21वीं सदी में रमन प्रभाव की विरासत
Legacy of Raman Effect in 21st Century

राम शरण दास
Ram Sharan Dass
IV/49, वैशाली, गाजियाबाद - 201010
rsgupta_248@yahoo.co.in

सारांश

रमन प्रभाव बीसवीं सदी के तीसरे दशक की एक महत्वपूर्ण खोज थी। इस खोज के परिणाम और प्रभाव इतनी दूरगामी संभावनाओं से परिपूर्ण थे कि खोज की घोषणा के तीन वर्ष के भीतर ही इसे नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया। रमन की सफलता इस तथ्य में निहित है कि उन्होंने अपने स्वयं के साधनों से ही एक अत्यंत आधुनिक और सुग्राही ऐसा स्पेक्ट्रममापी अभिकल्पित और निर्मित किया जो फोटॉनों और द्रव्यकणों के अप्रत्यास्थ संघट्टों के परिणामस्वरूप उत्सर्जित अत्यंत क्षीण विकिरणों को भी संसूचित कर सकता था। विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी की प्रगति के साथ रमन स्पेक्ट्रममापी में हुए सतत विकास और सुधाार से इसके अनुप्रयोग विभिन्न क्षेत्रों में बढ़ते ही गए हैं और यह क्रम जारी है। इन अनुप्रयोगों का परिसर अत्यंत विस्तृत है, जिनमें एक ओर अपराध विज्ञान है तो दूसरी ओर ब्रह्माण्ड की संरचना का अध्ययन है। यह लेख इस अग्रणी खोज की वृद्धि और विकास के मुख्य चरणों पर प्रकाश डालता है और साथ ही उन नवपथ मार्गों का उल्लेख करता है जिनसे इस प्रभाव के विभिन्न क्षेत्रों में अनुप्रयोग संभव हो सके। इसकी शक्ति और संभावनाओं की एक झलक भी यहां आपको मिलेगी।

ABSTRACT

Raman effect was an important discovery of the third decade of twentieth century. The discovery has so far reaching consequences that it was awarded Nobel prize within three year of its announcement. The success of Raman lies in the fact that he could design and devise highly sophisticated and sensitive spectrometer indigenously to detect even very feeble radiations produced in the inelastic collision of photons with material particles. With the advancement of science and technology Raman spectrometer has been and being developed and improved to find applications in a large number of fields spanning forensic science to the structure of the universe. This article highlights the major steps in the growth and development of this pioneering discovery leading to break through of its applications in various areas and also provides a glimpse of its power, potential and possibilities.

मुख्य शब्द : रमन प्रभाव, सी.वी. रमन, रमन प्रभाव के अनुप्रयोग, प्रकीर्णन, स्पैक्ट्रम

Key words : Raman Effect, C.V. Raman, Applications of Raman effect, Scattering, spectrum

परिचय

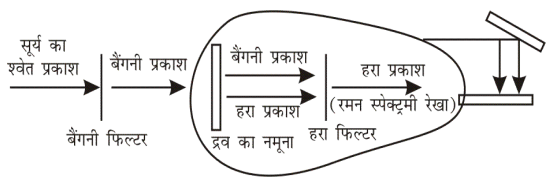
1930 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार भारतीय वैज्ञानिक चन्द्रशेखर वेंकटरमन को उनके नाम पर प्रसिद्ध प्रकाश विकीर्णन प्रभाव 'रमन प्रभाव' के लिए दिया गया था। रमन एक अत्यन्त उत्साही, परिश्रमी, और मेधावी व्यक्ति थे। 19 वर्ष की आयु में उन्होंने प्रथम श्रेणी में प्रथम रहते हुए

भौतिकी में एम.ए. किया और वित्त सेवाओं की प्रतियोगी परीक्षा में सफल होकर कलकत्ता में उपमहालेख अधिकारी बन गए। कुछ कर गुजरने की चाह और विज्ञान के प्रति रूचि ने उन्हें महेन्द्र लाल सरकार द्वारा स्थापित विज्ञान अनुसंधान संस्था इन्डियन एसोसिएशन फॉर कल्टीवेशन ऑफ साइंसेज से जोड़ दिया। वे दिन भर अपने दायित्व का निर्वाह करने में व्यस्त रहते और शाम से देर रात तक प्रयोगशाला में। उनका प्रारंभिक कार्य वाद्य यंत्रों की कार्यप्रणाली से जुड़े विज्ञान के अन्वेषण से संबद्ध रहा।

रमन का विज्ञान के प्रति समर्पण इतना तीव्र था कि 1917 में जब उन्हें कलकत्ता विश्वविद्यालय में भौतिकी के पालित प्रोफेसर बनाए जाने का प्रस्ताव मिला तो अपनी सरकारी नौकरी छोड़कर लगभग आधी तन्खाह पर उन्होंने इस पद को स्वीकार कर लिया। रमन की संपूर्ण शिक्षा भारत में ही हुई थी और अभी तक दुनिया के अन्य वैज्ञानिकों के साथ उनका संपर्क पुस्तकों और अंतरराष्ट्रीय शोधपत्रिकाओं में छपे लेखों के माध्यम से ही था। 1921 में पहली बार एक अध्ययन यात्रा पर उन्हें विदेश जाने का अवसर मिला। पानी के जहाज से यात्रा करते समय सागर के नीले-नीले जल ने उनका ध्यान आकर्षित किया। लार्ड रैले ने आकाश के नीले रंग की सफल व्याख्या वायुकणों से प्रकाश-विकीर्णन के आधार पर की थी किन्तु सागर जल का नीला रंग उन्होंने आकाश का जल में प्रतिबिम्ब मान लिया था। रमन को यह व्याख्या स्वीकार्य नहीं थी। उनको लगता था कि जो सिद्धांत वायु के नीले रंग के लिए उत्तरदायी था वही जल के नीले रंग के लिए भी होना चाहिए, इसलिए, अपनी वापसी यात्रा में उन्होंने एक जेबी स्पेक्ट्रममापी अपने साथ रखा। एस.एस. नरकुंडा नामक जलयान पर यात्रा के दौरान उन्होंने ग्लेशियरों और जल से प्रकीर्णन के कुछ प्रयोग इस यंत्र की सहायता से किए। भारत पहुंचते-पहुंचते उन्हें विश्वास हो गया कि उनका विचार सही था। उन्होंने नेचर को एक छोटा लेख इस संबंध में भेजा और युवा वैज्ञानिकों के अपने दल के साथ प्रकाश-प्रकीर्णन संबंधी अपने प्रयोगों में लीन हो गए। 7 वर्ष के अथक परिश्रम और सैकड़ों द्रवों एवं ठोसों से प्रकाश-प्रकीर्णन का अध्ययन करने के बाद आखिर 28 फरवरी, 2015 को उन्होंने रमन प्रभाव की घोषणा की। 1987 से भारत में यह दिन राष्ट्रीय विज्ञान दिवस के रूप में मनाया जाता है।

क्या है रमन प्रभाव?

सरल शब्दों में कहें तो रमन प्रभाव के अनुसार जब कोई एक वर्णी प्रकाश द्रवों और ठोसों से होकर गुजरता है तो उसमें आपतित प्रकाश के साथ अत्यल्प तीव्रता का कुछ अन्य वर्णों का प्रकाश देखने में आता है। शुरू में रमन ने सूर्य के प्रकाश को बैंगनी फिल्टर से गुजार कर प्राप्त बैंगनी प्रकाश किरण पुन्ज को द्रव से गुजारा। निर्गत प्रकाश पुंज मुख्यतः तो बैंगनी रंग का ही था, परन्तु इसे हरे फिल्टर से गुजारने पर इसमें बहुत कम परिमाण में हरी किरणों का अस्तित्व भी देखने में आया। रमन के इस प्रयोग का व्यवस्था चित्र कुछ इस प्रकार था :



चित्र -1

60 से ज्यादा विभिन्न द्रवों पर प्रयोग दोहराने के बाद यह सुनिश्चित हो गया कि सभी द्रव रमन स्पेक्ट्रम दर्शाते हैं। द्रव बदलने से केवल उससे प्रकीर्णित स्पेक्ट्रमी रेखा का रंग बदलता है। अभी तक के प्रयोगों में सिर्फ देखकर प्रभाव की पुष्टि की जा रही थी। किन्तु रमन जानते थे कि जब तक रमन-रेखाओं की तरंगदैर्ध्यों और उनकी आपेक्षिक तीव्रता का मापन नहीं किया जाएगा तब तक न तो प्रभाव की संतोषजनक व्याख्या की जा सकेगी और न ही वैज्ञानिक जगत में मान्यता प्राप्त होगी। इसके लिए उन्होंने एक क्वार्टज स्पेक्ट्रोग्राफ का उपयोग किया, जिसके परिमाणात्मक परिणाम मार्च 31, 1928 के इन्डियन जर्नल ऑफ फिजिक्स में प्रकाशित हुए।

रमन प्रभाव की व्याख्या

रमन प्रभाव की उपयुक्त व्याख्या केवल क्वांटम सिद्धांत के आधार पर की जा सकती है, जहां एकवर्णी (निश्चित

तरंगदैर्ध्य के) प्रकाश पुंज को ऊर्जा $E = hc/\lambda$ युक्त कणों (अथवा फोटोनों) के प्रवाह के रूप में देखा जाता है। ये फोटॉन जब माध्यम (माना वायु) के कणों से टकराते हैं तो उनमें या तो प्रत्यास्थ संघट्ट होता है जिससे अनिवार्यत: आपतित आवृत्ति की ही तरंगें उत्सर्जित होती हैं (रेले प्रकीर्णन) या फिर अप्रत्यास्थ संघट्ट होता है जिससे आपतित विकिरणों से अधिक तरंगदैर्ध्य (या कम आवृत्ति) की स्पेक्ट्रमी रेखाएं (स्टॉक रेखाएं) भी प्राप्त हो सकती हैं और कम तरंगदैर्ध्य (या अधिक आवृत्ति) की स्पेक्ट्रमी रेखाएं (एण्टि स्टॉर्क रेखाएं) भी। अप्रत्यास्थ संघट्ट से प्राप्त विकिरणों का प्रक्रम रमन प्रकीर्णन कहलाता है और इसके परिणाम स्वरूप प्राप्त स्पेक्ट्रमी रेखाएं रमन रेखाएं कहलाती हैं।

रमन प्रभाव : भौतिकीविदों का प्रभावी औजार

शुरूआती दौर में रमन प्रभाव का उपयोग भौतिकीविदों द्वारा शोध अध्ययनों में किया गया। पहले 7 वर्षों में इस प्रभाव को आधार बना कर 700 से अधिक वैज्ञानिक शोध पत्र प्रस्तुत किए गए। एक ओर सैद्धांतिक भौतिकी की दृष्टि से इस प्रभाव ने क्वांटम भौतिकी को सुदृढ़ आधार प्रदान करने का कार्य किया तो वहीं दूसरी ओर प्रायोगिक भौतिकविदों को क्रिस्टलों और अणुओं की संरचनाओं के अध्ययन के लिए एक अत्यन्त दक्ष, सरल तकनीक प्रदान की। फिर धीरे-धीरे भौतिकविदों की इस नई तकनीक में रूचि कम होने लगी। पर तब तक रसायनज्ञों के बीच एक विश्लेषणात्क औजार के रूप में यह तकनीक लोकप्रिय होने लगी थी।

रमन प्रभाव : रसायनज्ञों के औजार के रूप में

प्रत्येक पदार्थ का अपना विशिष्ट स्पेक्ट्रम होता है। अत: पदार्थ को नष्ट किए बिना मिश्रणों का भी रासायनिक विश्लेषण इस तकनीक द्वारा किया जा सकता था और पदार्थ कार्बनिक हो या अकार्बनिक उसके हस्ताक्षर रमन स्पेक्ट्रम में पहचाने जा सकते थे। साथ ही स्पेक्ट्रमी रेखाओं की तीव्रता की तुलना से उनके सापेक्ष परिमाण की उपस्थिति का आकलन भी किया जा सकता था। यह एक व्यापक तकनीक थी और इसका उपयोग द्रवों के अतिरिक्त गैसों और ठोसों के लिए भी किया जा सकता था।

किंतु द्वितीय विश्वयुद्ध के बाद सुग्राही संसूचकों और इलेक्ट्रॉनिकी में हुए विकास के कारण वैज्ञानिकों को अवरक्त स्पेक्ट्रममिति रमन स्पेक्ट्रममिति से सरल लगने लगी और रमन प्रभाव के अनुप्रयोगों की ओर रूझान कुछ कम हुआ। किंतु लेसर की खोज के बाद 1960 से रमन प्रभाव फिर से वैज्ञानिक अन्वेषकों में लोकप्रिय हो गया।

लेसर और रमन प्रभाव

रमन प्रभाव के संसूचन में सबसे कठिन समस्या यह थी कि रमन रेखाएं बहुत क्षीण होती थी इसलिए उनके संसूचन के लिए अत्यंत तीव्र प्रकाश स्रोत की आवश्यकता थी। लेसर ने न केवल ऐसा अत्यंत तीव्र प्रकाश स्रोत प्रदान किया वरन प्रकीर्णित प्रकाश में ऐसे नए प्रभाव प्रवर्तित किए जिन्होंने रमन स्पेक्ट्रममिति में नए आयाम जोड़ दिए। परिणामस्वरूप रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी के अनेक परिवर्त्त विकसित हुए। इनमें जिन मूल संकल्पनाओं का उपयोग कियाा गया है उनमें सुग्राहिता वृद्धि के लिए पृष्ठवर्धित रमन, स्थानिक विभेदन में सुधार के लिए रमन माइक्रोस्कोपी और अत्यंत विशिष्ट सूचना प्राप्ति के लिए रेजोनेंस रमन मुख्य हैं। इन संकल्पनाओं के समाकलन से अनेक भिन्न-भिन्न रमन स्पेक्ट्रम तकनीके विकसित की गई हैं।

फूरियर रूपांतरण (FT) तकनीकों और डॉटा प्रबंधन के लिए कम्प्यूटरों का अनुप्रयोग जुड़ जाने के बाद 1980 के दशक के उत्तरार्ध से व्यावसायिक रमन स्पेक्ट्रममापी उपलब्ध हो गए और अब कोई क्षेत्र भी रमन प्रभाव के अनुप्रयोगों से अछूता नहीं रहा है।

रमन प्रभाव के अनुप्रयोग

जहां भी बिना सैंपल को क्षति पहुंचाए, द्रुतगति से पदार्थ विशेष के कुछ कण पहचान कर निष्कर्ष निकाले जा सकते हों, वहां रमन प्रभाव सबसे अधिक प्रभावी तकनीक प्रदान करता है। अभिनव रमन स्पेक्ट्रममिति के कुछ अनुप्रयोग नीचे दिए गए हैं :

- औषधियों, पेट्रोकेमिकलों और प्रसाधन सामग्रियों के निर्माण प्रक्रमों के अध्ययन, मॉनीटरन और गुणवत्ता निर्धारण में।
- अपराध विज्ञान में पैकेट्स या बक्सों को बिना खोले उनके अन्दर विद्यमान विशिष्ट पदार्थों (जैसे मादक पदार्थों) के संसूचन में।

- पेंट उद्योग में रसायनज्ञ जैसे-जैसे पेंट सूखता है तो उसमें क्या रसायनिक अभिक्रियाएं होती हैं, यह अध्ययन कर सकते हैं।
- स्टैंड-ऑफ रिमोट रमन नामक तकनीक का उपयोग करके, जिसमे प्राय: प्रकाश संकलन के लिए टेलिस्कोप का और रमन रेखाओं को संसूचक तक ले जाने के लिए ऑप्टिक फाइबरों का उपयोग होता है, हानिकारक या रेडियोएक्टिव पदार्थों का सुरक्षित दूरी से अध्ययन किया जा सकता है।
- रमन स्पेक्ट्रम का उपयोग करके प्रकाश रसायनज्ञ और प्रकाश जीव वैज्ञानिक 10^{-11} s तक औसत आयु के क्षणजीवी रसायनों तक के स्पेक्ट्रम प्राप्त कर सकते हैं।
- भूगर्भशास्त्री और खनिज वैज्ञानिक रत्नों और खनिजों की पहचान तथा विभिन्न दशाओं में खनिज-व्यवहार आदि का अध्ययन करने के लिए इस तकनीक का उपयोग करते हैं।
- कार्बन नैनोट्यूबों एवं हीरों की गुणवत्ता और गुणों के अध्ययन के लिए रमन प्रभाव का उपयोग किया जा रहा है।
- जीवन-अध्ययनों जैसे डीएनए/आरएनए विश्लेषण में, रोग निदान, एकल सेल विश्लेषण आदि में भी व्यापक पैमाने पर रमन प्रभाव उपयोग में लाया जा रहा है।

रमन प्रभाव के भावी अनुप्रयोगों संबंधी अनुसंधान

- स्टैनफोर्ड विश्वविद्यालय के वैज्ञानिक नैनोटैक्नोलॉजी का रमन प्रभाव के साथ उपयोग करके ट्यूमर्स की जांच के लिए अनुसंधान कर रहे हैं जिसके द्वारा कुछ कैंसरयुक्त कोशिकाओं की उपस्थिति भी दर्ज की जा सकेगी।
  इसके लिए ऐसे विशिष्ट नैनोकण अभिकल्पित किए गए हैं जो इन्जेक्शन द्वारा रक्त प्रवाह में पहुंचा देने पर केवल कैंसर कोशिकाओं की पहचान कर उनसे ही जुड़ेंगे। जब लेसर प्रकाश त्वचा पर डाला जाएगा तो ये नैनो कण विशिष्ट रमन सिग्नल परावर्तित करेगे जिनके आधार पर कैंसर कोशिकाओं की उपस्थिति पहचानी जा सकेगी। इस परियोजना से जुड़े प्रोफेसर संजीव साम गंभीर का कहना है कि शीघ्र ही नैनोटैक आधारित रमन स्पेक्ट्रोमीटर प्रयोग के लिए उपलब्ध हो जाऐंगे।
- वैज्ञानिक ब्रह्माण्ड में विद्यमान प्रत्येक प्रेक्षित पदार्थ का रमन स्पेक्ट्रम प्राप्त कर उसका डॉटाबेस तैयार कर रहे हैं। ब्रह्मांड की इस फिंगर प्रिंटिंग के बाद कहां क्या है, क्या घट बढ़ रहा है आदि ब्रह्मांड संबंधी सूक्ष्म जानकारी ब्रह्मांड में होने वाली घटनाओं की एक अत्यंत सूक्ष्मदृष्टि प्रस्तुत करेंगे।
  नशीली दवाईयों, प्रदूषणों और विस्फोटकों आदि के डॉटाबेस पहले ही तैयार हो चुके हैं अब छोटे-छोटे रमन स्कैनरों का उपयोग करके स्मगलरों और आतंकवादियों को पकड़ना आसान हो गया है।
- रोटरडम की रिवर डायग्नोस्टिक नाम कम्पनी ने एक ऐसा बैक्टीरिया एनालाइजर विकसित किया है, जिसके द्वारा तत्काल रोगी के शरीर में विद्यमान रोगकारी सूक्ष्मजीवों की पहचान की जा सकेगी।
- आशा है कि शीघ्र ही रक्त परीक्षण गुजरे कल की बात हो जाऐंगे, क्योंकि बाहर से ही रोगी के रक्त का रमन स्पेक्ट्रम लेकर इसमें विद्यमान ग्लुकोज, कोलेस्टरॉल, यूरिक एसिड आदि का सटीक आकलन किया जा सकेगा।

समय के साथ रमन प्रभाव के अनुप्रयोग बढ़ते जा रहे हैं और यह 21वी शताब्दीं में रमन प्रभाव की विरासत के महत्व को दर्शाता है।

निष्कर्ष

हमारे लिए तो यह विरासत और भी महत्वपूर्ण है। इसलिए ही नहीं कि रमन हमारे थे। इसलिए भी कि वे साधनों पर साधना की विजय के प्रतीक हैं। रमन की पूरी शिक्षा-दीक्षा इस देश में ही हुई। स्वयं 200 रु. का स्पेक्ट्रममापी अभिकल्पित कर, केवल लगन, परिश्रम और एकनिष्ठ अनुसंधान के बल पर इतनी महत्वपूर्ण खोज कर सके। हम इतने परान्मुखापेक्षी क्यों हो गए कि 85 वर्ष में भी अपने को एक दूसरे नोबेल पुरस्कार के योग्य साबित नहीं कर सके। रमन की विरासत को आगे बढ़ाने की जिम्मेदारी हमारी नहीं तो और किसकी है?

संदर्भ (References)

1. Uma Parmeshwaram; C.V. Raman a biography, Penguin books, India
2. C.V. Raman : Scientific papers of C.V. Ramn, Editor S. Rameshwaram
3. Ewen Smith and Geoffrey Dent : Modern Raman Spectroscopy A Practical Approach, Wiley तथा अनेक वेबसाइट जिन सभी के नाम सूचीवद्ध करना व्यवहार्य नहीं है। ❑