

आम्ही प्रकाश म्हणजे काय यावर आमची चर्चा चालू

ठेवू या आधीच्या व्याख्यानात आम्ही प्रकाशाच्या कॉर्पस्कुलर मॉडेलच्या उत्क्रांतीबद्दल आणि प्रकाशाच्या लहरी सिद्धांतावर चर्चा केली होती जी ख्रिश्चन ह्युजेन्सने मांडली होती आज आम्ही आमच्या चर्चा सुरू करू.

प्रकाश लहरींच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्वरूपासह ज्याला मॅक्सवेलने पुढे आणले होते आणि 1905 मध्ये आइन्स्टाईनने सादर केलेले प्रकाश क्वांटम,

त्यामुळे डावीकडील हा आकृती एका विद्युत चुंबकीय लहरी दर्शवते ज्याच्याशी संबंधित एक दोलन विद्युत क्षेत्र आहे आणि एक दोलन चुंबकीय क्षेत्र देखील आहे .

उजवीकडे एका तरुण मुलीचा फोटोनच्या विविध संख्येतील फोटो आहे

त्यामुळे छायाचित्रावरील प्रत्येक बिंदू

फोटॉनचे प्रतिनिधित्व करतो जे मूलतः एकोणीस किंवा पाच मध्ये आइन्स्टाईनने सादर केलेल्या प्रकाशाचे प्रमाण आहे जसे आपण मागील व्याख्यानात चर्चा केली होती.

हस्तक्षेप प्रयोग जेथे आपण स्थापित करू शकतो की प्रकाश खरोखर एक लहरी घटना आहे म्हणून तरंग एन 19व्या शतकाच्या सुरुवातीस प्रकाशाचे स्वरूप स्थापित केले गेले होते परंतु मुख्य प्रश्न हा होता की तो व्हॅक्यूमद्वारे कसा प्रसारित होऊ शकतो त्याच वेळी वीज आणि चुंबकत्वाचे नियम विकसित होत होते, आमच्याकडे फॅराडेस नियम होता ज्यानुसार बदलणारे चुंबकीय क्षेत्र तयार होते.

दोलन चुंबकाने विद्युत चुंबकीय शक्ती निर्माण करू शकते आणि परिणामी विद्युत् प्रवाह निर्माण होतो

त्यामुळे भौतिकदृष्ट्या बदलणारे चुंबकीय क्षेत्र बदलते विद्युत क्षेत्र निर्माण करते हा फॅराडेचा नियम होता आणि जो मॅक्सवेलने समीकरणांच्या रूपात मांडला होता त्यानंतर हा ऑपिअर नियम होता ज्यानुसार जर माझ्याकडे विद्युत प्रवाह वाहून नेणारा कंडक्टर असेल तर त्याच्या सभोवताल एक चुंबकीय क्षेत्र आहे जे तयार केले जाते म्हणून आपल्याकडे एक कंडक्टर आहे जो विद्युत प्रवाह वाहून नेतो आणि जो एक चुंबकीय क्षेत्र तयार करतो जे आधी ऑयस्टरने पाहिले आणि नंतर ते एका स्वरूपात ठेवले.

मॅक्सवेल मॅक्सवेलने गणिती स्वरूपात मांडलेला ऑपिअरचा कायदा, असेही म्हटले आहे की केवळ वर्तमान पी. आर.

चुंबकीय क्षेत्र तयार करते परंतु कंडेन्सरच्या प्लेट्समध्ये बदलणारे इलेक्ट्रिक फील्ड देखील एक चुंबकीय क्षेत्र तयार करते जेव्हा कॅपेसिटर चार्ज होतो तेव्हा कंडेन्सरच्या प्लेट्समध्ये बदलणारे इलेक्ट्रिक फील्ड असते

तिथे व्हॅक्यूम आहे समजू या की व्हॅक्यूम आहे कंडेन्सरच्या दोन प्लेट्समध्ये कोणताही सामान्य विद्युत प्रवाह असू शकत नाही म्हणून एक बदलणारे विद्युत क्षेत्र आहे जे चुंबकीय क्षेत्र तयार करते म्हणून या बदलत्या विद्युत क्षेत्राला विस्थापन प्रवाह असे नाव देण्यात आले ज्यामुळे चुंबकीय क्षेत्राची निर्मिती होते

वीज आणि चुंबकत्वाच्या नियमांमध्ये एक सममिती होती जसे मॅक्सवेलने पुढे मांडले होते की बदलत्या चुंबकीय क्षेत्रामुळे केवळ बदलणारे विद्युत क्षेत्रच निर्माण होत नाही तर बदलत्या विद्युत क्षेत्रामुळे

बदलणारे चुंबकीय क्षेत्र देखील निर्माण होते म्हणून मॅक्सवेलने सर्व नियम लिहून ठेवले.

वीज आणि चुंबकत्व चार समीकरणांच्या स्वरूपात ते किंचित क्लिष्ट आहेत आणि  $\mathbf{i} \mathbf{a}$  मी ती सर्व समीकरणे लिहिणार नाही पण मी फक्त एवढेच सांगणार आहे की वीज आणि चुंबकत्वाच्या नियमांचे वर्णन करणारी समीकरणे मॅक्सवेलने १८६४ च्या आसपास मांडली होती आणि मॅक्सवेलची समीकरणे म्हणून ओळखली जातात ही समीकरणे प्रायोगिक नियमांवर आधारित आहेत आणि म्हणूनच मॅक्सवेलची समीकरणे व्युत्पन्न केले जाऊ शकत नाही आणि मी नमूद केल्याप्रमाणे हे 1865 च्या सुमारास मॅक्सवेलने पुढे मांडले होते

भौतिकशास्त्रातील एका क्लासिक पुस्तकात वीज आणि चुंबकत्वावरील वृक्ष संबंध आता या समीकरणांमध्ये जर आपण दिलेल्या प्रमाणे विद्युत क्षेत्रासाठी अभिव्यक्ती बदलली तर वरील समीकरणानुसार असे म्हटले आहे की विद्युत क्षेत्र  $\mathbf{x}$  दिशेतील  $\mathbf{x}$  कॅंपमधील विद्युत क्षेत्र हे  $\mathbf{x}$  दिशेतील एकक सदिश दर्शवते  $\mathbf{e}$  शून्य हे विद्युत क्षेत्राचे परिमाण मोठेपणा आहे आणि हे  $kz$  वजा ओमेगा  $t$  चा साइन आहे म्हणून त्याचे  $\mathbf{a}$  वेळ सारखे सोल्युशन जसे की आपण आपल्या शेवटच्या व्याख्यानात चर्चा केली होती की  $kz$  वजा ओमेगा  $t$  चे साइन किंवा कोसाइन तरंगचे प्रतिनिधित्व करते म्हणून जर आपण समीकरण बदलले तर या प्रकारात मॅक्सवेलच्या समीकरणांमध्ये आपल्याला असे समजेल की चुंबकीय क्षेत्र  $\mathbf{y}$  दिशेने असेल आणि त्याचे विद्युत क्षेत्रासारखे  $\mathbf{z}$  आणि वेळ अवलंबन असेल जेथे चुंबकीय क्षेत्राचे मोठेपणा शून्य असते ते  $k$  ने भागले जाते ओमेगा म्यू शून्य हे आपण मागील व्याख्यानात चर्चा केल्याप्रमाणे  $k$  हे दोन  $\pi$  बाय लॅम्बडा बरोबर आहे आणि ओमेगा म्हणजे दोन  $\pi$   $\nu$  लॅम्बडा ही तरंगलांबी आहे आणि  $\nu$  ही वारंवारता आहे आणि  $\mu$   $\nu$   $\text{naught}$  मोकळ्या जागेची चुंबकीय पारगम्यता दर्शविते त्याचप्रमाणे आपण बदलल्यास मॅक्सवेलच्या समीकरणांमधील चुंबकीय क्षेत्रासाठी ही अभिव्यक्ती आपल्याला मॅक्सवेलच्या समीकरणांमध्ये

बदलून प्राप्त केल्याप्रमाणे संबंधित विद्युत क्षेत्र मिळेल,

त्यामुळे बदलणारे चुंबकीय क्षेत्र बदलते विद्युत क्षेत्र तयार करते आणि जसे आपण मागील स्लाइडमध्ये दाखवले होते की इलेक्ट्रिक फील्ड बदलल्याने एक बदलणारे चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होते दोन्हीही तुमच्याकडे ऑसीला तयार केल्याशिवाय दोलन विद्युत क्षेत्र असू शकत नाही चुंबकीय क्षेत्र आणि त्याउलट जर आपण ही अभिव्यक्ती मॅक्सवेलच्या समीकरणांमध्ये बदलली जी वीज आणि चुंबकत्वाच्या नियमांचे वर्णन करते आणि जर मी गृहित धरले की  $\mathbf{h}$  वेक्टर  $\mathbf{y}$  दिशेने  $\mathbf{y}$  कॅंप हा  $\mathbf{y}$  दिशेने एकक वेक्टर असेल तर संबंधित याद्वारे विद्युत क्षेत्र दिले जाईल म्हणून दोलन चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम दोलन विद्युत क्षेत्रामध्ये होईल जिथे मोठेपणा  $\mathbf{e}$  शून्य खालील समीकरणाद्वारे  $\mathbf{h}$  शून्याशी संबंधित आहे

त्यामुळे आपल्याला  $\mathbf{h}$  शून्य समीकरणांचे दोन संच मिळतील आणि  $\mathbf{e}$  याद्वारे शून्य दिले जाते म्हणून मी या दोन समीकरणाचा गुणाकार केला तर मला  $k$  वर्ग मिळेल ओमेगा स्केअर एप्सिलॉन  $\mu$  शून्य एक समान होईल आणि म्हणून ओमेगा स्केअर बाय  $k$  स्केअर मी

ओमेगा स्केअर या बाजूला आणि  $k$  स्केअर या बाजूला घेतो.

ओमेगा स्केअर बाय  $k$  स्केअर एक ओव्हर एप्सिलॉन म्यू नॉट होतो आणि म्हणून ओमेगा बाय  $k$  ने दिलेल्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेवचा वेग एप्सिलॉन एमएच्या मुळाखाली 1 ओव्हर इतका असतो.

असे नाही तर मॅक्सवेलचे हे एक उल्लेखनीय योगदान आहे, त्याने सांगितले की त्याने वीज आणि चुंबकत्वाचे नियम चार समीकरणांच्या रूपात लिहून ठेवले आहेत आणि त्याने दाखवले आहे की विद्युत आणि चुंबकीय क्षेत्राच्या समीकरणे सारख्या अभिव्यक्ती समीकरणे ही समीकरणे पूर्ण करतात आणि म्हणूनच त्याने भविष्य वर्तवले.

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींचे अस्तित्व जे मॅक्सवेलच्या समीकरणांच्या सोल्युशनमुळे लहरी निर्माण होतात आणि म्हणून त्याने विद्युत चुंबकीय लहरींच्या अस्तित्वाचा अंदाज वर्तवला आणि या लहरींचा वेग हा एप्सिलॉन  $\mu$  naught in the free space epsilon  $\mu$  naught a over the root सारखा असेल असे भाकीत केले.

माध्यमाची डायलेक्ट्रिक परमिटिव्हिटी आहे जसे की मोकळ्या जागेत डायलेक्ट्रिक एप्सिलॉनचे मूल्य एप्सिलॉन नॉट आहे आणि जसे आपल्याला माहित आहे की एप्सिलॉन नॉटचे मूल्य इतके आहे आणि  $\mu$  naught चार  $\pi$  टू दहा ते mks मधील उणे सात आहे युनिट्स म्हणून म्हणून मी हे बदलल्यास मला एक मूल्य मिळेल जे 3 ते 10 ते 8 मीटर प्रति सेकंद इतके आहे.

इ मॅक्सवेलने पुन्हा विद्युत चुंबकीय लहरींच्या अस्तित्वाचा अंदाज लावला आणि त्याच्या समीकरणांवरून त्याने व्हॅक्यूममधील विद्युत चुंबकीय लहरींच्या वेगाची अभिव्यक्ती काढली आणि त्याने असा अंदाज वर्तवला की विद्युत चुंबकीय लहरींचा वेग प्रति सेकंद सुमारे 300 दशलक्ष मीटर इतका होता, जे सुमारे अठराशे एक बासष्ट होते.

त्या वेळी फ्रेंच भौतिकशास्त्रज्ञ पिझोने हवेतील प्रकाशाचा वेग ठरवला होता आणि ते मूल्य 300 दशलक्ष मीटर प्रति सेकंदाच्या जवळपास होते म्हणून मॅक्सवेलने सांगितले की या दोन संख्या चुकून समान असू शकत नाहीत आणि म्हणून निसर्गाच्या तर्कशुद्धतेवर विश्वास ठेवून या दोन संख्या चुकून समान असू शकत नाही, तो म्हणाला प्रकाश ही विद्युत चुंबकीय लहरी असली पाहिजे म्हणून मी माझा युक्तिवाद पुन्हा करेन आणि हा केवळ भौतिकशास्त्राचाच नव्हे तर विज्ञानाच्या विकासातील सर्वात महत्त्वाचा युक्तिवाद आहे, तो मॅक्सवेलने त्यातून वीज आणि चुंबकत्वाचे नियम लिहून ठेवले.

त्याने या समीकरणांमधून इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक अभिव्यक्तीसारख्या लहरी दाखवल्या नेटिक फील्ड ही या समीकरणांची निराकरणे आहेत आणि म्हणूनच त्याने इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींच्या अस्तित्वाचा अंदाज लावला

आणि तो व्हॅक्यूममध्ये इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींचा वेग मोजू शकला आणि त्याला असे आढळून आले की त्याने भाकीत केलेल्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींच्या वेगाचे मूल्य वेगाच्या अगदी जवळ आहे.

फिसोद्वारे मोजल्याप्रमाणे प्रकाश लहरींचे मोजमाप केले गेले आणि नंतर त्याने सांगितले की या दोन संख्या चुकून समान असू शकत नाहीत आणि म्हणून प्रकाश एक विद्युत चुंबकीय लहरी असणे आवश्यक आहे आणि म्हणूनच 1864 च्या सुमारास मॅक्सवेलने त्याच्या प्रसिद्ध पुस्तकात इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींच्या अस्तित्वाचा अंदाज लावला आणि म्हटले की प्रकाश स्वतःच एक आहे.

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव म्हणून मोकळ्या जागेत तुमच्याकडे एक दोलन विद्युत क्षेत्र आहे जे एक दोलन चुंबकीय क्षेत्र तयार करते ज्याचे मोठेपणा एप्सिलॉन शून्याच्या प्रमाणात आहे आम्ही दाखवले की जर ई शून्य शून्य असेल तर  $h$  हे सर्व एक क्षेत्र आहे ज्याशिवाय इतर दोन्ही नसतात.

जर प्रसार  $z$  दिशेला असेल असे गृहीत धरले असेल तर ते अस्तित्वात असेल  $c$  फील्ड  $x$  दिशेने आहे असे गृहीत धरले जाते मग चुंबकीय क्षेत्र  $y$  दिशेने असते म्हणून प्रसार दिशा विद्युत क्षेत्राच्या आणि चुंबकीय क्षेत्राच्या दिशेने काटकोनात असते आणि म्हणून लाटा आडव्या असतात असे म्हटले जाते .

ही अशी आहे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेवचे वर्णन करणारी ही दोन समीकरणे आहेत एक दोलन विद्युत क्षेत्र एक दोलन चुंबकीय क्षेत्र तयार करते आणि दोलन चुंबकीय क्षेत्र एक दोलन विद्युत क्षेत्र तयार करते आणि फील्ड्स स्पेसमधून प्रसारित होतात अशा प्रकारे फील्डची संकल्पना प्रथम मांडण्यात आली होती. मायकेल फॅराडे द्वारे आणि म्हणूनच चार्जद्वारे उत्पादित फील्ड व्हॅक्यूममध्ये देखील अस्तित्वात असू शकतात आणि हे दोलन चुंबकीय क्षेत्र एक दोलन इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इलेक्ट्रिक फील्ड तयार करतील आणि दोलन इलेक्ट्रिक फील्ड एक दोलन चुंबकीय क्षेत्र तयार करतील जे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लाटा व्हॅक्यूमद्वारे प्रसारित करू शकतात.

व्हॅक्यूममध्ये चार्ज नंतर त्याचे इलेक्ट्रॉनिक उत्पादन करते टीक फील्ड अगदी व्हॅक्यूममध्ये आणि जर मी चार्ज वर आणि खाली केला तर त्या बदलत्या इलेक्ट्रिक फील्डशी संबंधित वेळेनुसार इलेक्ट्रिक फील्ड देखील बदलेल ते बदलते चुंबकीय क्षेत्र असेल आणि बदलत्या चुंबकीय क्षेत्राशी संबंधित असेल जे बदलते इलेक्ट्रिक फील्ड असेल म्हणून विद्युत चुंबकीय लहरींचा वेग सुमारे 300 दशलक्ष मीटर प्रति सेकंद आहे आणि मॅक्सवेलने सांगितले की प्रकाश स्वतः एक इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक आहे हे विज्ञानाच्या विकासातील सर्वात मोठे संश्लेषण आहे जे प्रकाश आणि प्रकाशाचा अभ्यास करते.

वीज आणि चुंबकत्वाचा अभ्यास हे एकाच छत्राखाली एक मोठे स्वरूप आले आहे , हेनरिक हर्ट्झने 1887 मध्ये इलेक्ट्रिकल सर्किट्सद्वारे च्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लाटा निर्माण केल्या आणि त्याने इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लाटा धातूच्या पडद्यावर पडू दिल्या आणि त्यांचे परावर्तन झाले आणि ते सापडले.

आणि स्ट्रिंगवरील स्थिर लाटांसारखेच प्राप्त केले जेणेकरून तो तरंगलांबी आणि वारंवारता निर्धारित करू शकेल आणि  $f$  रॉम की त्याने दाखवले की विद्युत चुंबकीय लहरींचा वेग प्रकाशाच्या वेगाइतकाच आहे आणि

त्यामुळे प्रकाश ही खरोखरच एक विद्युत चुंबकीय लहरी आहे हे लवकरच सिद्ध झाले,

त्यामुळे शतकाच्या शेवटी 19व्या शतकात लोक शेवटी शास्त्रज्ञांनी विचार केला की शेवटी प्रकाश म्हणजे काय हे समजले की प्रकाश एक इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव आहे आणि आणि कारण आणि इलेक्ट्रिक फील्ड बदलल्याने एक बदलणारे चुंबकीय क्षेत्र तयार होते आणि त्यामुळे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लाटा मोकळ्या जागेतून प्रसारित होतात म्हणून हे घडले.

19वे शतक म्हणून हे संपूर्ण आहे जे मी माझ्या शेवटच्या व्याख्यानात दाखवले होते हे संपूर्ण इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रम आहे गॅमा किरणांपासून ते क्ष-किरणांपर्यंत अल्ट्राव्हायोलेट ते स्पेक्ट्रमच्या दृश्यमान क्षेत्रापर्यंत इन्फ्रारेड ते मायक्रोवेव्ह ते रेडिओ लहरी ते रेडिओ

लहरी.

तुमच्या सेल फोनवर किंवा तुमच्या टीव्हीवर रिसेव्ह करा त्या सर्व इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी आहेत त्या सर्व एकसारख्या वेगाने प्रवास करतात  $n$  व्हॅक्यूम आणि स्पेक्ट्रमचा दृश्य भाग ज्यासाठी आपल्या डोळ्याची डोळ्यातील पडदा संवेदनशील आहे तो इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रमचा फक्त एक लहान भाग बनतो

त्यामुळे गॅमा किरणांची वारंवारता 10 ते 20 हर्ट्झची असते आणि रेडिओ लहरींची वारंवारता असते सुमारे 10 ते 6 हर्ट्झ पॉवर आणि मी माझ्या मागील लेखरमध्ये नमूद केल्याप्रमाणे स्पेक्ट्रमच्या दृश्यमान प्रदेशाची वारंवारता 10 ते 14 हर्ट्झची पॉवर असते जी सुमारे 100 टॅराहर्ट्झ असते

त्यामुळे माझ्याकडे डायलेक्ट्रिक असल्यास हा वेग आहे ज्याला डायलेक्ट्रिक परमिटिव्हिटी एप्सिलॉन द्वारे वैशिष्ट्यीकृत केले जाते त्यानंतर इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींचा वेग मोकळ्या जागेत प्रकाशाचा वेग याद्वारे दिला जातो म्हणून माध्यमाचा अपवर्तक निर्देशांक जो  $c$  द्वारे  $v$  द्वारे दिलेला आहे तो एप्सिलॉन द्वारे एप्सिलॉन आहे असे नाही.

घन द्रवपदार्थाद्वारे प्रकाश प्रसार सर्व गोष्टींचा अभ्यास केला गेला आणि मॅक्सवेलचा सिद्धांत अत्यंत यशस्वी असल्याचे दिसून आले मॅक्स प्लॅंकने म्हटले होते की मॅक्सवेलचा सिद्धांत सर्वकाळ टिकेल

मानवी बौद्धिक प्रयत्नांचा  $st$  triumphs खरंच मॅक्सवेलचे योगदान तिन्ही वेळेसाठी आहे किंवा सर्वोच्च राहिले आहे, म्हणजे त्याने इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक सिद्धांतामध्ये प्रचंड योगदान दिले आहे म्हणून ही माझी  $x$  ध्रुवीकृत लहर आहे ज्यामध्ये विद्युत क्षेत्र या विद्युत क्षेत्राशी संबंधित आहे.

$a$  एक चुंबकीय क्षेत्र आहे म्हणून मी आता आहे मी अनेक एकता बदल उल्लेख करत नाही जर माझ्याकडे  $x$  दिशेने नाचणारे विद्युत क्षेत्र असेल तर माझ्याकडे विद्युत क्षेत्र असल्यास  $x$  ध्रुवीकृत तरंग म्हणून ओळखले जाणारे विद्युत क्षेत्र आपण निर्माण करतो.

$y$  दिशेने मग तुमच्याकडे  $ay$  ध्रुवीकृत तरंग म्हणून ओळखले जाणारे विद्युत क्षेत्र या दिशेला ध्रुवीकृत तरंगासाठी वाय दिशेत विद्युत क्षेत्र दोलन करते आणि तुमच्याकडे एक गोलाकार ध्रुवीकृत इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह देखील असू शकते ज्यामध्ये एका विशिष्ट बिंदूवरील विद्युत क्षेत्राचे मूळ वर्तुळाच्या परिघावर फिरते, आपण दोन प्रकाश लहरींना वरचेवर बनवू शकता आणि एक तयार करू शकता वर्तुळाकार ध्रुवीकृत इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह

त्यामुळे वर्तुळाच्या परिघावर काय फिरते, विद्युत सदिशाचे टोक वर्तुळाच्या परिघावर फिरते

त्यामुळे उजव्या वर्तुळाकार ध्रुवीकृत तरंगासाठीचे क्षेत्र  $z$  दिशेने प्रसारित होणारे विद्युत क्षेत्र या विशिष्ट बिंदूवर विद्युत क्षेत्र वेक्टर वर्तुळाच्या परिघावर फिरतो जो उजव्या वर्तुळाकार ध्रुवीकृत इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह आहे आता सोडियम दिव्याचा किंवा सामान्य बल्बचा प्रकाश अध्रुवीकृत आहे म्हणजे विद्युत क्षेत्र दोलन त्याची दिशा बदलते प्रचंड वेगाने परंतु जर तुम्ही त्यामधून जात असाल तर प्लास्टिक सारखे मटेरिअल ज्याला पोलराईड म्हणून ओळखले जाते ते इलेक्ट्रिक फील्ड जे पोलराईड मधून बाहेर येते ते एका दिशेने असते त्यामुळे काय होत आहे या प्लास्टिक सारख्या मटेरिअलमध्ये लांब साखळी रेणू आहेत आणि समजा ते सर्व क्षैतिज आहेत आता लांब साखळी आहेत.

तेथे आयोडीनचे रेणू असतात आणि विद्युत क्षेत्र सोबत विद्युत प्रवाह निर्माण करते रेणूची लांबी आणि ती जूल गरम करून शोषून घेतली जाते फक्त लांब साखळीच्या रेणूंच्या लांबीला लंब असलेला घटक त्यातून जातो आणि तुम्हाला  $x$  ध्रुवीकृत प्रकाश म्हणून ओळखले जाणारे हे ध्रुवीकृत ध्रुवीय पत्रके प्लास्टिकच्या शीटसारखी दिसतात.

आणि ते बाजारात उपलब्ध आहेत तुम्हा सर्वांना त्याबद्दल माहिती असणे आवश्यक आहे म्हणून तुम्ही सामान्य अध्रुवीकृत प्रकाशाच्या अंतर्गत प्रकाशाच्या किरणांना पोलराईडवर अनुमती देता त्याचे आउटपुट  $x$  ध्रुवीकृत प्रकाश आहे विद्युत क्षेत्र दोलन उभ्या दिशेने समजू या तर विद्युत फील्ड  $x$  दिशेच्या बाजूने  $oscillates$  नंतर त्याला  $ax$  polarite म्हणून ओळखले जाते आणि ते बाहेर आल्यावर विद्युत क्षेत्र या विशिष्ट स्वरूपात लिहिता येते जर मी हा polaroid क्षैतिज अक्षावर फिरवला तर तीव्रतेचा कोणताही फरक दिसणार नाही कारण हा अध्रुवीकृत प्रकाश आहे जर मी आता दुसरा पोलराईड ठेवला ज्याचा पास अक्ष  $x$  अक्षासह कोन थीटा बनवतो तर दुसऱ्या ध्रुवीय भागावर पडणारा प्रकाश  $x$  ध्रुवीकृत आहे विद्युत क्षेत्र या दिशेला आहे आणि दुसरा ध्रुवीकरण अशा रीतीने केला जातो की या बाजूचा घटक त्यातून जातो

त्यामुळे या दिशेकडील विद्युत क्षेत्राचा घटक  $e \cos \theta$  असतो आणि

त्यामुळे मोठेपणाच्या प्रमाणात असणारी तीव्रता कॉस स्केअर थीटा प्रमाणे बदलू शकते म्हणून जर थीटा शून्य असेल तर जवळजवळ संपूर्ण प्रकाश त्यातून जाईल आणि जर थीटा पाई बाय दोन असेल तर शून्य तीव्रता या समीकरणातून जाईल ज्याला मालसचा नियम म्हणून ओळखले जाते अधिक  $z$  दिशेने प्रसारित होणाऱ्या अध्रुवीकृत तरंगासाठी ही  $z$  दिशा आहे जी  $xy$  समतलामध्ये स्थित विद्युत सदिश यादृच्छिक रीतीने आपली दिशा बदलत राहते तीच मी डावीकडील आकृतीमध्ये दर्शविली आहे जर अध्रुवीकृत प्रकाश किरण असेल तर पोलराईडवर पडण्याची परवानगी दिली जाते मग उदयोन्मुख बीम  $x$  ध्रुवीकृत होईल जर आपण दुसरा पोलराईड  $p$  2 ठेवला तर प्रसारित  $v$  ची तीव्रता  $i$  शून्य कॉस स्केअर थीटा म्हणून प्रकाश बदलेल आणि हा नियम मॅलसचा नियम म्हणून ओळखला जातो येथे मी दोन पोलराईड दर्शविण्याचा प्रयत्न केला आहे जे एकमेकांना समांतर आहेत म्हणून कोन थीटा शून्य आहे कृपया लाल बिंदू आणि निळा बिंदू लक्षात घ्या प्रत्येक शीटचा वरचा उजवा कोपरा प्रत्येक पोलराईड शीट

त्यामुळे थीटा शून्य आहे आणि दोन पास पास अक्ष एकमेकांना समांतर आहेत आणि म्हणून थीटा शून्य आहे म्हणून पहिल्या

पोलराईडमधून बाहेर पडणारा संपूर्ण प्रकाश दुसऱ्या पोलराईडमधून जातो जर दोन अक्षामधील कोन पंचेचाळीस अंश असेल तर कॉस स्केअर 45 हा अर्धा आहे आणि जर ते एकमेकांच्या काटकोनात केले तर अर्धा तीव्रता त्यातून जाईल तर एकाचा मार्ग अक्ष पथ अक्षाच्या काटकोनात असेल.

दुसरे तुम्ही पाहू शकता की येथे निळा बिंदू आला आहे

त्यामुळे ते एकमेकांच्या काटकोनात आहेत

त्यामुळे जवळजवळ शून्य तीव्रतेची प्रक्रिया याद्वारे मलच्या नियमाचे प्रकटीकरण आहे

त्यामुळे दोन पोलरॉइड्ससह वास्तविक छायाचित्रे भिन्न आहेत दोन पोलरॉइड्स एकमेकांना समांतर असल्यास सापेक्ष अभिमुखतेचे कोन भाड्याने घ्या

जेव्हा दोन पोलरॉइड एकमेकांच्या संदर्भात 45 अंशांवर केंद्रित असतात तेव्हा जवळजवळ संपूर्ण प्रकाश त्यामधून जातो आणि जेव्हा दोन पोलरॉइड्स एकमेकांच्या संदर्भात 40 50 टक्के प्रकाश जातात एकमेकांच्या काटकोनात निव्व्या बिंदूची स्थिती लक्षात घ्या जवळजवळ कोणताही प्रकाश त्यामधून जाणार नाही तेथे कॅल्साइट क्रिस्टलसारखे क्रिस्टल्स आहेत जर तुम्ही कागदाच्या तुकड्यावर कॅल्साइट क्रिस्टल ठेवले ज्यावर काहीतरी लिहिले असेल तर तुम्हाला या दोन प्रतिमा दिसतील याला दुहेरी अपवर्तन म्हणून ओळखले जाईल आणि खरंच जर माझ्याकडे क्रिस्टलवर अधुवीकरण नसलेला लेसर बीम पडला असेल तर बाहेर येणारे दोन प्रकाश किरण रेखीय ध्रुवीकरण आहेत नेहमी रेखीय ध्रुवीकरण केले जातात ही ध्रुवीकृत प्रकाश निर्माण करण्याच्या पद्धतीपैकी एक आहे म्हणून तरंग सिद्धांत मॅक्सवेलने मांडलेल्या प्रकाशाचा इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह सिद्धांत अनेक प्रायोगिक निरीक्षणे समजावून सांगू शकतो आणि माझ्याकडे आहे तसे शतकाच्या सुरुवातीला लोकांना वाटले की शेवटी प्रकाश म्हणजे काय हे समजले की प्रकाश खरोखरच एक इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह आहे तेव्हा 1905 मध्ये जेव्हा आइन्स्टाइन स्विस पेटंट ऑफिसमध्ये काम करत होते तेव्हा त्यांनी 1905 मध्ये पाच उत्कृष्ट पेपर प्रकाशित केले होते.

वर्ष हे आइन्स्टाइनचे चमत्कारांचे वर्ष असल्याचे म्हटले जाते आणि पाच उत्कृष्ट पेपर्स हे पहिले पेपर होते रेणूंचा आकार ठरवण्यासाठी एक पद्धत होती आणि दुसरा पेपर होता ज्यामध्ये त्याने पुढे मांडले की प्रकाशाचा एक क्वांटम स्वभाव आहे ज्याची मी एका क्षणात चर्चा करेन. तिसऱ्या पेपरमध्ये त्यांनी ब्राउनिअन गतीचा सिद्धांत दिला ज्यामध्ये पाण्याच्या रेणूंच्या थर्मल गतीमुळे पाण्यातील लहान कण फिरतात आणि चौथ्या पेपरमध्ये त्यांनी सापेक्षतेचा विशेष सिद्धांत मांडला आणि पाचव्या पेपरमध्ये त्यांनी लिहून ठेवले की ते मिळवले.

$e$  is equal to  $mc$  square असे समीकरण लोक म्हणतात की यातील प्रत्येक पेपर नोबेल पारितोषिकाचा होता म्हणून त्याच्या दुसऱ्या पेपरमध्ये चमत्कारांचे वर्ष आइन्स्टाईन म्हणाले की प्रकाशाच्या किरणोत्सर्गाच्या उर्जेमध्ये न्यून आणि इतरांनी मांडलेल्या कॉर्पस्कुलर मॉडेलसारख्या उर्जेच्या अविभाज्य परिमाणांचा समावेश होतो आणि उर्जेचे हे परिमाण ई द्वारे दिले गेले होते आणि

त्यामुळे रेडिएशन आवश्यक आहे.

त्यांनी लिहिले की रेडिएशनमध्ये उर्जेमध्ये एक प्रकारची आण्विक रचना असणे आवश्यक आहे जे अर्थातच मॅक्सवेलच्या सिद्धांताच्या विरोधात आहे वॉल्फगॅंग पॉली या महान भौतिकशास्त्रज्ञाने नंतर सांगितले की सैद्धांतिक भौतिकशास्त्राच्या विकासातील हा एक महत्त्वाचा खूप होता.

सैद्धांतिक भौतिकशास्त्र म्हणून त्याचे कॉर्पस्कुलर मॉडेल वापरून आपल्यापैकी बहुतेकांना माहित असेल की त्याने फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव स्पष्ट केला जर अल्ट्राव्हायोलेट लाइट असेल तर फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव काय असतो जर अल्ट्राव्हायोलेट प्रकाश सोडियम पोटॅशियम किंवा सीझियम प्लेटवर पडला तर इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होतात याद्वारे उत्सर्जित होणारे इलेक्ट्रॉन ही प्रक्रिया फोटोइलेक्ट्रॉन आणि आयन्स म्हणून ओळखली जाते टीनने त्याचे क्वांटम मॉडेल वापरून दाखवले की उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनची कमाल गतिज उर्जा  $t$  जास्तीत जास्त उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनची कमाल गतिज ऊर्जा  $h \nu$  च्या बरोबरीची होती जिथे  $h$  हा प्लँकचा स्थिरांक आहे आणि  $\nu$  ही प्रकाशाची वारंवारता आहे जी येथे वापरली जाते वजा एक स्थिर  $b$  जो पोटॅशियमसाठी धातूच्या गुणधर्मावर अवलंबून असतो त्याचे सोडियमचे विशिष्ट मूल्य असते त्याचे वेगळे मूल्य असते म्हणून याला सामान्यतः आइन्स्टाईन फोटोइलेक्ट्रिक समीकरण असे म्हणतात. फोटोइलेक्ट्रॉन म्हणून हे त्याने 1905 मध्ये लिहून ठेवले आणि रॉबर्ट मिलिकन यांनी अतिशय काळजीपूर्वक प्रयोग केले ज्याने आइन्स्टाईनचे हे समीकरण अचूकतेच्या प्रचंड प्रमाणात सत्यापित केले

त्यामुळे उभ्या अक्षावर उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनची कमाल गतिज ऊर्जा असते आणि नंतर क्षैतिज अक्ष असते.

घटनेच्या प्रकाशाची वारंवारता आणि तीन रेषा कमाल गतीची भिन्नता दर्शवतात

सिझियम सोडियम आणि तांबे यांच्यासाठी घटना प्रकाशाच्या वारंवारतेचे कार्य म्हणून इलेक्ट्रॉनची ऊर्जा त्यांच्यापैकी प्रत्येकासाठी गंभीर वारंवारता  $c$  आहे जर प्रकाशाची घटना  $\nu$   $c$  पेक्षा कमी वारंवारता असेल तर प्रकाश कितीही तीव्र असला तरीही फिलीप लिओनार्डने आइन्स्टाईनच्या 1905 च्या पेपरच्या आधी हे फोटोइलेक्ट्रॉन तयार करणे शक्य होणार नाही आणि नंतर त्याने त्याच्या क्वांटम सिद्धांताचा फोटॉन सिद्धांत वापरून हा फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव स्पष्ट केला आणि हे समीकरण काढले आणि हे समीकरण रॉबर्ट मिलिकन यांनी अतिशय काळजीपूर्वक सत्यापित केले.

हे रॉबर्ट मिलिकन यांच्या उदात्त व्याख्यानातून स्वीकारले गेले आहे आणि त्याने कमाल गतीज उर्जेचे अतिशय काळजीपूर्वक मोजमाप केले आणि त्याला असे आढळले की आइन्स्टाईनच्या सूत्राशी अगदी बरोबर सहमत आहे म्हणून आपल्याकडे एकच फोटॉन स्तोत आहे असे समजू या.

तुमच्याकडे एक फोटॉन आहे आणि दुसरा फोटॉन येतो आणि उष्मा शिफ्ट पोलारायझर पोलरॉइडला मारतो ज्या प्रकारचे मी बोललो होतो.

काही मिनिटांपूर्वी ते एक्स प्राइम पोलरायझर फोटॉन म्हणून ओळखले जाणारे फोटॉन तयार करते, समजा ही  $x$  अविभाज्य अक्षाची दिशा आहे आता याच्या पाठोपाठ एक पोलरॉइड आहे ज्याचा पास अक्ष  $x$  च्या बाजूने आहे म्हणून तो त्यातून जाईल की नाही? पास थ्रू वेव्ह थिअरी म्हणते की कॉस स्केअर थीटा क्वांटम सिद्धांतानुसार या फोटॉनची तीव्रता खाली येण्याची शक्यता आहे कॉस स्केअर थीटा ही संभाव्यता आहे की ध्रुवीकृत फोटॉन ध्रुवीकृत फोटॉन ज्याच्या ध्रुवीय ध्रुवातून बाहेर पडतो.

पास अक्ष हा  $x$  अक्षासह एक कोन थीटा बनवतो जो दुसऱ्या पोलरॉइडमधून जाईल ज्याचा पास अक्ष  $x$  अक्षाच्या बाजूने आहे कॉस स्केअर थीटा

त्यामुळे एक समान फोटॉन दुसऱ्या समान फोटॉनमधून जाणार नाही अशी विशिष्ट संभाव्यता आहे एक विशिष्ट ध्रुवीकरण जे ध्रुवीकृत फोटॉन दुसऱ्या पोलरॉइडमधून जाऊ शकते किंवा संभाव्यतेवर प्रभुत्व मिळवू शकत नाही कॉस स्केअर थीटा अल्बर्ट आइन्स्टाईन प्राप्त 1921 चे भौतिकशास्त्रातील नोबेल पारितोषिक त्यांच्या सैद्धांतिक भौतिकशास्त्रातील सेवांसाठी आणि विशेषतः फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्टच्या

कायद्याच्या शोधासाठी आणि म्हणूनच आइन्स्टाईनला नोबेल पारितोषिक त्यांच्या सापेक्षतेच्या सिद्धांतासाठी नव्हे तर त्यांच्या सामान्य सापेक्षतेच्या सिद्धांतासाठी नव्हे तर संकल्पनेसाठी देखील मिळाले.

लाइट क्वांटमचे परंतु आइन्स्टाईन समीकरणासाठी जे रॉबर्ट मिलिकन यांनी अत्यंत काळजीपूर्वक सत्यापित केले होते आणि रॉबर्ट मिलिकन यांनी स्वतःला 1923 चे भौतिकशास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेच्या प्राथमिक चार्जवर आणि फोटोइलेक्ट्रिक प्रभावावर केलेल्या कामासाठी मिळाले होते म्हणून मिलिकनच्या कार्यानंतर आर्थर कॉम्प्टन यांनी अतिशय सुंदर प्रयोग त्याने उच्च उर्जेच्या फोटॉनला इलेक्ट्रॉनवर आदळण्याची परवानगी दिली आणि त्यातून ते विखुरले गेले म्हणून तो आणि नंतर इलेक्ट्रॉन एका विशिष्ट दिशेने फिरतो म्हणून त्याने त्याच्या विश्लेषणात असे गृहीत धरले की प्रकाशात पॅकेट्स असतात.

आइन्स्टाईनने म्हटल्याप्रमाणे  $h \nu$  आणि प्रत्येक फोटॉनचा संवेग  $h \nu / c$  असतो  $c$ .

तो इलेक्ट्रॉनला मारतो, या विखुरलेल्या इलेक्ट्रॉनमध्ये ऊर्जा  $h \nu$  प्राइम असेल आणि विखुरलेल्या फोटॉनमध्ये ऊर्जा  $h \nu$  प्राइम असेल आणि संवेग  $h \nu / c$  ने असेल आणि या इलेक्ट्रॉनला  $mv$  द्वारे संवेगाचे नियम साध्या गतीशास्त्राचा वापर करून दिलेला संवेग असेल.

ऊर्जा आणि संवेग तो घटना किरणोत्सर्गाच्या तरंगलांबीमधील बदलाची गणना करू शकतो

म्हणून ही तरंगलांबी विखुरलेल्या फोटॉनची वारंवारता थोडी लहान आहे म्हणून तरंगलांबी मोठी आहे आणि हा आणि तरंगलांबीमधील बदल जो  $c$  च्या  $\nu$  प्राइम मायनसच्या समान आहे  $c$  द्वारे  $\nu$  त्याने हे मोजले आणि त्याला दोन  $h \nu$  by  $\mu m \sin^2 \phi$  असे आढळले आणि हे आर्थर कॉम्प्टनने ब्लॅकबोर्डवर लिहिलेले त्याचे प्रसिद्ध आहे हे विशिष्ट सूत्र आहे आणि त्याने प्रयोगांचा एक अतिशय सुंदर संच केला ज्यामध्ये उच्च क्ष-किरण ट्यूबमधून ऊर्जा फोटॉन बाहेर पडत होते ते कार्बन लक्षावर पडतात आणि इलेक्ट्रॉन आणि फोटॉन त्याने मोजलेल्या वेगवेगळ्या कोनांवर विखुरले जातात तरंगलांबी अतिशय तरंगलांबी शिफ्ट आहे आणि त्याने या अभिव्यक्तीशी तुलना केली आणि उकृष्ट सहमती आढळली की आर्थर कॉम्प्टनच्या कार्यानंतरच लोकांनी शेवटी आइन्स्टाईनच्या प्रकाश क्वांटमवर विश्वास ठेवण्यास सुरुवात केली की प्रकाशाची खरोखरच कॉर्पस्कुलर वर्तन असते आणि त्याची ऊर्जा समान असते.

$h \nu$  आणि त्याचा संवेग  $h \nu / c$  च्या बरोबरीचा आहे, म्हणून आर्थर कॉम्प्टनच्या फोटॉनच्या विखुरण्याच्या सुंदर कामानंतरच शेवटी कोणीही विश्वास ठेवू शकतो की फोटॉनची ऊर्जा  $h \nu$  द्वारे दिली जाते आणि फोटॉनची गती  $h \nu / c$  द्वारे दिली जाते.

$c$  द्वारे जेथे  $h$  हा प्लँकचा स्थिरांक आहे आणि  $c$  हा मोकळ्या जागेत प्रकाशाचा वेग आहे हे माहित आहे आर्थर कॉम्प्टन यांना १९२६ मध्ये कॉम्प्टन प्रभावाचा शोध लावल्याबद्दल भौतिकशास्त्रातील १९२७ चे नोबेल पारितोषिक मिळाले होते गिल्बर्ट लुईस या अमेरिकन रसायनशास्त्रज्ञाने फोटॉन शब्दाचे वर्णन केले.

आइन्स्टाईनचे स्थानिकीकृत उर्जा क्वांटम म्हणून समजा आपल्याकडे सोडियम दिवा आहे म्हणून 50 वॅट सोडियम दिव्याद्वारे उत्सर्जित केलेल्या फोटॉनची संख्या एका सेकंदात 50 वॅट्स भागिले  $h \nu$  असेल

त्यामुळे 50 वॅट म्हणजे 50 ज्युल प्रति सेकंद म्हणजे सोडियम दिव्याद्वारे उत्सर्जित होणारी ऊर्जा  $h \nu$  ने भागून 6.

6 ते 10 इतकी उर्जा उणे 34 ज्युल सेकंद आणि नवीन वारंवारता सोडियम दिव्याची शक्ती सुमारे 5 ते 10 ते 14 हर्ट्झ इतकी असते म्हणून तुम्ही हे गुणाकार करा आणि तुम्हाला आढळून आले की सुमारे 10 ते 20 फोटॉन प्रति सेकंदाची शक्ती आहे म्हणून जर 50 वॅटचा सोडियम दिवा 10 मीटर अंतरावर ठेवला तर ०.

१ मिलिमीटर त्रिज्येचे वर्तुळाकार भोक मग या छोट्या छिद्रातून साधारण गणनेनुसार सुमारे ४० दशलक्ष फोटॉन प्रति सेकंद गोलाकार छिद्रातून बाहेर पडतील आणि म्हणूनच

एका तरुणाचे छायाचित्र दर्शविणाऱ्या छायाचित्रांच्या सेट मालिकेसाठी हे एक उल्लेखनीय चित्र आहे.

मर्यादित संख्येतील फोटॉन असलेली मुलगी वरच्या डाव्या हाताचा फोटो 3000 फोटॉनशी संबंधित आहे येथे प्रत्येक स्पॉट एका फोटॉनशी संबंधित आहे आणि हळूहळू फोटॉनची संख्या वाढल्याने शेवटचा एक 28 दशलक्ष स्पॉट्सच्या प्रमाणाशी संबंधित आहे उम सिद्धांत आम्हाला फोटॉनच्या आगमनासाठी संभाव्यता वितरण देते जेथे स्वतंत्र फोटॉन येईल असे कोणीही म्हणू शकत नाही फक्त क्वांटम सिद्धांतानुसार संभाव्यता वितरण देऊ शकते आणि जेव्हा आपल्याकडे फारच कमी फोटॉन असतील तेव्हा आपल्याकडे काही विखुरलेले ठिपके असतील कारण आपण नेहमी एक फोटॉन शोधा किंवा फोटॉन नाही, तुम्ही अर्धा फोटॉन कधीच शोधू शकत नाही परंतु जेव्हा तुमच्याकडे लाखो आणि लाखो फोटॉन सारखे फोटॉन मोठ्या संख्येने असतील तेव्हा हळूहळू प्रतिमेची रचना प्राप्त होईल जी शास्त्रीय लहर सिद्धांताशी सुसंगत असेल.

क्वांटम सिद्धांताच्या आगमनाने

भौतिकशास्त्र हे निसर्गात संभाव्यतावादी बनले आहे शास्त्रीय भौतिकशास्त्र हे निसर्गात निर्धारवादी आहे आणि मी तुम्हाला या संभाव्य संकल्पनेचे एक साधे उदाहरण देईन, समजा तुम्ही युरेनियम सॉलिड घेतले तर त्यात सुमारे 10000 अणू आहेत असे म्हणूया की त्याचे अर्ध आयुष्य आहे.

समजा एके दिवशी तुम्ही म्हणाल की एका दिवसात ५००० कुजतील तर दुसऱ्या दिवशी आणखी २५०० कुजतील.

तिसऱ्या दिवशी 1250 च्या सुमारास क्षय होईल म्हणून पहा सर्व अणू एकसारखे आहेत सर्व केंद्रके एकसारखे आहेत त्यापैकी काही पहिल्या सेकंदात क्षय होतील आणि त्यापैकी काही काही दिवसांपर्यंत कुजणार नाहीत ज्याचा क्षय होईल जेव्हा कोणीही सांगू शकत नाही आणि वस्तुतः क्वांटम मेकॅनिक्स तुम्हाला किरणोत्सर्गीतमध्ये प्राप्त झाल्याप्रमाणे समस्थानिकांच्या क्षय होण्याच्या संभाव्यतेचा अंदाज लावू देते आणि समस्थानिकांच्या अर्धायुष्याचा अंदाज लावू देते

त्यामुळे संपूर्ण क्वांटम सिद्धांत हा संभाव्यता आहे की ध्रुवीकृत फोटॉन ध्रुवीय फोटॉन ज्याच्या मार्गाच्या अक्षातून बाहेर पडतो.

$x$  अक्षाच्या बाजूने दुसरा पोलरॉइड कॉस स्केअर थीटा आहे जर प्रयोग  $n$  फोटॉनसह केला गेला असेल आणि जर  $n$  खूप मोठा असेल तर सुमारे  $n$  कॉस स्केअर थीटा फोटॉनमधून जाईल अशा प्रकारे वैयक्तिक फोटॉनच्या भवितव्याचा अंदाज लावता येत नाही.

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशनशी संबंधित ऊर्जेचे परिमाण ताबडतोब केले जाते ही वस्तुस्थिती संभाव्य दृष्टिकोनाकडे नेत आहे म्हणून येथे एक अतिशय सुंदर प्रयोग आहे येथे एक अर्धवट चांदीची काचेची प्लेट आहे ज्यामध्ये 50 टक्के परावर्तन 50 टक्के ट्रान्समिशन आहे त्यामुळे तुम्ही म्हणता अर्धा प्रकाश परावर्तित झाला आहे अर्धा प्रकाश प्रसारित झाला आहे म्हणून तुम्ही एकाच फोटॉन स्तोतासोबत एक फोटॉन येतो म्हणून तुम्ही म्हणता की त्यातील अर्धा जाईल या बाजूने त्यांच्यापैकी निम्मे या बाजूने जातील जे योग्य विधान नाही योग्य विधान असे आहे की या बीममध्ये फोटॉन दिसतो तसेच या बीममध्ये फंक्शनद्वारे वर्णन केले जाते जे येथे उपस्थित आहे आणि जर मी शोधले तर मी डिटेक्टर लावा मग तो एकतर इथे शोधला जाईल किंवा तिथे सापडला असेल तर तो डिटेक्टर d1 द्वारे सापडण्याची 50 टक्के शक्यता आहे आणि डिटेक्टर d2 द्वारे सापडण्याची 50 टक्के शक्यता आहे, समजा मी जेव्हा 0 क्रमांक तयार करतो .

डिटेक्टर d1 क्लिक करतो आणि जेव्हा डिटेक्टर d2 क्लिक करतो तेव्हा मी क्रमांक 1 व्युत्पन्न करतो आणि जेव्हा मोठ्या संख्येने फोटॉन येतात तेव्हा मी पूर्णपणे यादृच्छिक संख्यांचा संच तयार करतो.

um theory हा सोपा प्रयोग तुम्हाला पूर्णपणे यादृच्छिक संख्या निर्माण करण्यास अनुमती देतो कारण क्वांटम मेकॅनिक्सच्या अनिश्चित स्वरूपामुळे आम्ही खरे यादृच्छिक संख्या निर्माण करू शकतो अशा उपकरणाला क्वांटम यादृच्छिक संख्या जनरेटर म्हणून ओळखले जाते खरं तर एक कंपनी आहे जी हे क्वांटम क्रमांक यादृच्छिक संख्या जनरेटर विकते.

आणि त्यांची किंमत सुमारे हजार डॉलर्स आहे आणि जर तुम्ही हा qantas वाचू शकत असाल तर हे उत्पादनाचे नाव आहे एक यादृच्छिक संख्या जनरेटर आहे जे प्राथमिक क्वांटम ऑप्टिक्स प्रक्रियेचे शोषण करते फोटॉन्स एकामागून एक अर्धपारदर्शक आरशावर पाठवले जातात आणि विशिष्ट घटनांचे प्रतिबिंब किंवा प्रसारण शोधले जातात.

1997 मध्ये जेजे थॉमसन यांनी इलेक्ट्रॉनचा शोध लावला होता हे शून्य किंवा एक बिट मूल्यांशी संबंधित आहे आणि आता आपल्याला माहित आहे की इलेक्ट्रॉन वस्तुमान 10 दशांश स्थानांपर्यंत अचूकतेच्या प्रचंड प्रमाणात ज्ञात आहे आणि इलेक्ट्रॉनचा चार्ज देखील प्रचंड प्रमाणात अचूकतेसाठी ओळखला जातो.

ते विद्युत क्षेत्र किंवा चुंबकीय क्षेत्राद्वारे वाकले जाऊ शकते

त्यामुळे आपल्या मनाच्या मागील बाजूस आम्हाला असे वाटते की तो एक निश्चित वस्तुमान आणि निश्चित चार्ज असलेला एक छोटा कण आहे लुईस डी ब्रॉग्लीने 1923 च्या आसपास लिहिले होते की मला खात्री होती की आइन्स्टाईनने शोधलेल्या लहरी कण द्वैत आइन्स्टाईनने तरंग कण द्वैत शोधून काढले कारण त्यांनी रेडिएशनचे कॉर्पस्कुलर स्वरूप समोर ठेवले होते.

एक इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह म्हणून ओळखले जाते म्हणून मला खात्री पटली की आइन्स्टाईनने त्याच्या प्रकाश क्वांट्याच्या सिद्धांतामध्ये शोधलेल्या लहरी कणांचे द्वैत पूर्णपणे सामान्य होते आणि ते इलेक्ट्रॉन प्रोटॉन किंवा इतर कोणत्याही पर्यंत विस्तारित होते म्हणून त्यांनी सांगितले की फोटॉनची गती याद्वारे दिली जाते.

आइन्स्टाईनने पुढे मांडले

त्यामुळे हे लॅम्बडाच्या h च्या बरोबरीचे आहे

त्यामुळे हा संबंध डी ब्रॉग्लीने इलेक्ट्रॉनसाठी वैध असावा असे सांगितले म्हणून त्याने असे भाकीत केले की p हे लॅम्बडा द्वारे h च्या बरोबरीचे आहे हे इलेक्ट्रॉनसाठी देखील वैध आहे आणि असे सांगून त्याने समर्थन केले या बोहर कक्षा आहेत हा प्रोटॉन केंद्रस्थानी बसलेला आहे आणि या वेगळ्या बोहर कक्षा आहेत कारण आपणा सर्वांना माहित आहे की बोहर कक्षाशी संबंधित आहे o mvr कोनीय संवेग जो h चा दोन pi n चा अविभाज्य गुणाकार आहे तो एक दोन तीन चार h हा प्लँक स्थिरांक आहे आणि दोन pi ने भागल्यास याचा अर्थ असा होतो की जर मी या बाजूने दोन pi घेतले तर दोन pi r बरोबर nh बाय mv आणि mv हा संवेग आहे

त्यामुळे nh बाय p जे p च्या बरोबर आहे डीप ब्रॉग्ली नुसार तरंगलांबी आहे म्हणून तो म्हणाला की जर मी गृहीत धरले की लॅम्बडा हा संबंध h बाय p च्या बरोबरीचा आहे जसे आइन्स्टाईनने फोटॉनसाठी सुचवले होते म्हणून तो म्हणाला जर ते इलेक्ट्रॉनसाठी वैध असेल तर प्रत्येक बोहर कक्षामध्ये सम संख्येच्या तरंगलांबी असतील म्हणून त्यांनी या विश्लेषणाद्वारे डी ब्रॉग्ली तरंगलांबी या अभिव्यक्तीला समर्थन दिले आणि म्हणून त्यांनी 1923 मध्ये त्यांचा डॉक्टरेट प्रबंध असे म्हटले की लॅम्बडा h बरोबर p आहे.

केवळ फोटॉनसाठी वैध नाही तर इलेक्ट्रॉन प्रोटॉन आणि फोटॉनसाठी देखील वैध आहे आणि हा विवर्तन पॅटर्न आहे हे थॉमसन आणि इतरांनी 1927 मध्ये केलेले प्रयोग होते जे क्ष-किरण आणि एल द्वारे उत्पादित अॅल्युमिनियमचे विवर्तन पॅटर्न होते.

इक्टॉन्स

त्यामुळे दोघांमध्ये कमालीचे साम्य आहे यावरून असे दिसून येते की जे काही इलेक्ट्रॉन आहे ते फोटॉन सारखेच आहे

त्यामुळे इलेक्ट्रॉननेही निसर्गाप्रमाणे तरंग 9 प्रदर्शित केले

त्यामुळे डीप ब्रॉग्ली यांना इलेक्ट्रॉनच्या लहरी स्वरूपाच्या शोधासाठी 1927 चा भौतिकशास्त्रातील नोबेल पारितोषिक मिळाले.

आणि जसे तुम्ही de broglie हे समीकरण ब्लॉकबोर्डवर लिहिताना बघू शकता lambda is equal to h by mv

त्यामुळे प्रश्न उद्भवतो की इलेक्ट्रॉन आहे की प्रोटॉन एक लहर आहे की कण हा मूलभूत प्रश्न आहे योग्य उत्तर म्हणजे तो कण नाही किंवा लाट नाही तर क्वांटम सिद्धांत म्हणजे काय ते वेव्ह फंक्शन psi द्वारे वर्णन करते आणि हे psi काय आहे हे psi हे गुंतागुंतीच्या समीकरणाचे समाधान आहे मी तपशीलात जाणार नाही परंतु मी फक्त या समीकरणाच्या उपायांचे थोडक्यात वर्णन करेन परंतु कुठे आम्हाला ते समीकरण मिळाले आहे का रिचर्ड फेनमन यांच्याकडून जे सर्व काळातील महान भौतिकशास्त्रज्ञ मानले जातात ते म्हणतात की आम्हाला ते समीकरण कोठून मिळाले? t की उत्तरातील श्रीडिंगर समीकरण कोठेही नाही ते तुम्हाला माहित असलेल्या कोणत्याही गोष्टीवरून काढणे शक्य नाही आणि एखाद्याने असे म्हटले आहे की ते अनोळखी व्यक्तीच्या मनातून आले आहे म्हणून इलेक्ट्रॉन किंवा प्रोटॉन किंवा न्यूट्रॉन यांचे वेव्ह फंक्शन psi द्वारे वर्णन केले जाते.

या बाजूने हे एका गुंतागुंतीच्या समीकरणाचे समाधान आहे आणि ते काढता येत नाही पण हे समीकरण सोडवून तुम्ही जे समाधान मिळवले आहे ते प्रयोगाशी अगदी बरोबर आहे कारण मी थोडक्यात हे दाखवण्याचा प्रयत्न करेन की श्रीडिंगरला या शोधाबद्दल 1933 चा भौतिकशास्त्रातील नोबेल पारितोषिक मिळाले.

अणुसिद्धांताच्या नवीन उत्पादक स्वरूपाबद्दल प्रत्यक्षात त्याने डिराकबरोबर नोबेल पारितोषिक सामायिक केले आणि त्याच्या थडग्यावर प्रसिद्ध श्रिंगर समीकरण लिहिले आहे म्हणून हे श्रेडिंगर समीकरणाचे समाधान आहे इलेक्ट्रॉन किंवा प्रोटॉन किंवा न्यूट्रॉनसारखे मुक्त कण वेव्ह पॅकेट म्हणून इलेक्ट्रॉन येथे कुठेतरी स्थानिकीकृत आहे आणि ते हलवताना वेव्ह पॅकेट हलते आणि ते वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सीच्या लहरींचे सुपरपोजिशन आहे म्हणून जर किंवा भिन्न संवेग आणि म्हणून जर तुम्ही विश्लेषण काळजीपूर्वक केले तर जर एखादा कण डेल्टा  $x$  च्या अंतरावर स्थानिकीकृत असेल तर तो अनिवार्यपणे लहरींचा एक सुपरपोजिशन असेल ज्याचा संवेग प्रसार डेल्टा  $p$  आहे जसे की डेल्टा  $x$  डेल्टा  $p$  हा क्रम आहे  $h$  क्रॉस हे हायझेनबर्ग अनिश्चिततेचे तत्व आहे त्यामुळे हायझेनबर्ग अनिश्चिततेचे तत्व हे श्रेडिंगर समीकरणाच्या सोल्युशनमध्ये समाविष्ट आहे म्हणून समजू या की माझ्याकडे हा इलेक्ट्रॉन

एखाद्या संभाव्य अडथळ्यावर  $a$  वर पडत आहे तर मला माहित आहे की ते अंशतः परावर्तित झाले आहे आणि अंशतः प्रसारित झाले आहे.

जसे की मी फोटॉन्सवर केलेला बीम स्प्लिट केलेला प्रयोग फोटॉनमध्ये प्रकाश किरण येतो तो परावर्तित तसेच प्रसारित होतो त्यामुळे क्वांटम सिद्धांतानुसार इलेक्ट्रॉन इथे तसेच तिथे आहे आणि जर तुम्ही मोजमाप केले तर ते एकतर येथे आहे किंवा तेथे म्हणजे इलेक्ट्रॉन मापन करण्यापूर्वी क्वांटम मेकॅनिक्सची सर्वात मूलभूत संकल्पना आहे आणि येथे आहे आणि हा मा  $y$  1000 किलोमीटर अंतरावर असेल तर ते एका वेव्ह फंक्शनद्वारे वर्णन केले आहे जे येथे मर्यादित आहे आणि तेथे मर्यादित आहे म्हणून ते येथे सापडण्याची किंवा ते येथे सापडण्याची एक निश्चित संभाव्यता आहे परंतु जेव्हा तुम्ही मोजमाप करता तेव्हा ते येथे किंवा तेथे असते बीम स्प्लिटर प्रयोगात तुम्ही प्रकाशाच्या नाडीद्वारे फोटॉनचे प्रतिनिधित्व करता ते बीम स्प्लिटरवर घडलेले असते त्यानंतर आंशिक परावर्तन आणि आंशिक ट्रान्समिशन असते

त्यामुळे फोटॉन येथे तसेच येथे आहे आणि हे लाखो किलोमीटर अंतरावर असू शकते परंतु जर माझ्याकडे असेल तर एक डिटेक्टर नंतर तो एकतर येथे शोधला जातो किंवा तेथे आढळतो म्हणून मी असे सांगून निष्कर्ष काढतो की जर माझ्याकडे इलेक्ट्रॉन बीम किंवा प्रोटॉन बीम किंवा फोटॉन बीम असेल तर वेव्ह थिअरी असे भाकीत करते की स्लिटवर बीम इलेक्ट्रॉन्स का आहे हे विवर्तन आहे.

रुंदीच्या एका स्लिटवर घडलेल्या घटना आहेत  $b$  लाट विवर्तनातून जात आहे आणि तीव्रतेचे वितरण साइन स्केअर बीटा बाय बीटा स्केअर क्वांटम सिद्धांत आहे जे स्क्रोडिंगर समीकरणाचे समाधान आहे  $n$  या विशिष्ट समस्येसाठी असे भाकीत केले आहे की स्लिट  $x$  दिशेत एक संवेग देते  $x$  दिशा ही उभी दिशा आहे आणि संवेगाचा  $x$  घटक  $p_x$  आणि  $p_x$  प्लस  $dp_x$  दरम्यान असण्याची संभाव्यता तीव्रतेच्या वितरणासारखीच आहे

त्यामुळे कुठे हा संवेग त्यातून येतो तो स्लिटमधून येतो आणि स्लिट मागे पडतो आणि इलेक्ट्रॉन विवर्तनातून जातो स्लिटची रुंदी जितकी मोठी असते तो संवेग महत्त्वाचा असतो आणि तो स्क्रोडिंगर समीकरणाच्या सोल्युशनमधून येतो त्याचप्रमाणे मी करू शकतो.

दुहेरी स्लिट प्रयोग हस्तक्षेप प्रयोग म्हणून जेव्हा माझ्याकडे इलेक्ट्रॉन गन दोन छिद्रांवर पडते तेव्हा इलेक्ट्रॉनचे वर्णन एका वेव्ह फंक्शनद्वारे केले जाते जे येथे तसेच तेथे देखील असते म्हणून जर एक छिद्र उघडले असेल तर तुम्हाला यासारखे तीव्रतेचे वितरण मिळेल तुम्ही अशी अपेक्षा केली पाहिजे की जेव्हा दोन्ही छिद्रे उघडे असतात तेव्हा घटना वितरण  $p$  एक अधिक  $p$  दोन असावे कारण इलेक्ट्रॉन आहेत लहान कण जे एकतर पूर्ण क्रमांक एक किंवा पूर्ण क्रमांक दोनमधून जातात परंतु जेव्हा तुम्ही प्रयोग करता तेव्हा तुम्हाला एक हस्तक्षेप पॅटर्न मिळतो आणि ते फक्त तेव्हाच स्पष्ट केले जाऊ शकते जेव्हा इलेक्ट्रॉन किंवा प्रोटॉन किंवा फोटॉन एकाच वेळी दोन्ही स्लिट्समधून जातात.

इलेक्ट्रॉनचे विभाजन नाही तर इलेक्ट्रॉनचे वर्णन एका वेव्ह फंक्शन  $\psi$  द्वारे केले जाते जे येथे तसेच येथे देखील आहे, म्हणून हा प्रयोग भौतिकशास्त्रातील सर्वात सुंदर प्रयोग मानला जातो, जर तुम्ही 10 इलेक्ट्रॉन्ससह हा प्रयोग केला तर.

10 स्पॉट्स क्वांटम सिद्धांत आपल्याला संभाव्यता देते परंतु जर तुम्ही हा प्रयोग 70000 इलेक्ट्रॉन्ससह केला असेल तर हळूहळू हस्तक्षेप पॅटर्न विकसित होईल म्हणून हे प्रयोग कार्बन साठ रेषांद्वारे देखील केले गेले आहेत म्हणून आता उपलब्ध सर्वात मूलभूत सिद्धांत संभाव्य स्वरूपाचा आहे आणि निर्धारक नाही.

हा डेव्हिड बोहम आहे जो सर्व काळातील सर्वोत्तम क्वांटम भौतिकशास्त्रज्ञांपैकी एक मानला जातो म्हणून हा संदर्भ आहे दुसरा संदर्भ म्हणजे हे माझे स्वतःचे प्रकाशशास्त्रावरील पुस्तक आहे ज्यात मी आज चर्चा केलेल्या सर्व प्रयोगांची चर्चा केली आहे आणि माझ्या शेवटच्या व्याख्यानात पण हे फेनमॅनचे भौतिकशास्त्र खंड 3 वरील व्याख्यान देखील आहे जे मी तुम्हा सर्वांना वाचण्याचा सल्ला देईन.

तुमचे खूप खूप आभार