प्रकाश क्या है?

बैरी आर मास्टर्स; अनुवादक: केहर सिंह व फूल सिंह

इतना सरल: प्रकाश होने दो! और फिर भी इतना जटिल। वास्तव में, प्रकाश क्या है?

"और *ईश्वर* ने कहा, '*प्रकाश होने दो*', और प्रकाश *हो गया*।"
उत्पत्ति 1:3

"मेरे *शेष* जीवन *में चिंतन करूँगा कि* प्रकाश *है क्या।*"
अल्बर्ट आइंस्टीन, 1917

"*पचास वर्ष का सचेत चिंतन भी मुझे इस प्रश्न के उत्तर के करीब नहीं ला पाया है कि प्रकाश* क्वांटा क्या हैं? *निस्सन्देह प्रत्येक धूर्त* आज *यह* सोचता है *कि वह उत्तर जानता है,* लेकिन वह *स्वयं भ्रमित* है।"
अल्बर्ट आइंस्टीन, 1951

उत्तरी प्रकाश, क्षितिजर96 (स्वयं का कार्य) द्वारा [सीसी द्वारा एसए 3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], विकिमीडिया कॉमन्स के माध्यम से।

नेत्र एक प्रकाशाणु संसूचक है। वुडवॉकर (स्वयं का कार्य) [सीसी द्वारा 3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0)], विकिमीडिया कॉमन्स के माध्यम से ।

प्रकाश जीवन का आधार है क्योंकि यह हमारे भोजन में ऊर्जा का परम स्रोत है। प्रकाश अभिन्न अंग है- धर्म के लिए, सृजन की कहानियों के लिए, कविता के लिए, साहित्य के लिए, भाषा के लिए, और संस्कृति के लिए। प्रकाश वायुमंडलीय सौंदर्य है जैसा कि सूर्योदय और सूर्यास्त में, इंद्रधनुष में, उत्तर ध्रुवीय प्रकाश में, और दक्षिण ध्रुवीय प्रकाश में। प्रकाश दृष्टि के लिए एक पूर्वापेक्षा है; वास्तव में, यूनानी और अरब दार्शनिकों के समय से ही प्रकाश और दृष्टि के सिद्धांत का इतिहास बड़ा ही अंतर्निहित रहा है। दृष्टि को प्रकाश की आवश्यकता है और प्रकाशीय युक्तियाँ जैसे चश्मा, संस्पर्श ताल, और लेजर अपवर्तक शल्य-चिकित्सा के द्वारा दृश्य तीक्ष्णता में सुधार कर सकते हैं। प्रकाश नेत्र रोगों की पहचान और उपचार कर सकता है। परमाणुओं या अणुओं में प्रकाश और इलेक्ट्रॉनों की परस्पर सहभागिता से ही प्रकाश की पहचान होती है। यह हमारे दृष्टिपटल में प्रकाशग्राही तथा हमारे कैमरे में अर्धचालक संसूचक तत्वों के लिए भी सत्य है।

रंग हमारे पर्यावरण को समृद्ध, सभी स्थानो के लोगों को उत्तेजित और प्रसन्न करते हैं, तथा हमारे घरों, हमारे नगरों, और हमारे जीवन में सौंदर्य लाते हैं। सूर्य का प्रकाश, चांदनी, और तारों का प्रकाश पृथ्वी के सभी लोगों को लाभान्वित करते हैं तथा उनके जीवन में सुंदरता और आश्चर्य लाते हैं। प्रकाश हमारी आधुनिक संसार की नींव है; इसका उत्पादन, परिचालन, संचरण और संसूचन; हमारे संचार, विनिर्माण, चिकित्सा उपकरणों, सार्वजनिक कला, प्रकाश प्रदर्शनी, जैव प्रौद्योगिकी उपकरणों, शैक्षिक कार्यक्रमों तथा प्रयोगशाला उपकरणों में विज्ञान और प्रौद्योगिकी की उन्नति के अभिन्न अंग हैं। प्रकाश इस ब्रह्मांड के निर्माण, तारों की प्रकाश-भौतिक प्रक्रियाओ तथा ब्रह्मांड के भौतिक नियमो की सार्वभौमिक प्रकृति की जानकारी का स्रोत है। प्रकाश ने स्पेक्ट्रमिकी उपकरण के माध्यम से हमें अणुओं और परमाणुओं की सैद्धांतिक और प्रयोगात्मक संरचना का ज्ञान कराया। प्रकाश और उसकी पदार्थ के साथ परस्पर सहभागिता से क्वांटम यांत्रिकी का आविष्कार और विकास हुआ है। प्रकाश कवियों, दार्शनिकों (पांचवीं सदी ईसा पूर्व), कलाकारों, वैज्ञानिकों और अभियन्ताओं के मस्तिष्कों में छाया रहा है। वर्तमान में, प्रकाश असंबद्ध लोगों, संस्कृतियों, और राष्ट्रो को एक मानव परिवार के रूप में जोड़ता है । प्रकाश हमें मोहित, प्रोत्साहित और संयोजित करता है। बच्चे आश्चर्यचकित होते है कि कैसे सूर्य का प्रकाश एक आवर्धक ताल द्वारा केंद्रित होकर अग्नि उत्पन करता है। लोग स्तब्ध होते हैं जब वे एक दूरदर्शक या एक सूक्ष्मदर्शी में सूक्ष्म जगत और वृहत् जगत देखते हैं।

ऐतिहासिक रूप से, प्रकाश को एक तरंग के रूप में, एक क्वांटम कण के रूप में, और एक क्वांटम क्षेत्र के रूप में समझा जा सकता है। जटिल? हाँ! वास्तव में, प्रश्न कि, "प्रकाश क्या है?" प्राय: इस प्रश्न में बदल दिया जाता है कि "प्रकाश कैसे व्यवहार करता है?" विशेष रूप से, प्रश्न कि "प्रकाश क्या है?" प्राय: इस प्रश्न कि "प्रकाश कैसे पदार्थ के साथ संचरण और सहभागिता करता है?" में बदल दिया जाता है। इस निबंध में, मैं 20 वीं सदी के प्रारंभ में तरंग-कण द्वैतवाद और प्रकाश-पदार्थ की परस्पर सहभागिता सिद्धांतों के कुछ मुख्य वैचारिक मूलों की ओर संकेत करूँगा।

मैं प्रकाश की प्रकृति और इसका पदार्थ के साथ परस्पर सहभागिता के बारे में हमारी समझ पर अल्बर्ट आइंस्टीन के मौलिक योगदान पर चर्चा करूँगा। आइंस्टीन के सापेक्षता के सिद्धांतो और उनकी प्रयोगात्मक पुष्टि ने उन्हे संसार भर में लोकप्रिय बनाया; तथापि, प्रकाशिकी के क्षेत्र में उनके योगदान ने प्रकाश के बारे में हमारी समझ को बदल दिया, साथ ही हमारी परिचालन की क्षमता से इसे विस्तृत क्षेत्रों के अनुप्रयोगों जैसे औषधि, दूरसंचार, फोटोनिक्स, और बोस-आइंस्टीन घनीभूत के माध्यम से मौलिक भौतिकी पर प्रयोगात्मक शोध में उपयोग किया । उनके उद्दीपित

बैरी आर मास्टर्स के इस लेख में वर्णित संदर्भों की सूची http://e-ico.org/node/284 पर पाई जा सकती हैं|

वाम: 1865 में लॉर्ड रॉस द्वारा बिर कैसल दूरदर्शक (1.8 मीटर प्रतिबिंबित दूरदर्शक) से देखा गया भँवर आकाशगंगा का रेखाचित्र। किट पीक राष्ट्रीय बेधशाला के 0.9 मीटर दूरदर्शक से एक भूमि आधारित छवि तथा हबल अंतरिक्ष दूरबीन से अंतरिक्ष आधारित छवि का अंकीय छवि संयोजन - 2005 नासा / ईएसए (मध्य) और अवरक्त धूल में आकाशगंगा (दाएं) ।

उत्सर्जन कार्य ने लेजर- एक युक्ति जो हमारी दुनिया बदल रही है, के विकास में योगदान दिया। आइंस्टीन के, प्रकाश पर प्रकाशित लेखो ने लुई डी ब्रॉग्ली और इरविन श्रोईडिंगर दोनों को प्रभावित किया और "तरंग यांत्रिकी" के आविष्कार में नेतृत्व किया। आइंस्टीन ने अंतरिक्ष में विकिरण के संचरण और विकिरण-पदार्थ के परस्पर सहभागिता के बीच की खाई को पाटा। वर्ष 1905 और 1916 के अंतराल में, आइंस्टीन ने प्रकाश और पदार्थ के बीच की सहभागिता को प्रकाश क्वांटा के अवशोषण और उत्सर्जन के द्वारा समझाया, जिसने कई भौतिक प्रक्रियाओ की व्याख्या की जैसे स्टोक्स' का प्रतिदीप्ति का नियम, पराबैंगनी प्रकाश द्वारा गैसों का आयनन, और प्रकाश-विद्युत प्रभाव। प्रकाश-विद्युत प्रभाव में एक देहली आवृत्ति से एक धातु की सतह पर विकिरण आपतित होने पर इलेक्ट्रॉन निकलते हैं; यह सिद्धांत प्रकाश संसूचको जैसे प्रकाश- इलेक्ट्रॉन-संवर्धक नलिका में, सन्निहित है। आइंस्टीन की प्रेरित या उद्दीपित उत्सर्जन परिकल्पना, लेजर संचालन का आधार है।

प्रकाश - पदार्थ की परस्पर सहभागिता पर आरंभिक प्रयोग

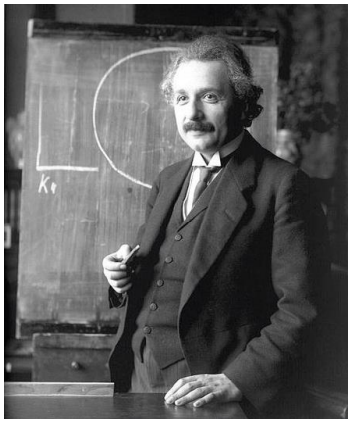
आइंस्टीन के कार्य से पूर्ववृत्त प्रकाश - पदार्थ की परस्पर सहभागिता का अध्ययन करना रोचक और शिक्षाप्रद दोनों ही है। 1887 में, हेनरिक हर्ट्ज- जिन्होने विद्युत चुम्बकीय तरंगों को उत्पन्न किया, संसूचन किया, तथा संचरण की विशेषताओं को बताया- ने अवलोकन किया कि पराबैंगनी प्रकाश जब विद्युत चुम्बकीय तरंगों की चिंगारी-अंतराल अनुनादक पर आपतित होती है तो वह उनकी चिंगारी पैदा करने की कार्यक्षमता को बढ़ाता है। उनके सहायक, विल्हेम हल्लवाक्स ने 1888 में इसकी पुष्टि की और विस्तार से अवलोकन किया जब उन्होने यह दर्शाया कि पराबैंगनी विकिरण के कारण तटस्थ धातुओं में एक सकारात्मक आवेश प्राप्त होता है। 1899 में, जोसेफ जे थॉमसन ने एक क्रूक्स नलिका के अंदर एक धातु पट से "कणिका " [इलेक्ट्रॉनों] के उत्पादन में पराबैंगनी विकिरण के प्रभाव का अध्ययन किया। थॉमसन ने पट से एक धारा मापी जो आवृत्ति और विकिरण की तीव्रता के साथ बढ़ती है। वह पहले व्यक्ति थे जिन्होने एक प्रकाशित लेख में लिखा कि पराबैंगनी प्रकाश द्वारा प्रेरित प्रकाश-विद्युत-प्रभाव के परिणाम से इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन होता है। 1902 में, फिलिप लेनार्ड जो कील विश्वविद्यालय में काम कर रहे थे, ने प्रदर्शित किया कि एक कार्बन चाप दीप से निम्न तरंगदैर्ध्य के विकिरण का धातु की सतह पर आपतित होने के कारण इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन होता है। प्रकाश की तीव्रता से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की संख्या बढ़ जाती है न कि उनकी गतिज ऊर्जा की, और एक विशिष्ट आवृत्ति के विकिरण के नीचे कोई भी इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होते। लेनार्ड ने ये भी अवलोकन किया कि उत्सर्जित इलेक्ट्रानों की अधिकतम गतिज ऊर्जा, आपतित विकिरण की तीव्रता से प्रभावित नही होती है, परंतु यह बढ़ती आवृत्ति के आपतित विकिरण के साथ बढ़ जाती है; उन्होने एक एल्यूमीनियम पट पर पराबैंगनी प्रकाश के तीन विभिन्न आवृत्ति के प्रभाव से इलेक्ट्रॉनों के उत्सर्जन को मापा।

आइंस्टीन का प्रकाश क्वांटम

1905 में, आइंस्टीन के एक अभूतपूर्व लेख- "प्रकाश के उत्पादन और परिवर्तन पर एक अनुमानित दृष्टिकोण"- प्रकाशित किया जिसमें उन्होंने बोल्ट्जमान के सांख्यिकीय ऊष्मप्रवैगिकी से निगमन किया कि विकिरण की एन्ट्रापी, वीन के वितरण नियम द्वारा वर्णित गैस के प्राथमिक कणों की एन्ट्रापी या ऊर्जा के क्वांटा, एक ही रूप में है, साथ ही प्रत्येक क्वांटम अनुरूप तरंग की आवृत्ति के आनुपातिक है। आइंस्टीन ने लिखा: "निम्न घनत्व का एकवर्णी विकिरण (वीन के कृष्णिका के विकिरण के सूत्र की सीमा में $[h\nu/kT \ll 1$ के लिए मान्य]) ऊष्मप्रवैगिकी के अर्थ में इस प्रकार का व्यवहार करता है जैसे यह परस्पर स्वतंत्र विकिरण क्वांटा $[h\nu]$ से बना हो," यहाँ प्रतीक h प्लैंक स्थिरांक, k बोल्ट्जमान स्थिरांक तथा T केल्विन तापमान, और ν प्रकाश की आवृत्ति है। इसके अतिरिक्त: "जब एक प्रकाश की किरण एक बिंदु स्रोत से बाहर फैलती है, ऊर्जा इस बढ़े हुए आयाम में निरंतर वितरित नहीं होती है, बल्कि एक सीमित संख्या के ऊर्जा क्वांटा से बनी होती हैं जो अधर के स्थानीय बिंदुओं पर विभाजन के बिना एवम् पूरी इकाई की तरह अवशोषित या उत्पन्न हो सकते हैं।" आइंस्टीन ने वैकल्पिक शब्दों ऊर्जा क्वांटम (Energiequant) और प्रकाश क्वांटम (Lichtquant) का प्रयोग किया है। इस असंतत ऊर्जा संचरण विकिरण की अवधारणा से मैक्सवैल के निरंतर तरंग विद्युत चुम्बकीय विकिरण सिद्धांत का खण्डन हुआ। एक दशक बाद, 1916 में, आइंस्टीन ने संवेग $p = h\nu$ और प्रकाश क्वांटम के शून्य विराम द्रव्यमान पर उनके प्रकाशित लेख: "क्वांटम सिद्धांत में विकिरण का उत्सर्जन और अवशोषण", में चर्चा की। *Deutsche Physikalische Gesellschaft. Verhandlungen* **18**, 318.

प्रकाशाणु

अमेरिकी भौतिकी रसायनज्ञ गिल्बर्ट एन लुईस ने प्रकाशाणु का नाम 1926 में नेचर पत्रिका में प्रकाशित एक लेख में दिया। "यह अनुचित प्रतीत होता है कि प्रकाश को इनमें से एक काल्पनिक सत्व- एक कण, प्रकाश की कणिका, एक प्रकाश क्वांटम, या प्रकाश क्वांट के रूप में मानते हैं, यदि ये मान लिया जाए की यह अपने अस्तितव की अल्पावधि ही विकिरण ऊर्जा के संवाहक के तौर पर व्यतीत करता है, जबकि शेष समय यह परमाणु के भीतर एक महत्वपूर्ण संरचनात्मक तत्व के रूप में रहता है... इसलिए मैं इस काल्पनिक नए परमाणु के लिए, जो प्रकाश नहीं है, लेकिन हर विकिरण प्रक्रिया में एक आवश्यक भूमिका निभाता है, प्रकाशाणु नाम प्रस्तावित करने को स्वतंत्र हूँ।" 1926 में, लुईस द्वारा प्रस्तावित "प्रकाशाणु" के बाद, कई भौतिकविदों ने इसे आइंस्टीन के प्रकाश क्वांटम के नाम से अपनाया। यद्यपि, लुईस की प्रकाशाणु की अवधारणा आइंस्टीन से पूरी तरह से अलग थी। जैसे कि एच क्रेघ ने अनवेषण किया, प्रकाशाणु का नाम कम से कम चार वैज्ञानिकों ने 1926 से पहले ही प्रस्तावित किया था। लुईस के प्रकाशाणु का नाम ही केवल अवशेष के रूप में वैध रहा। इसके अतिरिक्त ऐतिहासिक अंतर्दृष्टि, लैम्ब के 1995 के प्रकाशित लेख, "विरोधी प्रकाशाणु" में पाए जाते हैं।



1921 में अल्बर्ट आइंस्टीन
F Schmutzer द्वारा [सार्वजनिक क्षेत्र], विकिमीडिया कॉमन्स के माध्यम से।

वियोजित की हुई प्रथम रूबी लेजर।

आइंस्टीन के प्रकाश क्वांटम की परिकल्पना प्रकाश-विद्युत प्रभाव का प्रतिपादन करते हैं

आइंस्टीन ने अपनी प्रकाश क्वांटम की अवधारणा से प्रकाश-विद्युत प्रभाव को समझाया जिसकी व्याख्या मैक्सवैल के तरंग सिद्धांत नहीं कर सके थे। आइंस्टीन ने लिखा: "यदि एकवर्णी विकिरण व्यवहार करता है ... जैसे विकिरण मानो ऊर्जा क्वांटा $h\nu$ माप से मिलकर बना एक असंतत माध्यम है, तब यह जांचना उचित लगता है कि क्या प्रकाश के उत्सर्जन नियमों तथा परिवर्तन के नियमों की रचना ऐसे हुई कि जैसे प्रकाश उस ऊर्जा क्वांटा से बना हो।" आइंस्टीन ने माना की प्रकाश, उनके माने हुए क्वांटम के उत्सर्जन या अवशोषण के द्वारा पदार्थ के साथ परस्पर सहभागिता करता है, और उन्होने इस विस्मयकारक घटना के लिए एक नई व्यवस्था मान ली। आइंस्टीन ने अपने प्रकाश-विद्युत प्रभाव के सिद्धांत को निम्न प्रकार से वर्णित किया- प्रकाश क्वांटा पदार्थ की सतह में प्रवेश करते हैं, तथा उनकी ऊर्जा इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है, एक प्रकाश क्वांटम अपनी पूरी ऊर्जा एक इलेक्ट्रॉन को हस्तांतरित कर देता है। उन्होंने लिखा: "एक इलेक्ट्रॉन जिस समय तक सतह पर पहुँचता है, वह पिंड के अंदर अपनी गतिज ऊर्जा का एक हिस्सा खो देता है" इसके अतिरिक्त, उन्होंने माना कि धातु की सतह के इलेक्ट्रॉन का आकर्षण बल- जो सामग्री को पकड़ कर रखता है ताकि वह सतह को छोड़ न सके,- को कम करने के लिए कार्य φ (प्रत्येक पदार्थ का फलन, कार्य फलन कहलाता है) करना पड़ता है; ऐसे इलेक्ट्रानों की अधिकतम गतिज ऊर्जा $h\nu - \varphi$ है। आधुनिक संकेतन में: $eV = h\nu - \varphi$, जहां e इलेक्ट्रॉन का आवेश है और V सबसे तेज़ प्रकाशिक-इलेक्ट्रॉन को रोकने के लिए आवश्यक मंदक विभव है। यह क्वांटम सिद्धांत, विकिरण तथा पदार्थ के साथ परस्पर सहभागिता का पहला समीकरण है। आइंस्टीन के माने हुए प्रकाश-विद्युत प्रभाव की पुष्टि 1912 में हुई, जब आर्थर एल ह्यूजेस ने विभिन्न धातुओं के प्रकाशिक-इलेक्ट्रॉन का अधिकतम वेग मापा और आइंस्टीन के प्रकाश-विद्युत समीकरण को सत्यापित किया।

क्वांटम परिकल्पना की, विकिरण के अतिरिक्त भौतिक विज्ञान के क्षेत्र में, पहली पुष्टि 1907 में हुई, जब आइंस्टीन ने व्याख्या की और प्रदर्शित किया कि ऊर्जा का क्वांटीकरण संघनित पदार्थ पर किया जा सकता है। एक ठोस वस्तु को क्वानटाइज़्ड दोलित्र की जालक के रूप में मानकर आइंस्टीन ने ठोस वस्तु की विशिष्ट तपताओं की तापमान निर्भरता की विषमता की व्याख्या की (वे कम तापमान के साथ कम हो जाते हैं)। आइंस्टीन का सूत्र 1910 में वाल्थर नेर्नस्ट और उनके सहायक फ्रेडरिक ए लिनडमेन के प्रयोगात्मक परिणाम के साथ अच्छी सहमति में था।

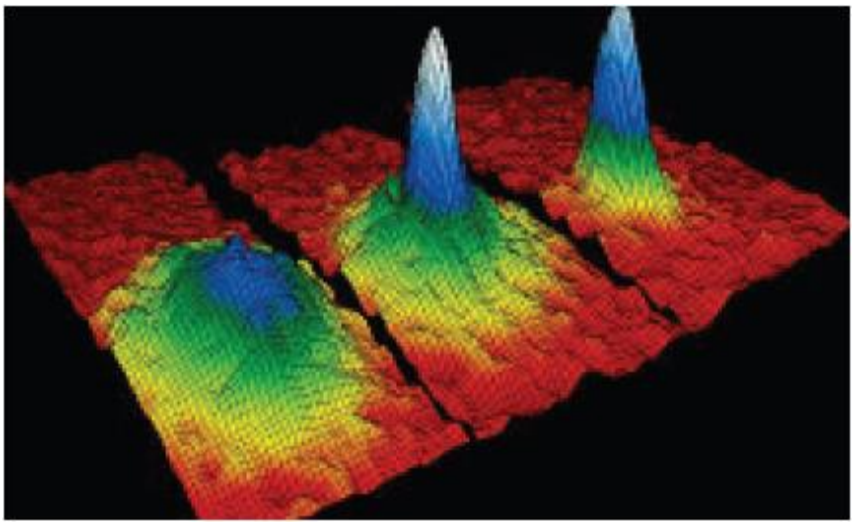
आइंस्टीन के 1922 भौतिकी नोबेल पुरस्कार में 1905 के उनके प्रकाश-विद्युत प्रभाव पर प्रकाशित लेख को उद्धृत किया: "उनकी सैद्धांतिक भौतिकी की सेवाओं के लिए, और विशेष रूप से प्रकाश-विद्युत के नियम के बारे में उनके अनवेषण के लिए"। जिस समय आइंस्टीन ने अपना प्रकाश-विद्युत प्रभाव का सिद्धांत विकसित किया, उस समय दुनिया के कई प्रसिद्ध भौतिकविद जैसे मैक्स प्लैंक, हेंड्रिक ए लोरेंत्ज़, मैक्स फॉन लाउ, विल्हेम वीन, तथा अर्नाल्ड सॉमरफैल्ड, उनके क्वांटम सिद्धांत को, स्वीकार नहीं कर सके क्योंकि वे प्रकाश के विवर्तन का संदर्भ देते थे, जो की प्रकाश की तरंग घटना के साथ तर्कसंगत था । प्लैंक और लोरेंत्ज़ दोनों ने माना की विकिरण पदार्थ के साथ क्वानटाइज़्ड प्रक्रिया में सहभागिता करता है, लेकिन यह अवधारणा कि प्रत्येक प्रकाश क्वांटा का तरंग के रूप में संचरण होता हैं, को अस्वीकार कर दिया। एक उल्लेखनीय अपवाद जोहानेस स्टार्क थे जिन्होने 1909 में स्थानीयकृत ऊर्जा क्वांटा को एक्स-रे के क्षेत्र में प्रस्तावित किया, और उन्होने आइंस्टीन की प्रकाश क्वांटम परिकल्पना का भी समर्थन किया। आइंस्टीन ने स्वयं साधित किया कि उनकी परिकल्पना को प्रायोगिक सत्यापन या अस्वीकृति की आवश्यकता थी, तथा 1911 की सोल्वे कांग्रेस में उन्होंने कहा: "मैं इस अवधारणा [प्रकाश-क्वांटा] के अस्थाई प्रकृति पर जोर देता हूँ"। 1921 में, मौरिस डी ब्रॉग्ली ने ब्रसेल्स में तीसरे सोल्वे सम्मेलन में प्रतिवेदित किया कि पदार्थ पर एक्स-रे के प्रभाव के उनके विश्लेषण करने पर और इसके पश्चात इलेक्ट्रॉनों के उत्सर्जन की व्याख्या की जा सकती है यदि माना जाए कि एक्स-रे की ऊर्जा $h\nu$ है। उनके भ्राता, लुई डी ब्रॉग्ली ने आइंस्टीन के प्रकाश से संबंधित प्रकाशित लेख पढ़े और आइंस्टीन की प्रकाश क्वांटा की अवधारणा से उन्होने "पदार्थ-तरंग" सिद्धांत निकाला। इरविन श्रोईडिंगर ने लुई डी ब्रॉग्ली के पूर्व स्रोतो से अपने "यांत्रिकी तरंग" का आविष्कार किया।

संशयवाद और उसके पश्चात आइंस्टीन के प्रकाश क्वांटा के लिए प्रयोगात्मक मान्यता

1916 में, राबर्ट मिल्लिकन ने लेनार्ड मिल्लिकन के पिछले प्रयोगों का विस्तार करते हुए आइंस्टीन के प्रकाश-विद्युत सिद्धांत का उच्च परिशुद्धिता के साथ प्रयोगात्मक सत्यापन किया। मिल्लिकन ने दर्शाया कि उत्सर्जित इलेक्ट्रानों की अधिकतम गतिज ऊर्जा आवृति के आनुपातिक है। उनका प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन वोल्टता निरोधी बनाम आपतित विकिरण की आवृत्ति का आलेख आइंस्टीन की अनुमानित रैखिक निर्भरता का अनुसरण करता था, तथा विभिन्न धातुओं के लिए h का मान प्लैंक के 1901 में प्रकाशित लेख की गणना के बराबर था। मिल्लिकन ने यह भी दर्शाया कि प्रकाशिक-इलेक्ट्रॉनों की संख्या विकिरण की तीव्रता के आनुपातिक है। फिर भी उन्होने आइंस्टीन के माने हुए प्रकाश क्वांटा को अस्वीकार कर दिया।

केवल 1923 के पश्चात ही जब आर्थर होली कॉम्पटन और स्वतंत्र रूप से पीटर डिबाई के इलेक्ट्रॉनों द्वारा एक्स-रे प्रकीर्णन पर प्रकाशित लेखो,- जो कि आइंस्टीन के प्रकाश क्वांटम की परिकल्पना पर आधारित थे,- भौतिकी समुदाय ने आइंस्टीन के प्रकाश क्वांटम को स्वीकार किया। कॉम्पटन ने हल्के तत्वों द्वारा एक्स-रे और गामा-रे विकिरण का अध्ययन किया। उनके 1923 के सिद्धांत ने दर्शाया कि प्रकीर्ण क्वांटम की ऊर्जा, आपतित क्वांटम की ऊर्जा की तुलना में कम है, तथा यह अंतर प्रवर्तित प्रकीर्णन इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा में वृद्धि के बराबर है । कॉम्पटन ने एक समीकरण दिया जिसमे प्रकीर्ण किरण की बढ़ी हुई तरंगदैर्ध्य और आपतित किरण तथा प्रकीर्ण किरण के बीच कोण θ में संबंध बताया। ν आवृत्ति का एक एक्स-रे क्वांटम m द्रव्यमान के एक इलेक्ट्रॉन से प्रकीर्ण होता है। प्रकीर्ण इलेक्ट्रॉन प्रारंभ में विराम की अवस्था में माना गया; विकिरण के क्वांटम की भिड़ंत के बाद इलेक्ट्रॉन प्रवर्तित होता है । तत्पश्चात उन्होने प्रकीर्णन प्रक्रिया के लिए ऊर्जा और संवेग के संरक्षण नियम को माना और एक्स-रे तरंगदैर्ध्य के परिवर्तन के लिए प्रकीर्णन का समीकरण निकाला:

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc}(1 - cos\theta)$$



बोस-आइंस्टीन घनीभूत। पदार्थ की एक नई अवस्था की अनवेषण की पुष्टि करते हुए, बोस- आइंस्टीन घनीभूत, रूबिडीयम परमाणुओं की एक गैस के वेग वितरण के आँकड़े (तीन दृष्टिकोणो में) ।
वाम: बोस आइंस्टीन घनीभूत के प्रकट होने से थोड़ा पहले। केंद्र: घनीभूत के प्रकट होने से थोड़ा बाद।
दाहिने: वाष्पीकरण के बाद, लगभग शुद्ध घनीभूत का एक नमूना छोड़ते हुए।
NIST/JILA/CU-Boulder (NIST छवि) के द्वारा [सार्वजनिक क्षेत्र], विकिमीडिया कॉमन्स के माध्यम से।

कॉम्पटन ने अपने सिद्धांत को एक परिशुद्धिता मापन की श्रृंखला द्वारा मान्य किया और लिखा: "प्रकीर्णन के सैद्धांतिक और प्रायोगिक मान के बीच अच्छी सहमति बड़ी ही चितग्राही है ... दो प्रकार के मानो के संयोजन के लिए एक भी समायोज्य स्थिरांक नहीं है"। उन्होंने पाया कि तरंगदैर्ध्य की वृद्धि, तरंगदैर्ध्य पर आधारित नहीं है। कॉम्पटन ने निष्कर्ष निकाला: "एक्स-रे का प्रकीर्णन एक क्वांटम घटना हैं"। इसके अतिरिक्त: "... सिद्धांत बहुत विश्वसनीय ढंग से दर्शाता है की एक विकिरण क्वांटम अपने साथ में निर्देशीत गति के साथ-साथ ऊर्जा भी संहित होते हैं"।

आइंस्टीन का प्रकाश के तरंग- कण द्वैत का सिद्धांत

प्रकाश के तरंग-कण द्वैत के उद्गम आइंस्टीन के 1909 में मील का पत्थर साबित हुए प्रकाशित लेख "विकिरण समस्या की वर्तमान स्थिति पर" जो ऊर्जा के उतार-चढ़ाव पर था, में पाए जाते हैं। आइंस्टीन ने ऊर्जा और संवेग के उतार-चढ़ाव की गणना अपने ब्राउनियन गति (1905) के विश्लेषण में की, तथा उन्होने इन विश्लेषणात्मक विधियों को कृष्णिका के विकिरण पर प्रयुक्त किया। उन्होंने अपने 1905 के यांत्रिकी प्रणालियों (ब्राउनियन कण) वाले उतार-चढ़ाव के सिद्धांत का सामान्यीकरण गैर-यांत्रिकी कृष्णिका के विकिरण पर किया । आइंस्टीन ने कृष्णिका के विकिरण जो एक तापमान T के समतापीय गुहा के आंशिक आयतन V में समाहित था, की ऊर्जा में उतार-चढ़ाव की जांच की। प्लैंक के कृष्णिका के वितरण नियम से आरंभ करके, उन्होने ऊर्जा के उतार-चढ़ाव का प्रसरण लिखा

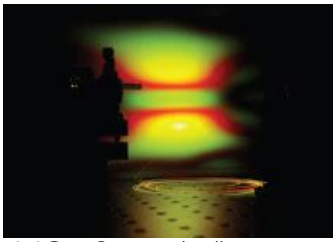
$$< (E-< E >)^2 >=< E > h\nu + \frac{c^3 < E >^2}{8\pi\nu^2 d\nu\, V}$$

जहां <> , सांख्यिकीय माध्य को, E, ν तथा $\nu + d\nu$ के बीच आवृत्ति की विकिरण ऊर्जा को, और c प्रकाश के निर्वात वेग को दर्शाता है। यह समीकरण आइंस्टीन के कृष्णिका के विकिरण के उतार-चढ़ाव के सूत्र के रूप में जाना जाता है। उन्होंने सांख्यिकीय यांत्रिक के विश्लेषण से तर्क दिया कि बराबरी संकेत के दाईं ओर से पहला पद विकिरण के क्वांटम गुणों को संदर्भित करता है। माध्य ऊर्जा में रेखीय यह पद, उच्च आवृत्ति सीमा जहाँ वीन का नियम वैध है, में पाया जाता है। आइंस्टीन ने निष्कर्ष निकाला की विकिरण, विशेष रूप से ऊर्जा के उतार-चढ़ाव, स्वतंत्र कणों यानी ऊर्जा $h\nu$ के प्रत्येक प्रकाश क्वांटा की गैस के अनुरूप है। उन्होंने आयामी विश्लेषण से तर्क दिया कि दूसरा पद जो माध्य ऊर्जा में द्विघात है, तरंगो के विवर्तन से है। इस पद को निम्न आवृत्ति विकिरण की सीमा में प्राप्त किया जाता है। आइंस्टीन ने कल्पना की कि गुहा के अंदर विकिरण कई सामान्य रूपो में विभिन्न आयामों, चरणों, तथा ध्रुवीकरण स्थितियो से बना है तथा वे कई दिशाओं में संचरण कर रहे हैं। उन्होंने माना कि गुहा के किसी भी आंशिक आयतन में उतार-चढ़ाव विभिन्न समतल तरंगो के बीच विवर्तन से उत्पन्न हो सकता है। आइंस्टीन ने 1909 में लिखा है: "... सैद्धांतिक भौतिकी का अगला चरण हमे एक सिद्धांत देगा जिससे प्रकाश की व्याख्या तरंग और उत्सर्जन सिद्धांत के एक प्रकार के विलय से की जाएगी... "|

आइंस्टीन के उद्दीपित उत्सर्जन का सिद्धांत

प्रकाश क्वांटम की कल्पना करने के नौ वर्ष पश्चात, आइंस्टीन प्रकाश–पदार्थ के परस्पर सहभागिता की समस्या, विशेष रूप से, परमाणुओं की ऊर्जा अवस्थाओं में परिवर्तन के बीच और इन प्रक्रियाओं में प्रकाश क्वांटा की भूमिका पर लौटे। 1916 में, उन्होने अपने मौलिक प्रकाशित लेख "क्वांटम सिद्धांत में विकिरण का उत्सर्जन और अवशोषण " में उद्दीपित या प्रोत्साहित उत्सर्जन की अभिधारणा की। यह लेख क्वांटम भौतिकी में एक संभाव्य दृष्टिकोण के प्रारंभ के लिए उल्लेखनीय है। इसमे उनके तथाकथित "ए और बी गुणांक", और उनके प्रोत्साहित उत्सर्जन या स्वत: उत्सर्जन की प्रक्रिया की पूर्वकथन निहित है । उस समय, परमाणुओं की ऊर्जा परिवर्तन में प्रकाश क्वांटा के अवशोषण और उत्सर्जन की मध्यस्थता की संकल्पना भौतिकी समुदाय द्वारा सामान्यतः स्वीकार्य नहीं थी। बोह्र के हाइड्रोजन परमाणु के सिद्धांत में प्रकाशाणु के विचार का उपयोग नहीं किया गया; वास्तव में, 1920 के दशक के प्रारंभिक वर्षो तक बोह्र उस संकल्पना को अस्वीकार करते रहे । ध्यान दें कि मैक्स प्लैंक-जो 1900 में क्वांटम सिद्धांत की स्थापना के लिए जाने जाते है, ने भी क्वांटीकरण को स्वीकार नहीं किया जबतक 1913 में बोह्र ने हाइड्रोजन के परमाणु ऊर्जा के स्तरो को क्वानटाइज़्ड नहीं किया ।

आइंस्टीन ने तर्क दिया की विकिरण क्षेत्र परमाणुओं में ऊर्जा की हानि या लाभ का कारण बन सकता है। उन्होंने एक प्रक्रिया जिसमे परमाणु कि ऊर्जा दो अवस्थायें- ऊपरी और निम्न- को माना तथा इन दोनो में परिवर्तन के साथ एक प्रकाशाणु की ऊर्जा का अवशोषण या उत्सर्जन होता है जिसकी ऊर्जा इन अवस्थाओं के अंतर के बराबर है। यदि एक परमाणु एक प्रकाशाणु को अवशोषित करता है तब उसकी इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा उस प्रकाशाणु की ऊर्जा से बढ़ जाएगी, और परमाणु एक उत्साहित ऊर्जा की अवस्था में हो जायेगा। एक परमाणु उत्साहित ऊर्जा अवस्था में स्वत: एक प्रकाशाणु का उत्सर्जन कर सकता है तथा अब निम्न इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा की अवस्था या ऊर्जा की मूल अवस्था में विद्यमान होगा। उत्सर्जित प्रकाशाणु की ऊर्जा उत्साहित और मूल इलेक्ट्रॉनिक अवस्थाओं के बीच की ऊर्जा के अंतर के बराबर है । एक परमाणु की उत्साहित अवस्था से स्वत: उत्सर्जन, आपतित विकिरण की अनुपस्थिति में हो सकता है। प्रोत्साहित, अथवा उद्दीपित उत्सर्जन में एक परमाणु उत्साहित अवस्था में, विद्युतचुम्बकीय क्षेत्र के साथ सहभागिता करता है जिसके कारण उत्साहित से निम्न ऊर्जा अवस्था में इलेक्ट्रॉनिक परिवर्तन होता है; दो अवस्थाओं के बीच ऊर्जा का अंतर विद्युतचुम्बकीय क्षेत्र को हस्तांतरित हो जाता है। इस प्रक्रिया में उत्पन्न प्रकाशाणु आवृत्ति, चरण, ध्रुवीकरण, तथा प्रकाशाणुओं के आपतित क्षेत्र की संचरण दिशा में समान होते है।



फोटोनिक क्रिस्टल तंतु में परमअविच्छिन्नक बनती हुई । जे डुडले के सौजन्य से- अध्यक्ष संचालन समिति प्रकाश का अंतरराष्ट्रीय वर्ष- 2015

आइंस्टीन ने परमाणुओं का एक संग्रह उष्मीय संतुलन में माना । उन्होंने एक प्रक्रिया जिसमे परमाणु कि ऊर्जा दो अवस्थायें- ऊपरी और निम्न- को माना तथा इन दोनो में परिवर्तन के साथ एक प्रकाशाणु की ऊर्जा का अवशोषण या उत्सर्जन होता है जिसकी ऊर्जा इन अवस्थाओं के अंतर के बराबर है। ऊपरी और निम्न अवस्थाओं में परमाणुओं की संख्या स्थिरांक होती हैं। उष्मीय संतुलन में, समान संख्या में परमाणु प्रति इकाई समय, विकिरण अवशोषित करते है जिस संख्या में विकिरण उत्सर्जन करते है।

आइंस्टीन ने तब दो प्रकार के परिवर्तनो के बीच भेद किया। प्रथम, जब विकिरण का उत्सर्जन बाहरी प्रभावों की अनुपस्थिति में होता है। उन्होंने रदरफोर्ड के रेडियोधर्मी क्षय नियम से सादृश्य बनाया। आधुनिक संदर्भ में, यह स्वत: उत्सर्जन की प्रक्रिया है, जो तब होती है जब कोई बाहरी विकिरण विधयमान नहीं होता, तथा "आइंस्टीन ए गुणांक" से चिह्नित होती है। परिणामी प्रकाशाणु किसी भी संचरण दिशा में उत्सर्जित हो सकता है। द्वितीय प्रकार का परिवर्तन परमाणुओं और आपतित विकिरण के बीच परस्पर सहभागिता के कारण होता है। आइंस्टीन ने माना कि आपतित विकिरण का प्रभाव विकिरण घनत्व के आनुपातिक होता है तथा अवस्थाओ के बीच मे परिवर्तन करता है। आइंस्टीन ने सूक्ष्म उत्क्रमणीयता के सिद्धांत को माना जो कहता है कि- प्रत्येक हस्तांतरण के लिए निम्न से ऊपरी अवस्था मे ऊर्जा की हस्तांतरण दर, ऊपरी से निम्न अवस्था की हस्तांतरण दर के बराबर होती है, तथा यह संतुलन में विकिरण के लिए लागू किया जा सकता है। आइंस्टीन ने उद्दीपित उत्सर्जन की प्रक्रिया कि आवश्यकता समझी ताकि संतुलन में एक परमाणु की ऊर्जा स्तर बोल्ट्जमान वितरण से वर्णित हो और प्लैंक विकिरण नियम के साथ संगत हो। यदि उद्दीपित उत्सर्जन के लिए आइंस्टीन गुणांक (आइंस्टीन बी गुणांक) शून्य होता, तो उष्मीय संतुलन की अवस्था मे बोल्ट्जमान वितरण नहीं होता। उष्मीय संतुलन में, ऊर्जा प्राप्त करने वाले परमाणुओं की संख्या ऊर्जा खोने वाले परमाणुओं की संख्या के बराबर होनी चाहिए। उन्होंने निगमन किया कि प्रेरित अवशोषण और उत्सर्जन की संभावना बराबर हैं। आइंस्टीन गुणांक विकिरण घनत्व से अप्रभावित हैं ।

आइंस्टीन ने दूरदर्शिता के साथ सुझाव दिया की गुणांकों ए और बी की गणना की जा सकती है यदि विद्युतगतीकी और यांत्रिकी के नये संस्करण उपलब्ध हों जो कि क्वांटम परिकल्पना के साथ समन्वय में हों (एक नई क्वांटम यांत्रिकी)। यह पूर्वकथन 1927 में पूर्ण हुआ जब डिराक ने क्वांटम यांत्रिकी के अपने संस्करण को उपयोग करके एक प्रकाशित लेख मे आइंस्टीन का बी गुणांक निकाला और एक दूसरे प्रकाशित लेख में आइंस्टीन का ए गुणांक (स्वत: उत्सर्जन)।

आइंस्टीन की उद्दीपित उत्सर्जन की अवधारणा की प्रायोगिक सत्यापना आइंस्टीन सिद्धांत के पूर्वकथन के दशकों बाद आई। बेरटोलोट्टी ने अपने लेख 'लेजर का इतने विलम्ब से आविष्कार क्यों हुआ?' में इस लंबे विलंब के लिए स्पष्टीकरण दिया। देखें *आईसीओ समाचार पत्रिका,* जनवरी 2010, संख्या 82, http: // eico.org/node/94. 1954 में, गॉर्डन, ज़ेगेर, और टाव्नेस ने मेसर (विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन से माइक्रोवेव प्रवर्धन) का आविष्कार किया, जो माइक्रोवेव क्षेत्र में संचालित होता है। तथा, 1960 में, थिओडोर एच मैमान ने रूबी क्रिस्टल में उद्दीपित उत्सर्जन का उत्पादन किया जो पहले लेजर का एक घटक था। 1964 में, भौतिकी का नोबेल पुरस्कार, लेजर पर स्वतंत्र काम के लिए चार्ल्स एच टाव्नेस, निकोले जी बसोव, और अलेक्सांद्र एम प्रोखोरोव ने साझा किया।

तो प्रश्न शेष है: प्रकाश क्या है? आइंस्टीन की कल्पना के अनुसार प्रकाशाणु एक विद्युतचुम्बकीय क्षेत्र की अवस्था है जिसमे आवृत्ति ν , एक तरंग सदिश k, एक ऊर्जा $h\nu$, और एक संवेग $\hbar k$ है। यह शून्य विराम द्रव्यमान का एक कण है, इसका चक्रण एक है, और इसकी ध्रुवीकरण की दो अवस्थायें हैं। 1924 में, आइंस्टीन ने लिखा: "कॉम्पटन के प्रयोग का सकारात्मक परिणाम यह सिद्ध करता है कि विकिरण इस प्रकार से व्यवहार करता है जैसे कि वह असतत ऊर्जा प्रक्षेप्य से बना हो, न केवल ऊर्जा हस्तांतरण के संदर्भ में, अपितु संवेग हस्तांतरण के संदर्भ में भी।" तो इन सभी वर्षों के बाद हम वक्तव्यों पर वापस आते है: "विकिरण ... व्यवहार करता है ... जैसे की यह बना हो ... ।" इस प्रकार के वक्तव्य नहीं बताते कि प्रकाश क्या है? बल्कि, बताते हैं कि प्रकाश कैसे व्यवहार करता है? यद्यपि हमने मूल प्रश्न का उत्तर नहीं दिया है, हमारी प्रकाश की समझ मे वृद्धि से हमारे जीवन में सुंदरता आई है और हमारे संसार को परिवर्तित कर दिया। प्रकाश के लिए धन्यवाद।

बैरी आर मास्टर्स, स्वतंत्र विद्वान, कैम्ब्रिज, एमए, संयुक्त राज्य अमेरिका

प्राध्यापक बैरी आर मास्टर्स ने वाइज़्मन विज्ञान संस्थान, इसराइल, से विद्यावाचस्पति, फ्लोरिडा राज्य विश्वविद्यालय से विज्ञान निष्णात, तथा ब्रुकलीन के पॉलिटेक्निक संस्थान से विज्ञान स्नातक की उपाधियाँ प्राप्त कीं। प्राध्यापक मास्टर्स मैसाचुसेट्स प्रौद्योगिकी संस्थान के जैव अभियांत्रिकी विभाग में एक आगंतुक वैज्ञानिक, हार्वर्ड विश्वविद्यालय के विज्ञान के इतिहास विभाग में एक आगंतुक विद्वान, बर्न विश्वविद्यालय के नेत्र विज्ञान विभाग में एक आगंतुक प्राध्यापक, और यूनिफॉर्म्ड सेवाएँ स्वास्थ्य विज्ञान विश्वविद्यालय के शरीर रचना विज्ञान और कोशिका विज्ञान में प्राध्यापक थे। वे विज्ञान की प्रगति के लिए अमेरिकन संघ (ए.ए.ए.एस.), अमेरिकी प्रकाशिकी संस्था (ओ.एस.ए) और एस.पी.आइ.ई के अध्येता (फैलो) हैं। 1999 से 2000 तक, प्रोफेसर मास्टर्स, एएएएस कॉंग्रेशनल विज्ञान और अभियांत्रिकी में एक अध्येता थे और संयुक्त राज्य कांग्रेस में एक विधायी सहायक के रूप में सेवाए दी। 1999 में, वे डॉ बोहनके के साथ नेत्र अनुसंधान के लिए Vogt पुरस्कार (नेत्र अनुसंधान के लिए स्विट्ज़र्लैंड का उच्चतम पुरस्कार) के प्राप्तकर्ता है, जो उनके "श्वेत पटल की संनाभि सूक्ष्मदर्शिकी" पर कार्य के लिए दिया गया। प्राध्यापक मास्टर्स ने 86 समीक्षित शोध पत्र तथा 143 पुस्तक अध्याय और कृतियाँ प्रकाशित की है। वह 10 पुस्तकों के संपादक या लेखक है: नेत्र विज्ञान में गैर-आक्रामक निदान तकनीक; संनाभि सूक्ष्मदर्शिकी और बहुप्रकाशाणु उत्तेजना सूक्ष्मदर्शिकी: जीवित कोशिका छविकरण की उत्पत्ति; जैव चिकित्सा अरैखिक प्रकाशिकी सूक्ष्मदर्शिकी की हस्तपुस्तक (पीटर सो के साथ)। वे कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय मुद्रणालय द्वारा प्रकाशित होने वाली एक नई पुस्तक: 'परमविभेदन प्रकाशिकी सूक्ष्मदर्शिकी: विभेदन तथा वैषम्य बढ़ाने के लिए अन्वेषण' लिख रहे है। उन्होंने संसार भर में अनुसंधान मे उत्तरदायी आचरण, जैव चिकित्सा में नैतिकता, आलोचनात्मक सोच, और जैव चिकित्सा फोटोनिक्स पर व्याख्यान दिए हैं।

प्राध्यापक केहर सिंह ने 1965-2011 अवधि के दौरान भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली में एक संकाय सदस्य के रूप में विभिन्न पदों जैसे अध्यक्ष भौतिकी विभाग, तथा संकायाध्यक्ष स्नातकोत्तर अध्ययन और अनुसंधान, पर कार्य किया। वह अब एक मानद गणमान्य अनुसंधान प्राध्यापक के रूप में, नॉर्थकेप विश्वविद्यालय गुड़गांव (भूतपूर्व आइ.टी.एम. विश्वविद्यालय) में, संकाय सदस्यों के एक समूह के परामर्शदाता है और शोध में कार्यरत है। साथ ही में वह प्रकाशिकी एक्सप्रेस (अमेरिकी प्रकाशिकी संस्था-ओ.एस.ए.) पत्रिका के सहयोगी संपादक के रूप में कार्य करते है। एक सक्रिय शोधकर्ता और शिक्षक के रूप में, उन्होने भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली में शिक्षण और अनुसंधान के लिए अपने विशेषज्ञता के क्षेत्रों- फोटोनिक्स / सूचना प्रकाशिकी में ढांचागत सुविधाए स्थापित की। वह 350 शोधपत्रों और 10 पुस्तक अध्यायों के लेखक/ सहलेखक है तथा 35 छात्रों की विद्यावाचस्पति उपाधि में परामर्शदाता रहे। उनके पुरस्कार और सम्मान में सम्मिलित हैं: एसएस भटनागर पुरस्कार, गैलीलियो गॅलिली- (आई.सी.ओ.) पुरस्कार, भारतीय प्रकाशिकी संस्था (ओ.एस.आइ.) का आजीवन उपलब्धि पुरस्कार और 'भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली का स्वर्ण जयंती' विशिष्ट सेवा पुरस्कार, अमेरिकी प्रकाशिकी संस्था, एस.पी.आइ.ई, भारतीय राष्ट्रीय अभियांत्रिकी विद्यापीठ (आई.एन.ए.ई.) अध्येतावृत्ति, और भारतीय प्रकाशिकी संस्था (ओ.एस.आई.) पुरस्कार। प्रो. सिंह रक्षा अनुसंधान एवं विकास संगठन (डी.आर.डी.ओ.) के तहत यंत्र अनुसंधान एवं विकास प्रतिष्ठान (आईआरडीई), देहरादून के अनुसंधान परिषद के अध्यक्ष हैं और कुछ उद्योगों के लिए एक सलाहकार के रूप में कार्य करते रहे हैं। इसके अतिरिक्त उन्होने अध्यक्ष भारतीय प्रकाशिकी संस्था, मानव संसाधन विकास मंत्रालय, वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान परिषद, भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन (इ.स.रो.) तथा रक्षा अनुसंधान एवं विकास संगठन की कई राष्ट्रीय समितियों के सदस्य / अध्यक्ष के रूप में सेवाए प्रधान की हैं।

डॉ फूल सिंह ने बनस्थली विश्वविद्यालय, राजस्थान, से गणित में विद्यावाचस्पति तथा महर्षि दयानन्द विश्वविद्यालय, रोहतक से एमफिल, विज्ञान निष्णात और विज्ञान स्नातक की उपाधियाँ प्राप्त कीं। । 2006 में, डॉ. फूल सिंह ने वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान परिषद (सी.एस.आई.आर.)-राष्ट्रीय पात्रता परीक्षा तथा सम्पूर्ण भारत में 23 स्थान पर रहकर अभियांत्रिकी में स्नातक उपयुक्तता परीक्षा में अर्हता प्राप्त की। डॉ. सिंह नॉर्थ केप विश्वविद्यालय गुड़गांव (भूतपूर्व आइ.टी.एम. विश्वविद्यालय) के अनुप्रयुक्त विज्ञान विभाग में गणित के एक सहायक प्राध्यापक के पद पर 2007 से कार्यरत है। इससे पहले 2006 से 2007 तक डॉ सिंह ने गुड़गाव प्रौद्योगिकी और प्रबंधन संस्थान, बिलासपुर में एक व्याख्याता के पद पर कार्य किया। वह एक समूह के संकाय सदस्य है जिसके परामर्शदाता प्रो. केहर सिंह है। डॉ सिंह एक सक्रिय शोधकर्ता है और उन्होने अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं में 12 शोध पत्र प्रकाशित किये हैं तथा दो सम्मेलन कृतियो का संपादन किया है। डॉ. सिंह मृदु गणना, अभिकलनात्मक जटिलता द्रव गतिकी, तंत्रिका विज्ञान, छवि प्रक्रमण मे अनुसंधान कर रहे हैं तथा साइलैब, फ़यटों, ओपन फोम, ऑक्टेव आदि सार्वजनिक स्रोत क्रमानुदेश को बढ़ावा देने में रूचि रखते है। डॉ सिंह संज्ञानात्मक विज्ञान अनुसंधान पहल (सी.एस.आर.आइ.)-विज्ञान और प्रौद्योगिकी विभाग (डी.एस.टी.) की एक परियोजना (पार्किंसंस रोग की उत्पति) पर भी कार्य कर रहे हैं।