीची ऊर्जा त्याच्या मोठेपणाद्वारे वाहून जाते आणि त्याच्या वारंवारतेने नव्हे तर लहर किती वेळा ओलांडत आहे हे सांगते तर मोठेपणा किती वेळा सांगते ती वाहून नेत असलेली उर्जा दोन भिन्न गोष्टी आहेत

त्यामुळे उर्जा ही ध्वनीच्या वारंवारतेची तीव्रता खेळपट्टीसारखी असते म्हणून मी खूप उंच खेळपट्टीवर बोलू शकतो खूप कमी तीव्रता

त्यामुळे तिथे जास्त उर्जा नाही पण मी उच्च खेळपट्टीवर गेलो आहे किंवा त्याउलट मी खूप उच्च तीव्रतेने खूप कमी आवाजात बोलू शकतो आणि

संगीतकार ते करू शकतात खूप कमी खेळपट्टी आणि ते खूप मोठ्या आवाजात गाऊ शकतात

त्यामुळे आमच्यात हाच फरक आहे

त्यामुळे ध्वनीसह सर्व लहरी घटनांमध्ये हे एक प्रस्थापित सत्य आहे पण इथे आम्ही म्हणत आहोत की फोटो उत्सर्जन तर आम्ही काय म्हणतोय तर मला द्या ते इथे लिहा

त्यामुळे आम्ही जे काही अनेकदा बोललो ते समजून घेण्याच्या फायद्यासाठी मी पुनरावृत्ती करत आहे

त्यामुळे आम्ही भौतिकशास्त्रज्ञ आहोत

त्यामुळे आम्हाला रिडंडंसीची भीती वाटत नाही म्हणून आम्ही ते आवश्यक तितक्या वेळा पुन्हा करू इलेक्ट्रॉन्सचे उत्सर्जन आता इलेक्ट्रॉन बांधलेले आहेत म्हणून किमान उर्जा आवश्यक आहे किमान उर्जा आवश्यक आहे त्या किमान उर्जेशिवाय मी ई मिनिमम म्हणून जर a किमान पेक्षा कमी असेल म्हणजे उत्सर्जन नाही हे एक सिम आहे उर्जेच्या संवर्धनाचा परिणाम तुम्ही पुरेशी ऊर्जा देत नाही, तुम्हाला पुरेशी ऊर्जा मिळत नाही, तुम्हाला इलेक्ट्रॉन अजिबात मिळत नाहीत पण प्रयोग आम्हाला काय सांगतात प्रयोग आम्हाला सांगतात की नवीन किमान पेक्षा कमी असल्यास कोणतेही उत्सर्जन होत नाही म्हणून हे नवीन किमान भिन्न धातूसाठी भिन्न आहे आणि आम्ही ते सोडियम सीझियम झिंक लीड इत्यादी धातूंच्या कार्य कार्याशी संबंधित आहे आम्ही हे सर्व घटक पाहिले आणि ते थांबण्याच्या संभाव्यतेद्वारे कार्य कार्याशी जोडले गेले होते मी त्यात प्रवेश करणार नाही. म्हणून आम्ही म्हणत आहोत की नवीन नवीन किमान पेक्षा कमी असल्यास कोणतेही उत्सर्जन होत नाही आणि त्याच प्रकारे ई किमान पेक्षा कमी असल्यास कोणतेही उत्सर्जन होत नाही आणि आम्ही उर्जेचे संवर्धन पाहत असल्याने याचा अर्थ असा आहे की माझे नवीन कसे तरी संबंधित आहे. उर्जा हे आइन्स्टाईनचे महान निरीक्षण होते दुसरीकडे प्लॅंकेने आधीच असे गृहीत धरले होते की कोणत्याही दिलेल्या वारंवारतेसाठी आपण उर्जा डब्ल्यू बरोबर येत असल्याची कल्पना करू शकतो. ठराविक ठराविक वारंवारतेचे फोटॉन आहेत

त्यामुळे प्लॅंकेने काय म्हटले आहे की जर तुमच्याकडे ऊर्जा घनता असेल तर हे प्रमाण ठराविक दिलेल्या वारंवारतेसाठी जे काही असेल ते n मध्ये $h \nu$

h असे लिहिले जाऊ शकते हे प्लॅंकेचे स्थिरांक आहे आणि हे प्लॅंकेचे स्थिरांक म्हणून ओळखले गेले. संख्या घनता ही संख्या घनतेने ओळखली जाते

म्हणून आपण काय करत आहोत अभिव्यक्तीची डाव्या बाजू मॅक्सवेलच्या सिद्धांतावरून येते जी आपल्याला सांगते की प्रकाश एक लहरी घटना आहे

आणि आपण कण सिद्धांतातून येणाऱ्या अभिव्यक्तीशी समीकरण करत आहोत म्हणजे प्रत्येक फोटॉन वाहून नेतो. एक ऊर्जा $h \nu$ आणि प्रति युनिट

व्हॉल्यूममध्ये n फोटॉन आहेत म्हणून एकूण उर्जेची घनता n मध्ये $h \nu$ आहे

त्यामुळे तार्किकदृष्ट्या बोलायचे तर हा एक विसंगत संबंध आहे म्हणून आपण काय करत आहोत आपण सफरचंद आणि संत्र्यांची तुलना करत आहोत डाव्या बाजूला सफरचंद आहे जे आहे तरंग समीकरणातून उजवीकडे येणारा संत्रा म्हणजे कण वर्णनातून येणारा नारिंगी म्हणजे कण आणि तरंग दोन्ही असू शकत नाही. एक कण किंवा लहर हे आपल्याला सामान्य ज्ञान सांगते परंतु तरीही ब्लॅक बॉडी रेडिएशन समजून घेण्यासाठी प्लॅंकेने हे केले आणि आइन्स्टाईनने हीच कल्पना उचलली आणि तो म्हणाला की फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव समजून घेण्यासाठी आपण ते वापरणार आहोत म्हणून कृपया समजून

घ्या की हे स्पष्टीकरण आपण सामान्यतः जे करतो त्याच्या विरुद्ध आहे त्यासाठी प्रचंड धैर्याची आवश्यकता आहे आणि अर्थातच नंतरच्या टप्प्यावर दोन्ही चित्रांचा ताळमेळ साधण्यासाठी खूप काम करावे लागेल परंतु आपल्याला या वस्तुस्थितीची जाणीव असणे आवश्यक आहे. आता माझ्या प्रयोगाच्या अतिरिक्त गोष्टी आहेत अतिरिक्त गुणधर्म आहेत मी फक्त फोटो उत्सर्जनासाठी आवश्यक असलेली किमान वारंवारता यावर चर्चा केली आहे पुढील निरीक्षण असे आहे की ते किमान वारंवारतेच्या पलीकडे तीव्रतेच्या प्रमाणात आहे आता मी हे शीट ठेवल्यास आश्चर्य नाही पुन्हा पेपर येथे किमान वारंवारता आहे जी कामाच्या संभाव्यतेमुळे आवश्यक आहे कारण आता तुम्ही कामाची क्षमता ओलांडल्यानंतर तुम्ही इंक चालू ठेवता तीव्रता वाढवून तुम्ही फोटॉनची संख्या वाढवत आहात म्हणून जर तुम्ही अशी कल्पना केली की फोटॉनच्या संख्येमुळे उत्सर्जन होत असेल तर अर्थातच तुमचा विद्युत् प्रवाह सतत वाढत जाणारा इलेक्ट्रॉन्सची संख्या सतत वाढत आहे,

त्यामुळे हे चित्र पुन्हा आईन्स्टाईनशी सुसंगत असेल. म्हटले की एक रेषीय संबंध आहे हे देखील आश्चर्यकारक नाही कारण येणाऱ्या किरणोत्सर्गाची उर्जा जास्त असते ती बाहेर पडणाऱ्या इलेक्ट्रॉनची उर्जा जास्त असते म्हणून एक रेषीय संबंध असतो म्हणून आम्ही गुणात्मकपणे प्रशंसा करू शकलो आहोत की जर आपण फोटॉन चित्र स्वीकारले तर आपण या सर्व प्रायोगिक निरीक्षणांचा लेखाजोखा मांडण्यास सक्षम असेल आणि आईन्स्टाईनने नेमके तेच केले म्हणून आईन्स्टाईन क्रांतीची पुनरावृत्ती करण्यासाठी खालील गोष्ट आहे विशिष्ट वारंवारता ν चे रेडिएशन क्रांटाच्या संग्रहासारखे आहे आता क्रांटा शब्दाचा अर्थ कण क्रांटा असा होत नाही. एक एकक म्हणजे काय आहे a what is quantum of such a such a thing it comes quantity या शब्दावरून ते ठीक आहे पण आपण कण हा शब्द वापरण्याचाही कल असतो कारण ते वेगळे युनिट्समध्ये येत आहे हे क्रांटा वेगळे युनिटमध्ये येत आहे म्हणून आपण म्हणत आहोत की फ्रिकेन्सी ν चे रेडिएशन क्रांटाच्या समतुल्य आहे ज्यापैकी प्रत्येक वाहक आहे. एक ऊर्जा $h \nu$ म्हणून ही आईन्स्टाईन क्रांती आहे जिथे त्याने फोटॉन संकल्पना खूप गांभीर्याने घेतली मी तिथे जे काही लिहिले आहे ते मी अधिक परिमाणात्मक पद्धतीने पुनरावृत्ती करणार आहे म्हणून जर तुम्ही स्क्रीनवर पाहिले तर तुम्हाला शास्त्रीय अभिव्यक्तीतून दोन अभिव्यक्ती सापडतील. शोधा की उर्जेची घनता ही एक्सिलॉन नॉट बाई 2 इ नॉट स्केअर आहे तर मी काय करत आहे मी लिहित आहे a is equal to e naught $\cos k$ डॉट r मायनस ओमेगा t my omega $2 \pi \nu$ माझी वारंवारता आहे ती म्हणजे काय मी लिहित आहे जर मी मॅक्सवेलच्या अभिव्यक्तीचा वापर केला तर संबंधित उर्जा दुसरे काहीही नसेल अर्थ एक्सिलॉन नॉट ई नॉट स्केअर येथे दोन लोकांना काहीतरी लक्षात ठेवावे लागेल. ही अभिव्यक्ती वापरून आम्ही कालांतराने सरासरी काढली आहे आणि ते न्याय्य आहे कारण दृश्यमान फ्रिकेन्सीमध्ये देखील दृश्यमान श्रेणीमध्ये 10 ते 14 हर्ट्झच्या पॉवरच्या ऑर्डरची वारंवारता प्रत्येक सेकंदाला माझी प्रकाश लहर 10 च्या पॉवरकडे वळते आहे. 14 वेळा आणि आमच्याकडे असे रिझोल्यूशन नाही जे आमच्याकडे आहे तर फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्ट हे गृहितक आहे की u_{pe} हे प्रति युनिट व्हॉल्यूम फोटॉन घनतेच्या बरोबरीचे आहे जे आम्ही $h \nu$ मध्ये लिहित आहोत. मी ते पुन्हा लिहित आहे जेणे करून तुमच्या मनात हे स्थिर होईल की आम्हाला काय करायचे आहे ते म्हणजे या दोन अभिव्यक्तींचे बरोबरी करणे हेच आम्हाला करायचे आहे म्हणून मी शास्त्रीय इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक सिद्धांतासाठी शास्त्रीय यांत्रिकी वापरतो जेणेकरून ऊर्जा घनता प्राप्त होईल. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह नंतर मी फोटॉन घनतेबद्दल माहिती मिळविण्यासाठी प्लॅक गृहीतकाचा वापर करतो आणि प्रति युनिट व्हॉल्यूममध्ये किती फोटॉन असतात आणि हे दोन विरोधाभासी दिसतात. y संकल्पना म्हणजे फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्ट समजावून घ्यायचा आहे, जे मी तुम्हाला शब्दांत स्पष्ट केले आहे, त्यामुळे आपल्याला फक्त थोडे अधिक काम करायचे आहे आणि नंतर ते एका परिमाणवाचक पायावर ठेवावे लागेल. आपण हे लक्षात ठेवले पाहिजे की प्लॅक गृहीतक हे एक अनिच्छेने स्पष्टीकरण होते जे मर्यादित वैधता मर्यादित लागूतेच्या फोटॉनच्या संकल्पनेवर विश्वास ठेवत नाही परंतु आईन्स्टाईनने जे केले ते गांभीर्याने घेतले होते म्हणून येथे एक महत्त्वाची संकल्पना आहे जी आपण लक्षात ठेवली पाहिजे म्हणजे काय आहे तात्विकदृष्ट्या आपण निसर्गाकडे ज्या दृष्टीकोनातून पाहतो त्या दृष्टीकोनातून मोठा फरक जेव्हा आपण म्हणतो की प्रकाशाकडे कणांचा संग्रह म्हणून पाहिले जाऊ शकते जेव्हा आपण लहरीबद्दल बोलतो तेव्हा आपण एका सतत कार्याचा विचार करतो एक लाट जिथे सतत बदलते आपले क्षेत्र सतत बदलते अंतराळात आणि वेळेत म्हणजे कोणत्याही वेळी उर्जा सतत सर्व जागेवर वितरीत केली जाते कोणताही प्रदेश कोणताही असो, उदाहरणार्थ आपण क्षेत्राचा विचार करूया पॉइंट पार्टिकलद्वारे उत्पादित आपण चरण-दर-चरण जाऊ या म्हणून फील्ड शास्त्रीय फील्ड्स आपण शास्त्रीय फॅड्स पाहू या मी बिंदू कणाने तयार केलेले क्षेत्र पाहू या मी म्हणू की याला चार्ज आहे q हे अंतरावर आहे r स्थिती वेक्टर काही समन्वय प्रणालीमध्ये r आहे मी म्हणतो की माझे विद्युत क्षेत्र फक्त q द्वारे r स्केअर r टोपीने दिलेले आहे जे मी लिहितो तेव्हा मी हे अभिव्यक्ती लिहितो तेव्हा हे समजले जाते की हा r कुठेही घेतला जाऊ शकतो. कोठेही घेतले म्हणजे मी चाचणी शुल्क घेऊ शकतो q ते इथे इथे तुम्हाला हवे तिथे कुठेही ठेवा, मला विद्युत क्षेत्राचा अनुभव येतो जो या सूत्राने दिलेला आहे म्हणून माझे फील्ड हे वेळेचे कार्य असल्यास स्थितीचे निरंतर कार्य आहे. हे देखील वेळेचे निरंतर कार्य आहे आणि त्यामुळे जेव्हा तुम्ही विद्युत क्षेत्राचे एकत्रीकरण वापरता किंवा जेव्हा तुम्ही उदाहरणासाठी संभाव्यता लिहिता तेव्हा तुम्ही गॉसचा नियम इत्यादी वापरण्यास सक्षम आहात. f इलेक्ट्रिक फील्ड जेव्हा आपल्याला संभाव्यतेच्या संदर्भात फील्ड मिळवायचे असेल तर आपण काय करतो आपण संभाव्यतेचा ग्रेडियंट घेतो आपण संभाव्यतेचे व्युत्पन्न घेतो

त्यामुळे संभाव्यता सतत असते माझे क्षेत्र हे सतत कार्य आहे मॅक्सवेलचा सिद्धांत काय आहे मला सांगायचे आहे की हे विद्युत क्षेत्र देखील ऊर्जा वाहून नेत आहे, तर दुसरे उदाहरण काय आहे ज्याचा मी विचार करू शकतो असे दुसरे उदाहरण जे मी विचार करू शकतो ते दोन कॅपेसिटर प्लेट्स आहेत म्हणून मी येथे चार्ज q ठेवतो मी येथे चार्ज वजा q ठेवतो तर चला मी एक कॅपेसिटर लिहितो मग दोन प्लेट्समध्ये स्थिर विद्युत क्षेत्र असते आणि आम्ही म्हणतो की हा कॅपेसिटर इतके विद्युत क्षेत्र साठवतो किंवा किती ऊर्जा कॅपेसिटर ही ऊर्जा विद्युत उर्जेची साठवण यंत्रणा आहे आणि जेव्हा आम्हाला पाहिजे तेव्हा आम्ही ते डिस्चार्ज करू आणि जेव्हा मी सर्किट पूर्ण करेन तेव्हा विद्युत प्रवाह सुरू होईल जे तुमची उदाहरणे आहेत rc सर्किट lc सर्किट lcr सर्किट आणि असेच आणि पुढे जे तुम्ही लोक तुमच्या नेटवर्क विश्लेषणामध्ये करू. r इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक सिद्धांत हे विद्युत क्षेत्र साठवते आणि पुन्हा या प्रकरणात विद्युत क्षेत्र एक्सिलॉनने दिलेले आहे नॉट बाय $2 e$ स्केअर जे तुम्हाला मिळणार आहे ते याच्या प्रमाणात आहे म्हणून माझे विद्युत क्षेत्र पुन्हा एक सतत कार्य आहे जे माझे आहे. उर्जा घनता हे देखील एक सतत कार्य आहे याचा अर्थ जेव्हा जेव्हा मी एखाद्या क्षेत्राचा विचार करतो तेव्हा मी एका सातत्याची कल्पना करत असतो जे मॅक्सवेलचे महान योगदान आहे हे त्याने सांगितले आहे परंतु जेव्हा मी प्रकाशाच्या कण स्वरूपाबद्दल बोलतो तेव्हा मी कणांच्या प्रवाहाची कल्पना करतो आणि कणाच्या अगदी कल्पनेचा अर्थ असा आहे की तेथे खंड आहे याचा अर्थ एक खंड आहे आणि दोन कणांमध्ये अपरिहार्यपणे अंतर असणे आवश्यक आहे जे आपण म्हणतो उदाहरणार्थ जेव्हा मी म्हणतो की माझे पाणी एका विशिष्ट घनतेवर आहे किंवा हे पेन एका विशिष्ट घनतेवर आहे. घनता मला माहित आहे की ते एक कच्चे अंदाजे आहे कारण मी सूक्ष्मदर्शकाचा वापर करून त्याच्या आत खोलवर पाहिले तर ते वेगळे आहे कारण वेगवेगळ्या अणूंमध्ये खूप जागा असते आमचा अर्थ असा आहे की जेव्हा मी कणांच्या स्वभावाविषयी बोलतो तेव्हा आपण काय म्हणतो आपण अवकाश आणि काळातील विघटनाबद्दल बोलत आहोत म्हणून जेव्हा मी म्हणतो की मी उर्जेचे निरंतर वर्णन किंवा विशिष्ट भौतिक घटनेद्वारे वाहून घेतलेल्या गतीचे स्वतंत्र वर्णन बदलणार आहे. त्याच उर्जेने किंवा गतीने आम्ही स्वतंत्र करण्यासाठी एक आमूलाग्र बदल सातत्य आणत आहोत आणि ही गोष्ट आईन्स्टाईनला खूप त्रास देत होती म्हणून माझ्या आधीच्या एका व्याख्यानात मी तुम्हा सर्वांना सल्ला दिला होता की जाऊन आईन्स्टाईनचा मूळ पेपर पहा, तो वाचनीय आहे. तुमच्या बारावी इयत्तेच्या पाठ्यपुस्तकाइतकेच ते वाचणे सोपे आहे ते खूप छान आहे खूप छान रिटर्न केलेले आईन्स्टाईन हा प्रश्न उपस्थित करतात की कोणीही सातत्य वर्णन एका स्वतंत्र वर्णनाने कसे बदलू शकतो आणि तो त्याच्या पेपरमधील दोन सोप्या शब्दांना न्याय देतो आणि ते तुम्ही तुमच्या स्क्रीनवर जे पाहता ते तो टेम्पोरल स्केल म्हणतो हा सर्वात महत्त्वाचा शब्द आहे तो टेम्पोरल स्किन हा शब्द वापरतो त्यामुळे आम्हाला समजले पाहिजे टेम्पोरल स्केल या शब्दाचा आपल्याला काय अर्थ आहे म्हणून मला त्यावर थोडा वेळ घालवू दे, त्यामुळे मोठ्या ऐहिक कौशल्यांवर तरंग निसर्ग दिसला हे आईन्स्टाईनचे मूलभूत निरीक्षण आहे म्हणून मी तुम्हाला सांगितले की माझी इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक

लहर येत आहे आणि त्याची वारंवारता 10 ते 10 आहे. 14 हर्ट्झची शक्ती माझ्याकडे आहे आणि जर मी एक दुहेरी स्लिट प्रयोग केला उदाहरणार्थ आणि जर मी डिटेक्टर लावले तर तुमचा डिटेक्टर काय आहे मानवी डोळा मी स्कॅन करत राहतो आणि मला मॅक्सिमा आणि मिनिमा दिसतो मला माहित आहे की माझा प्रकाश पडत नाही **respo** चा प्रतिसाद वेळ 10 ते 14 सेकंदाचा आहे माझ्याकडे ते नाही

त्यामुळे मी जे पाहतो ते खूप वेळ सरासरी असते

त्यामुळे तुम्ही कल्पना करू शकता उदाहरणार्थ कणांचा प्रवाह जो येत आहे आणि त्यांच्यातील बदल सांगूया पोजिशन्स 10 च्या ओव्हर ऑर्डर ते उणे 14 सेकंदांच्या पॉवर वर आणि खाली जातात किंवा काहीही असले तरी तुमच्या i किंवा तुमच्या डिटेक्टरचे रिझोल्यूशन मिलिसेकंद किंवा सेकंदाच्या अपूर्णाकाच्या क्रमाचे असते. a असा अंदाज आहे की तुम्ही असे करणार आहात की असे आहे की तुमच्याकडे पदार्थाचे निरंतर वितरण आहे जे आम्ही फक्त तात्पुरत्या चढउतारांमुळे सांगणार आहोत,

त्यामुळे जेव्हा आम्ही अशा वेळेच्या प्रमाणात सरासरी करणार आहोत. 10 च्या 8 च्या पॉवरच्या 10 च्या 10 च्या 10 च्या 10 च्या 10 च्या पॉवरच्या 10 च्या पॉवरच्या 12 च्या पॉवरच्या 10 च्या पॉवरचा क्रम अगदी वेगळा दिसतो ज्याप्रमाणे आपल्या सभोवतालच्या प्रत्येक गोष्टी सतत असल्यासारखे दिसतात जरी ते अगदी खोलवर रेणूंनी बनलेले असले तरीही आईनस्टाईन हे लिहिले आहे की त्याच्या ब्राउनियन मोशन पेपरमधून पदार्थाच्या रेणू किंवा स्वरूपाचा कोणताही थेट पुरावा नाही परंतु हे मूलभूत निरीक्षण आहे जे आइन्स्टाईनने केले होते ते म्हणाले की विवर्तन हस्तक्षेपासाठी तुमचा पुरावा सर्वकाही येतो कारण तुमची शक्ती 10 पेक्षा जास्त आहे. 14 दोलन किंवा 10 ते 12 दोलनांची शक्ती, तर इलेक्ट्रॉनचे उत्सर्जन खूपच कमी कालावधीत होत आहे, खरं तर मी तुम्हाला एक अंदाज लावला आणि मी तुम्हाला सांगितले की ते 10 ते उणे 9 सेकंदांच्या पॉवरचे आहे, जे मी तुम्हाला त्या स्केलवर सांगितले आहे कदाचित ते सातत्यपूर्ण वर्णन नाही कदाचित प्रकाशाचे विशिष्ट स्वरूप पाहिले जाऊ शकते आणि म्हणूनच आइन्स्टाईन पुढे गेला. असे सुचवा की आम्हाला दोन भिन्न घटनांची आवश्यकता आहे जी काही अगदी लहान अंतराने घेते त्यासाठी आपल्याला प्रकाशाच्या कणांच्या स्वरूपाची आवश्यकता असेल आणि जे काही मोठ्या वेळेच्या स्केलवर सरासरी असेल ते तुम्ही एका निरंतर स्वभावानुसार अंदाजे वेगळ्या स्वरूपाची क्रमवारी लावू शकता म्हणून आइन्स्टाईन म्हणतात की ते नाही प्रकाश मोठ्या संख्येने कणांचा बनलेला आहे असे मानणे आपल्यासाठी खूप अवास्तव आहे हे समर्थन आहे म्हणून मी तुम्हाला जे काही सांगितले ते मी पुन्हा सांगणार आहे जेणेकरून दोन लोक ते स्क्रीनवर वाचू शकतील जेणेकरून आइन्स्टाईनने मूलतः दोन सोपे केले. पण मूलगामी गृहीतके

त्यामुळे मला स्क्रीनवर जे काही आहे ते वाचू द्या फोटॉन वायूच्या प्रवाहाच्या रूपात प्रत्येक फोटॉनमध्ये उर्जा वाहून नेली जाते, मी हे स्पष्ट केले आहे की आता हे एक गुणात्मक गृहितक आहे परंतु मिलिकन प्रयोग अतिशय काळजीपूर्वक समजून घेण्यासाठी आपल्याला अधिक परिमाणात्मक गृहितकांची आवश्यकता आहे आणि प्रत्यक्षात मी त्या परिमाणवाचक गृहितकांवर चर्चा करण्यात बराच वेळ घालवणार आहे,

त्यामुळे मला स्वतंत्र फोटॉनमधून ऊर्जा हस्तांतरित करून धातूमधील गृहितक इलेक्ट्रॉन्स मोकळ्या जागेत सोडू द्या, म्हणून मी तुम्हाला ते समजावून सांगू, आम्ही काय म्हणत आहोत म्हणून तुमच्याकडे आहे येथे धातू आणि तुमच्याकडे एक फोटॉन प्रवाह आहे जो येथे येत आहे आणि इलेक्ट्रॉन बाहेर पडत आहेत म्हणून हा माझा प्रकाश आहे जसा आइन्स्टाईनने कल्पना केली होती आणि हे माझे इलेक्ट्रॉन आहेत जे आता येत आहेत जे घडत आहे ते प्रकाशातून उर्जेचे हस्तांतरण आहे. फोटॉनद्वारे इलेक्ट्रॉन्स आता आइन्स्टाईन स्वतःला विचारत आहेत की इलेक्ट्रॉन बाहेर काढण्यासाठी किती फोटॉन आवश्यक आहेत तुम्ही लोकांना समजत आहात की मी तेच सांगण्याचा प्रयत्न करत आहे तर आम्ही काय गृहीत धरत आहोत

त्यामुळे तुमच्याकडे एक कार्य फंक्शन आहे ϕ . यामध्ये ऊर्जेचे एकक आहे म्हणून आपण असे म्हणूया की ते 3 इलेक्ट्रॉन व्होल्ट आहे आता प्रयोग मला काय सांगत आहे? प्रयोग मला सांगत आहे की इलेक्ट्रॉन बाहेर काढण्यासाठी नवीन किमान आवश्यक असलेल्या ϕ द्वारे h द्वारे दिले जाते जे कण निसर्गाच्या दृष्टिकोनातून मला सांगत आहे की वारंवारतेचे दोन इलेक्ट्रॉन नवीन किमान दोन ते करू शकतात इलेक्ट्रॉनला आदळले आहे आणि इलेक्ट्रॉन बाहेर आला असेल म्हणून कल्पना करा की एक इलेक्ट्रॉन आहे पहिला फोटॉन जातो आणि त्याला मारतो तो त्याची उर्जा हस्तांतरित करतो दुसरा फोटॉन जातो आणि त्याला मारतो तो आणखी काही ऊर्जा हस्तांतरित करतो ते दोन्ही या कार्य कार्यात जोडतात ती ऊर्जा काहीही असो आणि ती बाहेर येते याचा अर्थ एकापेक्षा जास्त इलेक्ट्रॉन प्रत्यक्षात शोषले जाऊ शकतात असे एकापेक्षा जास्त फोटॉन प्रत्यक्षात इलेक्ट्रॉनद्वारे शोषले जाऊ शकतात. बाहेर येण्याचा क्रम आहे परंतु ते प्रायोगिक निकालाच्या विरुद्ध आहे त्या बाबतीत नवीन किमान नसता जरी वारंवारता एक तृतीयांश असती तरीही काही इलेक्ट्रॉन तीन फोटॉनच्या शोषणाने तयार केले गेले असते जर ते एक दशांश असेल तर काही इलेक्ट्रॉन झाले असते उह 10 इलेक्ट्रॉन्सच्या शोषणाने उत्पादित केले तर फोटॉनची घनता 10 ते 12 ची 10 ची शक्ती 13 10 ची 14 ची शक्ती असेल तर 10 पैकी 14 ची शक्ती असेल तर काही हजार किंवा दहा हजार किंवा दहा दशलक्ष देखील शोषले गेले तरी खरोखर काही फरक पडत नाही त्यापैकी एक दशांश तयार करण्यासाठी आपण इलेक्ट्रॉन पाहू शकला असता तर आइन्स्टाईन काय म्हणत आहेत की प्रत्येक इलेक्ट्रॉन जो धातूमधून बाहेर पडतो त्यामध्ये एकच असतो. या शोषण प्रक्रियेत अर्थातच शोषून घेतलेला फोटॉन आइन्स्टाईन एक काळाचा आदर करणारा कायदा आणत आहे ज्याचे निसर्गात कधीही उल्लंघन केले जाऊ शकत नाही आणि ते उर्जेचे संवर्धन आहे, म्हणून आपण आपल्या स्क्रीनवर परत जाऊ या. मी माझ्या संगणकावर काय टाईप केले आहे ते पाहू या फ्रिकेन्सी ν ची घटना रेडिएशन फोटॉन गॅस इलेक्ट्रॉनचा प्रवाह म्हणून एका फोटॉनच्या शोषणाने उत्सर्जित होते म्हणून पाहिले जाऊ शकते कारण प्रयोग मला तिसरा सांगत आहे. एक अतिशय महत्वाची उर्जा प्रक्रियेत काटेकोरपणे संरक्षित केली जाते जी आपल्यासाठी खूप महत्वाची आहे जास्तीत जास्त गतीज उर्जा फोटॉनच्या पूर्ण शोषणाशी संबंधित आहे हे आमच्यासाठी खूप महत्वाचे आहे म्हणून मी तुम्हाला ते समजावून सांगतो आणि ते पुन्हा महत्वाचे आहे माझ्याकडे एक धातू आहे आणि माझ्याकडे माझे रेडिएशन येत आहे आणि माझा इलेक्ट्रॉन येत आहे मी असा युक्तिवाद केला की येणाऱ्या प्रत्येक इलेक्ट्रॉनशी संबंधित मला एकच फोटॉन आवश्यक आहे जो एक प्रायोगिक परिणाम आहे परंतु आता एक संवाद आहे की माझ्या इलेक्ट्रॉनने सर्व ऊर्जा शोषून घेणे आवश्यक आहे का? फोटॉन हे शक्य नाही की माझा इलेक्ट्रॉन उर्जाचा फक्त एक भाग शोषून घेतो हे कसे आहे ते दोन कणांच्या संग्रहासारखे आहे म्हणून माझ्याकडे येथे एक कण आहे

त्यामुळे हा कण येतो तो आदळतो आणि निघून जातो

त्यामुळे अंतिम अवस्थेत दोघेही हालचाल करत असतात उर्जेचा काही भाग या कणाने घेतला आहे उर्जेचा भाग या कणाने घेतला आहे अशी गोष्ट शक्य आहे पण नंतर अवलंबून कणामध्ये किती ऊर्जा हस्तांतरित केली जाते यावर हे खालीलप्रमाणे कण ऊर्जा लहान आणि लहान होत जाते म्हणून माझ्याकडे अबब आहे कारण b ची ऊर्जा मोठी आणि मोठी होत जाते म्हणून a ची अंतिम ऊर्जा लहान आणि लहान होते म्हणून मी तुम्हाला सांगत आहे की b जेव्हा जास्तीत जास्त ऊर्जा घेते a ने तिची सर्व उर्जा गमावली आहे

त्यामुळे ते खूप महत्वाचे आहे अन्यथा तुम्हाला थांबण्याची क्षमता समजू शकत नाही म्हणून मिस्टर आइन्स्टाईन आम्हाला जास्तीत जास्त गतीज उर्जा सांगतात म्हणून मी तुमच्यासाठी ते पुन्हा काळजीपूर्वक वाचू द्या जे माझ्या संगणकावर लिहिलेले आहे जास्तीत जास्त गतीज ऊर्जा फोटॉनच्या पूर्ण शोषणाशी संबंधित आहे आता जर तुम्ही त्यांच्याकडे अतिशय काळजीपूर्वक पाहिले तर तुम्हाला दिसेल की प्लॅक आणि आइन्स्टाईन प्लॅक मॅड यांच्या दृष्टिकोनात मूलभूत फरक आहे. ई फोटॉनचे गृहितक त्याने ब्लॅक बॉडी रेडिएशनचे स्पष्टीकरण दिले तुम्ही त्याचे काय करता तुम्ही त्या फोटॉनचे काय करता पण इथे आइन्स्टाईन एक नवीन जग उघडत आहे तो म्हणत आहे की अरे काही फोटॉन त्यांची ऊर्जा पूर्णपणे देऊ शकत नाहीत याचा अर्थ मी सक्षम असणे आवश्यक आहे हे प्रायोगिकदृष्ट्या पाहणे म्हणजे ते पुढील प्रायोगिक पुराव्यांचे एक नवीन जग उघडत आहे की ठीक आहे खरं तर मी शेवटी तेच करणार आहे म्हणून हा एक चांगला दृष्टिकोन आहे आणि प्लॅक गृहीतकाचा अर्थ काय आहे यावरील सुधारणा आहे. नियोजन गृहीतकांना बदनाम करणे किंवा अनादर करणे हे कोणत्याही प्रकारे नाही परंतु या संदर्भात आपल्याला हे समजून घेणे आवश्यक आहे की यात खरोखरच खूप

अंतर्दृष्टी सामील होती म्हणून मी फक्त मुद्दे लिहून ठेवले कारण मला खात्री आहे की तुम्ही लोक शेकडो आणि शेकडो प्रश्न सोडवाल. प्रॉब्लेम परम्युटिंग स्टॉपिंग एनर्जी थांबत आहे संभाव्य जास्तीत जास्त एनर्जी इनकमिंग फ्रिक्वेन्सी संख्या इलेक्ट्रॉन बाहेर काढलेल्या फोटॉनची संख्या घनतेमध्ये आहे त्यामुळे मी त्यात प्रवेश करू नये मी ते वाचून दाखवतो समजा इलेक्ट्रॉनचे कार्य फंक्शन फि नॉट असेल तर फि नॉट ही इरॅडिएशन इलेक्ट्रॉनद्वारे अमाईन इलेक्ट्रॉनसाठी लागणारी किमान उर्जा आहे जे फोटॉन त्यांच्या उत्सर्जनासाठी पूर्णपणे शोषून घेतात जे जास्तीत जास्त ऊर्जा इलेक्ट्रॉन आहे आणि प्रत्येक फोटॉन ही ऊर्जा वाहून नेतो. प्लॅक असे म्हणत आहे की जर मी या सर्व गोष्टी एकत्र केल्या तर कमीत कमी उर्जा काहीही नाही पण h द्वारे ϕ नॉट आहे ही किमान वारंवारता आहे ई पेक्षा जास्त नाही वर्तमान तीव्रतेने वाढते मी तुम्हाला आधीच दाखवले आहे आणि प्रक्रियेत उर्जेचे काटेकोरपणे संरक्षण केले जाते म्हणून हे आहेत आम्ही जे मुद्दे बनवले आहेत आणि या समीकरणांमध्ये समाविष्ट असलेल्या सर्व गोष्टी तुम्ही जोडल्या तर आम्हाला काय मिळेल आणि मी ते तुमच्यासाठी पुन्हा लिहून ठेवणार आहे,

त्यामुळे येणारी उर्जा ही आहे मी उर्जेच्या संरक्षणाचा वापर करणार आहे. आउटगोइंग एनर्जी म्हणजे आउटगोइंग एनर्जी इलेक्ट्रॉनची आहे तर हा फोटॉन आहे हा इलेक्ट्रॉन आहे म्हणून मी लिहित आहे ef is equal to e electron मी काय लिहणार आहे ओह मला क्षमस्व आहे की मी जे काही लिहू नये ते मी लिहावे एकूण उर्जा माझ्या अंतिम अवस्थेतील एकूण उर्जा जास्तीत जास्त गतीज उर्जा अधिक फी शून्य आहे त्यामुळे मी येथे काय गृहीत धरत आहे ही घटना उर्जा संपूर्णपणे कारणीभूत आहे फोटॉन म्हणून मी लिहितो की इलेक्ट्रॉनची प्रारंभिक उर्जा शून्य आहे, म्हणून जेव्हा मी ती शून्य आहे असे लिहितो तेव्हा मला काय म्हणायचे आहे याचा अर्थ असा होतो की तिची ऊर्जा नगण्य आहे त्यामुळे तुम्ही लोक शोधू शकता की इलेक्ट्रॉनची ऊर्जा किती आहे? इलेक्ट्रॉन आहे म्हणून प्रारंभिक एकूण ऊर्जा $h \nu$ द्वारे दिली जाते अंतिम एकूण ऊर्जा ही इलेक्ट्रॉनची कमाल गतिज ऊर्जा आहे कारण त्याने फोटॉन पूर्णपणे शोषले आहे परंतु असे करताना काही ऊर्जा मुक्त करण्यासाठी काही कार्य करावे लागेल. दिलेली आहे आणि ती तुमची फी नॉट आहे आणि तेच आपण लिहित आहोत म्हणून आपल्याला ही दोन समीकरणे लिहायची आहेत आणि या फी नॉटला आपण $h \nu$ naught म्हणतो कारण ν naught ही किमान ऊर्जा आवश्यक आहे म्हणून wh आम्ही लिहितो तेव्हा आम्ही ही दोन समीकरणे एकत्र करतो आणि h मध्ये लिहू ν वजा न्यूटन ν nought is equal to e kinetic कमाल म्हणजे मी $h \nu$ मध्ये h मध्ये ν वजा μ nought is e max लिहितो कारण प्रारंभिक एकूण उर्जा हे शीर्षक एकूण आहे अंतिम ऊर्जा आणि हा चमत्काराचा परिणाम असल्याशिवाय दुसरे काहीही नव्हते कारण त्याने इलेक्ट्रॉनची ही थांबणारी शक्ती फोटॉनच्या जास्तीत जास्त उर्जेची सुसंगत असल्याचे पाहिले म्हणून आता तुम्हाला हे अगदी सोपे स्पष्टीकरण लेनार्डने केलेल्या सर्व प्रयोगांचे पूर्णपणे वर्णन करण्यास सक्षम असल्याचे दिसते. मिलिकन आणि अगोदर हॅलो वॉक आणि हर्ट्झद्वारे

त्यामुळे एका अर्थाने हे फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टचे वर्णन किंवा चर्चा पूर्ण करते परंतु इथेच संपत नाही आपल्याला आणखी काही गोष्टी कराव्या लागतील आणि आपण काय करायचे आहे ते पाहू या फोटॉन हा एक अतिशय महत्त्वाचा प्रश्न आहे जो आपल्याला विचारायचा आहे की फोटॉनची उर्जा कुठे आहे तर आपण काय विचारत आहोत की फोटॉन हा कण आहे तर त्याचे वस्तुमान किती आहे? एक अतिशय महत्त्वाचा प्रश्न ज्याचे आपल्याला उत्तर द्यायचे आहे म्हणून मला एक अतिशय भोळसट हिशोब करू दे जे पूर्णपणे चुकीचे आहे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशन c च्या गतीने फिरते तर माझे c काय आहे हे 3 ते 10 ते 8 मीटर प्रति सेकंद इतके असावे. माझ्याकडे माझ्या फोटॉनचे वस्तुमान m असल्यास न्यूटन आपल्याला काय सांगेल त्यामुळे न्यूटन आपल्याला सांगेल की माझी फोटॉनची उर्जा अर्ध्या mc वर्गाने दिली जावी म्हणजे न्यूटन आपल्याला देईल जेथे m फोटॉनचे वस्तुमान असेल तर न्यूटन आम्हाला सांगा फोटॉनचे वस्तुमान म्हणजे फोटॉनचा वेग निश्चित आहे

त्यामुळे सर्व फोटॉन सारख्याच उर्जेसह आले पाहिजेत परंतु प्लॅक आणि आइन्स्टाईन आम्हाला सांगत आहेत की फोटॉनची उर्जा त्यांच्या वारंवारतेनुसार बदलू शकते उर्जेसाठी न्यूटोनियन अभिव्यक्ती काय आहे आणि ऊर्जेसाठी प्लॅक आइन्स्टाईन अभिव्यक्ती काय आहे, होय जरी ते दोघेही समान कण वर्णन काय वापरत आहेत म्हणून जोपर्यंत आपण या प्रश्नाचे उत्तर देत नाही तोपर्यंत आपण एन. योग्य काम केल्याने कण हा शब्द निरर्थक गोष्ट असेल आणि याचे उत्तर काय आहे याचे उत्तर काय आहे याचे उत्तर सापेक्षतेत आहे म्हणून लक्षात ठेवा की मी तुम्हाला सांगितले होते की आइन्स्टाईनने 1905 मध्ये तीन महान पेपर लिहिले होते ते फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव होते. तपकिरी गती आणि ती सापेक्षता होती

त्यामुळे सापेक्षतेने आपल्याला या समस्येपासून वाचवले पाहिजे हे उल्लेखनीय आहे परंतु ते आपल्याला एका साध्या अभिव्यक्तीद्वारे वाचवणार नाही त्यासाठी एक अंतर्दृष्टी आवश्यक आहे त्यासाठी विशिष्ट प्रमाणात स्मार्टनेस आवश्यक आहे आणि ते काय आहे ते मी तुम्हाला सांगतो. तुम्ही सर्वांनी वस्तुमान ऊर्जेच्या समतुल्यतेबद्दल ऐकले असेल तर आइन्स्टाईन सापेक्षतेनुसार आम्हाला काय सांगतात, माझ्या कणाची एकूण ऊर्जा m शून्याने दिली आहे c च्या मुळावर 1 वजा v चा वर्ग c वर्गाने केला आहे आणि हा अर्धा m शून्याच्या बरोबरीचा नाही. v चौरस आपल्याला माहित आहे की हे अर्धा मीटर शून्य v स्केअरच्या बरोबरीचे नाही म्हणून ही माझी उर्जेची अभिव्यक्ती आहे परंतु तरीही ती मला मदत करत नाही कारण मी c च्या बरोबर v ठेवले तर याचे काय होईल जर मी v ला c चा भाजक 0 ठेवला तर हे मला सांगते की e is equal to infinity म्हणून कदाचित मी तुम्हाला सांगायला घाई करत होतो की आइन्स्टाईन किंवा सापेक्षता आपल्याला वाचवेल हे एक विरोधाभास आहे असे दिसते म्हणून आम्ही infatual आहोत न्यूटन आम्हाला सांगतो की सर्व फोटॉन्स पाहिजेत. त्याच उर्जेसह या आणि उर्जेची ही अभिव्यक्ती आपल्याला सांगते की सर्व फोटॉनमध्ये किती ऊर्जा असीम उर्जा असते आपण अडचणीत आहोत असे दिसते परंतु आपण अशा प्रकारे संपर्क साधू नये की आपण थोडे अधिक काळजीपूर्वक विश्लेषण केले पाहिजे म्हणून चला संपूर्ण मॅक्सवेलच्या समीकरणाकडे मागे वळून पाहण्यासाठी आपल्याला काय करावे लागेल ते पहा म्हणजे मॅक्सवेलच्या समीकरणानुसार माझी उर्जा घनता एम्प्लिफिकेशन नॉट 2 e स्केअरने दिली आहे आणि माझी संवेग घनता आहे,

त्यामुळे एका विमान लहरीची कल्पना करा जी येत आहे आणि मी विचारतो की प्रति युनिट व्हॉल्यूममध्ये किती संवेग आहे म्हणून मी ते π द्वारे दर्शवितो ही माझी संवेग घनता आहे जी u ने c ने दिली आहे हे मितियदृष्ट्या बरोबर आहे म्हणून हे दोन्ही समीकरण मॅक्सवेल वरून आले आहे म्हणून काय आइन्स्टाईन म्हणेल किंवा आम्ही हिंडसाइटसह काय म्हणू ते म्हणजे जर तुम्ही फोटॉनसाठी कणांचे वर्णन देणार असाल तर तुम्ही केवळ उर्जेच्या घनतेच्या वर्णनाशी सुसंगत नसावे, तुम्ही संवेग घनतेच्या वर्णनाशी सुसंगत असले पाहिजे ही माझी गती आहे. फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टमध्ये घनता केवळ इलेक्ट्रॉनने ऊर्जा शोषली नाही तर संवेग देखील शोषले आहे म्हणूनच ते एका विशिष्ट वेगात वेगवेगळ्या वेगात फिरत आहे आणि ते संवेग हस्तांतरण या पार्समुळेच आपण लिहू शकू की आता मी काय आहे? मी $h \nu$ मध्ये u संख्या घनतेच्या बरोबरीचे लिहीन आणि मी लिहीन π is equal to number density u sorry π is equal to u by c तर ते मला काय सांगेल हे मला सांगेल की प्रत्येक फोटॉनने वाहून घेतलेला संवेग म्हणून मी ते e gamma e gamma is $h \nu$ आणि p गॅमा संवेग प्रत्येक फोटॉनद्वारे वाहून नेले जाणारे $h \nu$ c द्वारे सूचित करीन हेच संबंध मला सांगतात म्हणून जेव्हा मी एक सुसंगतता प्रस्थापित करण्याचा प्रयत्न करतो तेव्हा हा फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्ट आहे जिथे संवेग आपल्यासाठी फारसा महत्त्वाचा नव्हता पण सातत्याची मागणी आहे की मी ऊर्जेची जोडले पाहिजे, मला उर्जेबद्दल क्षमस्व संवेगाबद्दल काळजी करावी लागेल आणि आपल्याला काय करायचे आहे हे जुळवून घेण्यासाठी मला आता p बद्दल चिंता करावी लागेल झू म्हणजे मागे जाणे आणि उर्जेच्या गती संबंधाना थोड्या वेगळ्या भाषेत पुन्हा लिहिणे ही एक उपलब्धी आहे, म्हणून मला ते तुमच्या पुढील स्लाइडमध्ये करू द्या, मग पुढील स्लाइड काय आहे मी ते दोन अभिव्यक्ती लिहिणार आहे , तुम्हा सर्वांना हे माहित आहे.

त्यामुळे माझी ऊर्जा घनता m naught द्वारे दिली जाते c वर्ग एक वजा v च्या मुळावर c वर्गावर वर्ग आणि संवेग ही संवेगासाठी सापेक्षतावादी अभिव्यक्ती आहे m naught v एक वजा v च्या मुळावर c वर्गाने वर्ग आहे म्हणून मला दोन करायचे आहेत या विशिष्ट बिंदूवर निरीक्षण जेव्हा मी v समान c बरोबर ठेवतो तेव्हा या अभिव्यक्ती निरर्थक असतात कारण मला उर्जा मिळेल आणि संवेग भिन्न असेल या अभिव्यक्ती क्षुल्लक आहेत जर मी m

शून्य समान t ठेवले तर $o \neq 0$ कारण शास्त्रीयदृष्ट्या कोणताही कण नसतो जर वस्तुमान नसेल तर तो अधिकार आहे म्हणून $m \neq 0$ equal to 0 सुचवा $e \neq 0$ equal to $p \neq 0$ equal to $v \neq 0$ equal to c चा अर्थ $e \neq 0$ equal to $p \neq 0$ equal to infinity हे दोन्ही अर्थहीन आहेत पण आता मी विचारू की मी m ला 0 वर गेलो नाही तर काय होईल आणि आपण c वर गेलो आता काय घडत आहे अंश 0 वर जात आहे भाजक 0 वर जात आहे म्हणून कदाचित हे समजून घेण्याचा एक सुसंगत मार्ग आहे जो आपल्याकडे आहे तसे पाहायचे तर दुसऱ्या शब्दांत आपण मर्यादितकडे पाहणार आहोत m शून्य c ला जाणे अनंताकडे जात आहे आम्ही विचारू की तेथे गैर-क्षुल्लक उपाय आहेत का ज्याप्रमाणे मॅक्सवेलने मुक्त जागेच्या समीकरणांमध्ये क्षुल्लक समाधाने मिळवली होती. प्रवाह आणि चार्ज घनता काय आहेत परंतु विद्युत प्रवाह आणि चार्ज घनता नसतानाही उपाय मिळू शकले, म्हणजे आपल्याला वेव्ह सोल्यूशन कसे मिळाले ते आपण पाहणार आहोत आणि युक्ती v काढून टाकण्याची आहे म्हणून आपण ते करू या म्हणून मी जात आहे t लिहिणे हॅट पुन्हा ई गामा हे एच नु बरोबर आणि पी गॅमा हे एच नु बरोबर आहे आणि हेच मॅक्सवेल प्लस ब्लॉक आइन्स्टाईन आपल्याला सांगत आहेत म्हणजे जर मला प्रकाशाच्या कणांच्या स्वरूपाचे सुसंगत वर्णन मिळवायचे असेल तर मी काळजी करू नये. ई गॅमा बरोबर $h \nu$ बदल आम्ही आधीच सामावून घेतले आहे की आम्ही ही अभिव्यक्ती कशी समाविष्ट करावी याबद्दल देखील चिंता करतो की प्रत्येक फोटॉनद्वारे वाहून जाणारा संवेग हा c द्वारे $h \nu$ असावा कारण आमच्याकडे दोन अभिव्यक्ती होती एक ऊर्जा घनतेसाठी दुसरी संवेग घनतेसाठी आणि त्यांच्यामध्ये एक नैसर्गिक संबंध होता ते नैसर्गिक संबंध काय होते जे आम्ही लिहिले होते u बरोबर πc ही माझी ऊर्जा घनता आहे ही एका रंगीत समतल लहरीसाठी माझी संवेग घनता आहे आम्हाला या दोन अभिव्यक्ती उर्जा आणि संवेग यांच्या अभिव्यक्तीसह सामंजस्याने जुळवाव्या लागतील. एका कणासाठी ते करण्यासाठी आपल्याला असे करावे लागेल ते करण्यासाठी मी एक मूलभूत निरीक्षण करेन म्हणून आपण आता कण सापेक्षतेकडे पाहत आहोत मला दोन अभिव्यक्ती आवश्यक आहेत पहिली अभिव्यक्ती उर्जेसाठी आहे जी मी एक वजा v च्या मुळावर c वर्गाने $m \neq 0$ equal to c वर्ग लिहीन आणि पुढील अभिव्यक्ती संवेगासाठी आहे जेव्हा मी एक वजा v च्या मुळावर $m \neq 0$ equal to v लिहीन c वर्ग संवेग एक वेक्टर अर्थातच आहे परंतु कल्पना करा की तो फक्त एकाच दिशेने फिरत आहे म्हणून मी वेक्टर चिन्ह काढले नाही अन्यथा तुम्हाला हवे असल्यास मी त्यावर वेक्टर चिन्ह ठेवू शकतो की आता काही महत्त्वाचे नाही दोन महत्त्वाची वैशिष्ट्ये आहेत जी आमच्या लक्षात आली आहेत समस्याप्रधान आहेत परंतु जर आपण दोन्ही एकत्र केले तर कदाचित आपण या परिस्थितीतून सुटका मिळवू शकू की आपण कशात आहोत ही गोष्ट अशी आहे की जर m नॉट समान 0 e समान p बरोबर 0 असेल तर याचा अर्थ असा की काहीही नाही. दुसरीकडे कोणतीही भौतिक व्यवस्था नाही जर v समान c च्या समान असेल तर आपल्याला k समान p बरोबर अनंतता मिळते ज्याचे निरीक्षण केले जाते कारण आपल्याला अनंत उर्जा असलेला कोणताही कण दिसत नाही म्हणून आपण काय म्हणत आहोत आपण a पाहू शकत नाही शून्य उर्जेसह कण अजिबात अस्तित्वात नाही उर्जा नाही उर्जेने गती नाही म्हणजे प्रत्यक्षात उर्वरित उर्जेचा समावेश आहे लक्षात ठेवा m शून्य c वर्ग आहे तेथे फक्त गतिज ऊर्जा नाही म्हणून m समान शून्य आणि v समान c या दोन टोकाच्या मर्यादा आहेत ज्या आता निरर्थक आहेत आपल्याला काय करायचे आहे ते म्हणजे दोघांना एकत्र घेऊन दोघांमध्ये समेट करणे आणि एक सुसंगत संबंध मिळविण्याचा प्रयत्न करणे आणि आपण ते करण्याचा मार्ग म्हणजे e आणि p मधील m शून्य दूर करणे आणि विचारू की काही क्षुल्लक उपाय आहेत का, म्हणून मी पुन्हा करूया म्हणजे a समान m नॉट c चा वर्ग 1 वजा v c वर्गाने c वर्गावर तुम्ही त्याचा वापर तुमच्या वस्तुमान दोष सूत्रात कराल $m \neq 0$ equal to v आहे $m \neq 0$ equal to v over root one minus v c चा वर्ग c वर्गाने तर मी काय करू? e i चा वर्ग π चा वर्ग घेईल e चा वर्ग मिळेल m नॉट स्केअर c ला 4 च्या घात 1 वजा v स्केअर बाय c स्केअर $m \neq 0$ equal to v स्केअर m नॉट स्केअर v स्केअर एक वजा v स्केअर बाय c स्केअर असेल एक साथी गणना तुम्हाला सांगेल की मी नाही वर्क आउट करणार आहे आणि ते म्हणजे तुम्ही e स्केअर इकल टू m नॉट स्केअर c स्केअर c ला 4 अधिक p नॉट स्केअर c स्केअर ही अगदी सोपी एक्सप्रेशन आहे

त्यामुळे तुम्ही तपासू शकता की e स्केअर p स्केअर c शिवाय दुसरे काहीही नाही. चौरस अधिक m शून्य चौरस c ते 4 च्या बळावर त्यामुळे येथे काय घडत आहे e आणि p दोन्ही m च्या प्रमाणात होते आता e आणि π मधील संबंध p नॉट लिहू नयेत त्याबद्दल मला खूप खेद वाटतो की मला अभिव्यक्ती पुन्हा लिहू द्या माझ्या e वर्ग हा p वर्ग c वर्गाच्या बरोबर आहे अधिक m शून्य वर्ग c ते 4 च्या घात म्हणून येथे जर तुम्ही ऊर्जा आणि p यांच्यातील संबंध पाहिल्यास ते एकसंध संबंध नाही e प्रमाण आहे e वर्ग p वर्गाच्या प्रमाणात आहे आणि हा एक आहे inhomogeneous term in homogeneous term आणि याचा अर्थ जर मी m नॉट इकल 0 बरोबर ठेवले तर अजून क्षुल्लक उपाय आहेत त्यामुळे मी m नॉट इकल 0 बरोबर ठेवले तर मला e इकल टू pc मिळेल जे मॅक्सवेल यांच्यातील संबंधावरून नेमके काय म्हणत आहे. en उर्जा घनता आणि संवेग घनता म्हणून आम्ही काय म्हणत आहोत आम्ही म्हणत आहोत की दोन प्रकारचे कण आहेत बाकी वस्तुमान असलेले कण आहेत जे 0 च्या बरोबरीचे नाहीत हे कण प्रकाशाच्या गतीने कधीही हलू शकत नाहीत जर तुम्ही बनवण्याचा प्रयत्न केला तर ते प्रकाशाच्या गतीने हालचाल करतात त्यांची उर्जा अनंतापर्यंत जाते

त्यामुळे ते कधीही हलू शकत नाहीत पण दुसरीकडे असे कण आहेत जे सतत प्रकाशाच्या गतीने फिरत असतात परंतु त्यांचे उर्वरित वस्तुमान किती असते त्यांचे उर्वरित वस्तुमान 0 इतके असते. प्रतिसाद 0 च्या बरोबरीचा आहे म्हणून कोणताही विरोधाभास नाही आपण m नॉट बरोबर 0 आणि v समान c हे समीकरण ठेवले आहे तथापि ऊर्जा कशी बदलते आणि गती कशी बदलते हे भौतिक प्रणालीवर अवलंबून असते आणि मॅक्सवेल हे आपल्याला सांगत नाही. मॅक्सवेल समीकरणातून येणाऱ्या इनपुटच्या वारंवारतेमुळे ते बदलते हे सांगताना आपण पाहतो की प्रकाशाच्या कणांच्या स्वरूपाविषयी बोलणे योग्य आहे. हे सापेक्षतेच्या संकल्पनेसह एकत्र करा आणि आपल्या सर्वांना माहित आहे की जेव्हा आपण उच्च गतीकडे पाहत असताना कणाचा वेग मोठा आणि मोठा होतो तेव्हा आपण न्यूटोनियन यांत्रिकी वापरू शकत नाही परंतु आपल्याला आइन्स्टाईन यांत्रिकी वापरावी लागेल आणि हेच आपल्याजवळ आहे. आता आमच्यासाठी एक अतिशय महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे मी अतिरिक्त प्रायोगिक पुरावे पुरावे देणार आहे, मी त्यावर फार तपशीलवार चर्चा करू शकत नाही, परंतु

त्यामुळे फोटॉनच्या संकल्पनेवर तुमचा विश्वास पुनर्संचयित झाला पाहिजे आणि आइन्स्टाईन असल्यास ते काय आहे ते पाहू या. बरोबर हे सर्व वैध असले पाहिजेत म्हणून प्रथम आपण प्रकाशाच्या प्रकाशाचे विखुरणे हे पाहूया म्हणजे सूर्याचा प्रकाश आपल्यापर्यंत पोहोचल्यावर तो विखुरला जातो तो वातावरणामुळे विखुरतो किंबहुना त्याचा बराचसा भाग आयनोस्फियरमधून परावर्तित होतो कारण अतिनील तेथे प्रकाशाच्या विखुरण्याला रेले स्कॅटरिंग असे म्हणतात जेथे प्रारंभिक वारंवारता अंतिम वारंवारतेच्या समान असते आणि येणारी वारंवारता f सारखी असते इनल फ्रिक्क्वेंसी काहीही होणार नाही फक्त प्रसाराची दिशा बदलते परंतु ऊर्जा बदलत नाही किंवा वारंवारता बदलत नाही परंतु जर तुम्ही आइन्स्टाईनच्या गृहीतकावर विश्वास ठेवत असाल तर आणखी एक शक्यता आहे की तुमची किरणोत्सर्ग या भागाच्या आत येण्याची शक्यता काय आहे. ऊर्जा इलेक्ट्रॉनकडे जाऊ शकते परंतु इलेक्ट्रॉनचा काही भाग फोटॉन विखुरला जाऊ शकतो याचा अर्थ जर मी विखुरलेल्या फोटॉनकडे किंवा विखुरलेल्या प्रकाशाकडे पाहिले तर मी फक्त इलेक्ट्रॉनकडे पाहत नाही काही विखुरलेल्या प्रकाशाची वारंवारता येणाऱ्या प्रकाशापेक्षा कमी असणे आवश्यक आहे हेच आइन्स्टाईन म्हणत आहेत अशा प्रकारची घटना अस्तित्वात आहे ही एक मनोरंजक गोष्ट आहे जी आइन्स्टाईनच्या काळातही अस्तित्वात होती आणि त्याला स्टोक्स कायदा म्हणतात ज्याला स्टोक्स कायदा म्हणतात काय स्टोक्स कायदा तुम्हाला सांगतो ते तुम्हाला सांगतात की येथे एक नवीन आहे एक इलेक्ट्रॉन आहे जो येत आहे आणि हे नवीन अंशतः शोषले गेले आहे मी ते योजनाबद्धपणे दर्शवित आहे म्हणून ही माझी प्रारंभिक ऊर्जा आहे ही माझी अंतिम वारंवारता आहे νf νi पेक्षा कमी आहे कारण उर्जेचा फक्त एक भाग इलेक्ट्रॉनमध्ये हस्तांतरित केला गेला आहे म्हणून λf पेक्षा मोठा λi स्टॉकने हा संबंध पाहिला होता जो प्रकाशाच्या लहरी दृष्टिकोनातून समजणे सोपे नाही परंतु येथे ते खूप आहे नैसर्गिक गोष्ट आणि आइन्स्टाईन म्हणाले की प्रकाशाच्या कणांच्या स्वरूपासाठी आणखी एक प्रायोगिक पुरावा आहे, तो म्हणजे हा स्टोक्स कायदा आहे यालाच स्टोक्स कायदा म्हणतात म्हणून आम्ही एका अतिरिक्त प्रायोगिक पुरावाची

चर्चा केली आहे ज्याचा आम्ही आधी विचार केला नव्हता. फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टचे आइन्स्टाईनचे स्पष्टीकरण प्लँकच्या गृहीतकापेक्षा अधिक मजबूत आहे असे मी का म्हटले आहे, जर ते खरे असेल तर मला एक प्रयोग करता आला पाहिजे जिथे गती आणि ऊर्जा या दोन्हीचे परीक्षण केले जाऊ शकते आणि त्याला कॉम्पटन स्कॅटरिंग म्हणतात, म्हणून कल्पना करा येथे एक फोटॉन येत आहे येथे एक इलेक्ट्रॉन येत आहे आणि एक फोटॉन बाहेर जातो आणि एक इलेक्ट्रॉन बाहेर जातो गॅमा गॅमा इलेक्ट्रॉन इलेक्ट्रॉन आपण पाहू शकता k यावर दोन कणांमधील एक पूर्णपणे लवचिक टक्कर आहे जिथे एकूण ऊर्जा आणि एकूण संवेग संरक्षित केला जातो ज्याला कॉम्पटन स्कॅटरिंग म्हणतात आणि मला विश्वास आहे की क्राॅटम स्कॅटरिंग पहिल्यांदा 1911 किंवा 1912 च्या आसपास कधीतरी दिसले आणि जर तुम्ही पूर्ण संबंध वापरला तर $h \nu p$ च्या बरोबर $h \nu c$ च्या बरोबरीने c ला तुम्हाला शेवटची गोष्ट समजली पाहिजे ज्याला रमन स्कॅटरिंग म्हणतात आणि या आइन्स्टाईनने फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टमध्ये फक्त एक फोटॉन आहे असे गृहीत धरल्यानंतर मी तुम्हाला सोडतो. फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टमध्ये शोषले जाते परंतु असे कोणतेही भौतिक तत्त्व नाही जे आपल्याला सांगते की फक्त एक फोटॉन शोषून घ्यावा, मला कोणीही सांगितले नाही की इलेक्ट्रॉनने एका वेळी फक्त एकाच फोटॉनशी संवाद साधला पाहिजे म्हणून मी हे तत्त्व तयार करण्याचा योग्य मार्ग काय म्हणू शकतो? एक फोटॉन आणि एक इलेक्ट्रॉन यांच्यातील परस्परसंवादाची संभाव्यता एका इलेक्ट्रॉनच्या दोनशी संवाद साधण्याच्या संभाव्यतेच्या तुलनेत खूप मोठी आहे फोटॉन किंवा अशीही दुसरी शक्यता आहे की इलेक्ट्रॉन स्वतःच एका विशिष्ट परिस्थितीत फोटॉनला ऊर्जा देतो म्हणून रमन प्रभावाच्या बाबतीत जे घडते ते म्हणजे इलेक्ट्रॉन विखुरला जातो आणि प्रत्यक्षात तो या सर्व वेळेस जास्त ऊर्जा मिळवू शकतो. असे गृहीत धरले की माझा फोटॉन सर्व वेळ इलेक्ट्रॉनमध्ये ऊर्जा हस्तांतरित करत आहे परंतु इलेक्ट्रॉन देखील सर्वांकडे हस्तांतरित करू शकतो तसेच फोटॉनमध्ये ऊर्जा देखील हस्तांतरित करू शकतो अशा परिस्थितीत विखुरलेल्या इलेक्ट्रॉनची वारंवारता जास्त असली पाहिजे याला अँटी-स्टॉक लाइन म्हणतात याला म्हणतात अँटी-स्टोक्स लाइन्स आणि हा प्रसिद्ध रामन प्रभाव आहे जो पुन्हा फोटॉन गृहीतकाचा परिणाम म्हणून समजला जाऊ शकतो, म्हणून आपण जे केले आहे ते निष्कर्ष काढण्यासाठी प्रायोगिक तथ्यांकडे काळजीपूर्वक लक्ष देणे आणि ते समजू शकत नाही हे लक्षात घेणे होय. तरंग वर्णन परंतु आम्ही असेही म्हटले की हस्तक्षेपाच्या बाबतीत तरंग वर्णनाचा एक अतिशय मजबूत प्रायोगिक पाया आहे आणि विवर्तन मग आम्ही म्हटले की आम्ही पाहतो की हस्तक्षेप आणि विवर्तन घटनांमध्ये दोलनाच्या मूलभूत टाइम स्केलच्या तुलनेत खूप मोठे वेळ स्केल समाविष्ट आहेत तर फोटोइलेक्ट्रिक उत्सर्जनात खूप वरच्या लहान टाइम स्केलला परवानगी आहे आणि आम्ही म्हटले की कणांचे स्वरूप ही फारशी अवास्तव गोष्ट नाही आइन्स्टाईनने हेच सांगितले आणि आम्ही फोटोइलेक्ट्रिक प्रभावाचे स्पष्टीकरण देऊ शकलो आणि कोणत्याही चांगल्या मॉडेलप्रमाणे हे मॉडेल स्वतःला उघड करते ते गृहितके सत्यापित करण्यासाठी अतिरिक्त मार्ग उघडते आणि आम्ही तीन विशिष्ट घटना दर्शवल्या एक म्हणजे स्टोक्स कायदा जिथे विखुरलेले रेडिएशन येऊ शकते. उच्च तरंगलांबी किंवा कमी वारंवारता ते उर्जेचा एक भाग आणि मोमेंटमचा एक भाग किंवा मुक्त इलेक्ट्रॉन आणि एक मुक्त फोटॉन यांच्यामध्ये होणारे कॉम्पटन स्कॅटरिंगचे हस्तांतरण करते, तर येथे इलेक्ट्रॉन सर्व बद्ध आहेत तेथे तुम्हाला त्याच्या गतीबद्दल काळजी करावी लागेल. इलेक्ट्रॉन आणि फोटॉनचा संवेग जो पूर्णपणे सुसंगत आहे कण वर्णन आणि शेवटी मी उत्तीर्ण रमन इफेक्टमध्ये देखील नमूद केले आहे जिथे प्रत्यक्षात येणाऱ्या किरणोत्सर्गाची उच्च वारंवारता असू शकते जिथे फोटॉन खरं तर ऊर्जा मिळवत आहे मी शेवटच्या भागाला पूर्ण न्याय दिला नाही, त्यामुळे याबद्दल जास्त काळजी करू नका तुम्ही अनुसरण करत नाही पण वस्तुस्थिती अशी आहे की आइन्स्टाईनने जे केले ते केवळ कल्पनेचे चित्र किंवा हाताचा एक प्रकार नसून त्यात बरेच विचार आले आहेत, जर हे खरे असेल तर शास्त्रीयदृष्ट्या काय आहे. लाट घटनेसारखी लहर दाखवू शकते असा एक नैसर्गिक प्रश्न उद्भवू शकतो कदाचित शास्त्रीयदृष्ट्या काय आहे एक कण देखील इंड्रियगोचर सारख्या लाटेचे प्रदर्शन करू शकतो आणि ही प्रिन्स लुई डी ब्रॉलीची महान अंतर्ज्ञान होती आणि ती आता आपण पुढच्या वर्गातून घेणार आहोत. आम्हाला थांबवू द्या तुमचा चांगला वेळ