

बहु-तरंग दैर्घ्य प्रेक्षणों का उपयोग कर सक्रिय गांगेय नाभिकों की आंतरिक संरचनाओं की जांच

लेखक : वीरेश सिंह, किरन सिंह बालियान और समीर

सार : लगभग सभी आकाशगंगाओं के केन्द्रों में विशाल ब्लैक होल विद्यमान हैं। जब भी पर्याप्त मात्रा में पदार्थ ब्लैक होल के पास के क्षेत्र में उपलब्ध होता है, तब ब्लैक होल गुरुत्वाकर्षण बल के द्वारा पदार्थ को अंदर की ओर खींचता है, और इस प्रक्रिया में ब्लैक होल के परितः अभिवृद्धि डिस्क का निर्माण होता है। श्यानता के कारण अभिवृद्धि डिस्क दृश्य प्रकाश से लेकर एक्स-रे तक की विकिरण उत्पन्न करती है। आकाशगंगाओं में ब्लैक होल की अभिवृद्धि के प्रकटीकरण को सक्रिय गांगेय नाभिक (AGN) के रूप में जाना जाता है। सक्रिय गांगेय नाभिक के परितः गैस और धूल से निर्मित संरचनाएं आकार में छोटी होती हैं जिन्हें वर्तमान दूरबीनों से सीधे विभेदित नहीं किया जा सकता है। हमने सक्रिय गांगेय नाभिकों से आने वाले एक्स-रे, रेडियो और प्रकाशिकी विकिरण के प्रेक्षणों द्वारा भीतरी संरचनाओं का अनुमान लगाया है। हमारे अध्ययन से सक्रिय गांगेय नाभिक के चारों ओर धूल भरी टोरस (torus) जैसी संरचना की उपस्थिति का पता चलता है। सक्रिय गांगेय नाभिक से आने वाला विकिरण परिवर्तनशीलता भी दर्शाता है, जिसके आधार पर सक्रिय गांगेय नाभिक की भीतरी संरचनाओं का आकार कुछ प्रकाश-घंटे (9.0×10^{12} मीटर) ही अनुमानित किया गया है।

1. प्रस्तावना

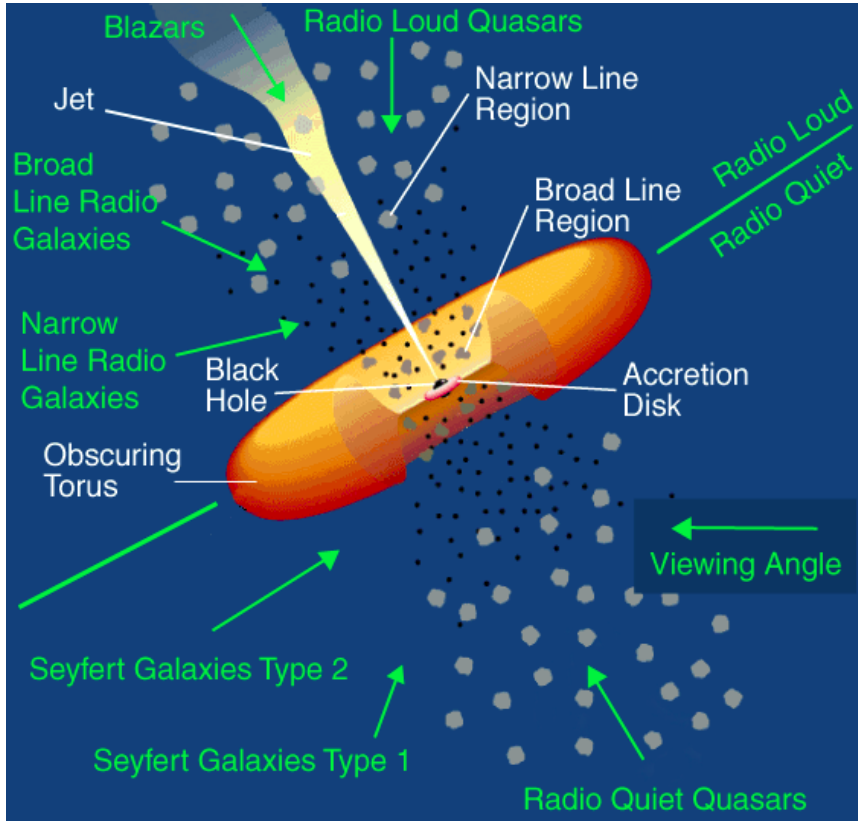
बड़ी दूरबीनों के द्वारा लिए गये प्रेक्षणों से पता चलता है की हमारे ब्रह्मांड में अरबों आकाश गंगाएँ मौजूद हैं, और लगभग सभी आकाशगंगाओं के केंद्र में एक ब्लैक होल (जिसका द्रव्यमान सूर्य के द्रव्यमान का करोड़ों अरबों गुना है) उपस्थित है (करमेंदी और गिभर्त २००९)। जब भी ब्लैक होल के पास के क्षेत्रों में पर्याप्त मात्रा में पदार्थ उपलब्ध होता है तो ब्लैक होल का गुरुत्वाकर्षण बल पदार्थ को अंदर के खींचता है, और इस दौरान ब्लैक होल के परितः अभिवृद्धि डिस्क का निर्माण होता है। अभिवृद्धि डिस्क की विभिन्न परतों के बीच लगने वाला श्यान घर्षण बल पदार्थ को गर्म कर देता है, और अभिवृद्धि डिस्क का तापमान बाहर से केंद्र की ओर जाने पर बढ़ता जाता है। तप्त अभिवृद्धि डिस्क दृश्य प्रकाश से लेकर एक्स-रे तक की विकिरण उत्पन्न करती है। आकाशगंगाओं में ब्लैक होल की अभिवृद्धि के प्रकटीकरण को सक्रिय गांगेय नाभिक (AGN) के रूप में जाना जाता है (पीटरसन १९९७)। प्रायः सक्रिय गांगेय नाभिक विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम की सभी तरंग-दैर्घ्यों में अत्यन्त उज्ज्वल दिखाई देते हैं। कई आकाशगंगाओं में सक्रिय गांगेय नाभिक से उत्सर्जित विकिरण मेजबान आकाशगंगा से हज़ारों गुना अधिक होता है, जिसके कारण सक्रिय गांगेय नाभिक 'तारों की भांति' बिंदु स्रोत प्रतीत होते हैं। प्रारम्भ में इस प्रकार के सक्रिय गांगेय नाभिक को अर्ध-तारकीय-स्रोत (Quasi Stellar Objects; QSOs) कहा गया, बाद में इन सक्रिय गांगेय नाभिक को क्वेजर्स (Quasars) के रूप में वर्गीकृत किया गया। अलग-अलग प्रेक्षित गुणों के आधार पर सक्रिय गांगेय नाभिक को विभिन्न उपवर्गों (जैसे सेफेर्ट्स, क्वेजर्स, रेडियो-गैलेक्सियाँ, और ब्लेजर्स) में वर्गीकृत किया गया है। सक्रिय गांगेय नाभिक की मुख्य विशेषताएँ हैं (i) लघु-आकर किन्तु अत्यन्त प्रचुर मात्रा (जो सूर्य की ऊर्जा से करोड़ों गुना है) में विकिरण का उत्सर्जन, (ii) सभी प्रकार की विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का सातत्य उत्सर्जन, (iii) प्रकाशिक और अवरक्त स्पेक्ट्रमों में प्रबल उत्सर्जन लाइनें, एवं (iv) सातत्य तथा उत्सर्जन लाइनों के फ्लक्स में परिवर्तन।

1.1 सक्रिय गांगेय नाभिक के परितः धूल का आंशिक आच्छादन और एकीकरण (Unification) मॉडल

कार्ल सेफेर्ट ने सर्वप्रथम १९४३ में कम प्रदीप्ति वाली सक्रिय गांगेय नाभिक, जो प्रकाशिक स्पेक्ट्रमों में प्रबल उत्सर्जन लाइनें प्रदर्शित करतीं हैं, की खोज की (सेफेर्ट १९४३)। वर्तमान में इस प्रकार की सक्रिय गांगेय नाभिक को सेफेर्ट गैलेक्सीज कहा जाता है। प्रकाशिक स्पेक्ट्रमों में पायी जानी वाली उत्सर्जन लाइनों की चौड़ाई के आधार पर सेफेर्ट गैलेक्सीज को मुख्यतयः टाइप-१ और टाइप-२ नामक दो उपवर्गों में विभाजित किया जाता है। सेफेर्ट टाइप-१ के प्रकाशिक स्पेक्ट्रमों में चौड़ी उत्सर्जन लाइनें (फुल विड्थ एट हाफ मैक्सिमा $\sim 9000 - 4000$ किमी/से.) पायी जाती हैं, जबकि सेफेर्ट टाइप-२ के प्रकाशिक स्पेक्ट्रमों में केवल संकीर्ण (फुल विड्थ एट हाफ मैक्सिमा $\sim 900 - 400$ किमी/से.) उत्सर्जन लाइनें उपस्थित होती हैं। प्रारम्भ में उत्सर्जन लाइनों के गुणों में भिन्नता के कारण सेफेर्ट टाइप-१ और सेफेर्ट टाइप-२ की आंतरिक संरचनाओं को भिन्न माना गया था। परन्तु कुछ सेफेर्ट टाइप-२ में ध्रुवित प्रकाश के स्पेक्ट्रमों में चौड़ी उत्सर्जन लाइनों (जो सेफेर्ट टाइप-१ की एक विशेषता है) के पाए जाने के बाद एकीकरण मॉडल (Unification model) का आविर्भाव हुआ (अन्तोनुकि और मिलर १९८५)। एकीकरण मॉडल के अनुसार सेफेर्ट टाइप-१ व टाइप-२ की आंतरिक संरचना एक समान है, और उनके स्पेक्ट्रमों में भिन्नता का कारण सक्रिय गांगेय नाभिक के परितः गैसीय धूलयुक्त टोरस (torus) जैसी उपस्थित संरचना का अभिविन्यास अलग-अलग होना है। सेफेर्ट टाइप-२ गैलेक्सीज में प्रेक्षक की

दृष्टि-रेखा गैसीय धूलयुक्त टोरस से होकर गुजरती है, जिसके कारण ब्लैक होल के पास तेज गति से घूमने वाले क्लॉउडों से आने वाला प्रकाश (जिनसे स्पेक्ट्रम में चौड़ी उत्सर्जन लाइनें मिलती हैं) अवरोधित हो जाता है। जबकि सेफेर्ट टाइप-१ में प्रेक्षक की दृष्टि-रेखा टोरस से नहीं गुजरती है जिसके फलस्वरूप ब्लैक होल के पास उच्च गति वाले क्लॉउडों (चौड़ी उत्सर्जन लाइनों के कारक) तथा ब्लैक होल से दूर निम्न गति वाले क्लॉउडों (संकीर्ण उत्सर्जन लाइनों के कारक) दोनों से प्रकाश प्राप्त होता है (अन्तोनिकि १९९३, यूरी और अन्य १९९५)।

गैसीय धूलयुक्त टोरस का आकार कुछ पारसेक (१ पारसेक = 3.08×10^{16} मीटर) ही अनुमानित किया गया है, जिसको कई मेगा-पारसेक दूर स्थित गैलेक्सीज में विभेद करने के लिए मिली-आर्कसेकेण्ड विभेदन सीमा की आवश्यकता है, जो वर्तमान दूरबीनों से प्राप्त कर पाना संभव नहीं है। हमने सेफेर्ट गैलेक्सीज टाइप-१ व टाइप-२ के सक्रिय गांगेय नाभिक से उत्सर्जित होने वाले एक्स-रे, रेडियो और प्रकाशिक स्पेक्ट्रमों के अध्ययन से टोरस की उपस्थिति तथा एकीकरण मॉडल की वैधता का परीक्षण किया है। निम्नलिखित अनुभागों में हमारे अध्ययन की विधि और परिणामों का उल्लेख किया गया है।



चित्र १: सक्रिय गांगेय नाभिक के प्रतिमान का चित्रण (यूरी और पदोवनी १९९५ के निष्कर्षों के आधार पर)।

1.2 सक्रिय गांगेय नाभिक की परिवर्तनशीलता का अध्ययन

सक्रिय गांगेय नाभिक विभिन्न समय-अंतरालों (मिनट, घंटे, दिन, और साल) में सातत्य तथा उत्सर्जन लाइनों के फ्लक्स में परिवर्तनशीलता दर्शाते हैं (वैगनर और वित्ज़ेल १९९५)। परिवर्तनशीलता का अध्ययन, सक्रिय गांगेय नाभिक की आंतरिक संरचना को समझने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, क्योंकि परिवर्तनशीलता का समय-अंतराल (Δt) विकिरण उत्सर्जन करने वाले क्षेत्रों के आकार (जो दूरबीनों से विभेदित नहीं किये जा सकते हैं) की उच्च सीमा $\leq c \Delta t$ का निर्धारण करता है (पीटरसन और अन्य २००४)। सक्रिय गांगेय नाभिक की आंतरिक संरचना को समझने के लिए हमने इनकी परिवर्तनशीलता का अध्ययन माउंट आबू में स्थित १.२ मीटर की दूरबीन के प्रयोग से किया है। परिवर्तनशीलता का विवरण अनुभाग ४ में दिया गया है।

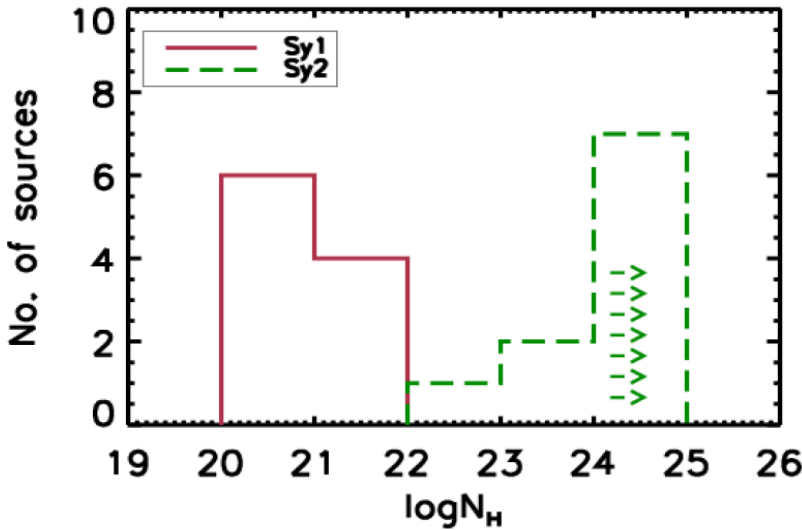
2. प्रेक्षण तथा आंकड़ों का विश्लेषण

सक्रिय गांगेय नाभिकों के एक्स-रे स्पेक्ट्रमों का अध्ययन करने के लिए हमने अंतरिक्ष में स्थित एक्स. एम. एम.-न्यूटन (XMM-Newton) वेधशाला के द्वारा प्राप्त प्रेक्षणों का प्रयोग किया है। एक्स-रे आंकड़ों का विश्लेषण 'साइंस एनालिसिस सिस्टम' सॉफ्टवेयर पैकेज के द्वारा किया गया है। रेडियो प्रेक्षण पुणे में स्थित विशालकाय मीटर रेडियो

टेलिस्कोप (जी. एम. आर. टी.) से प्राप्त किये गए हैं। रेडियो प्रेक्षणों का विश्लेषण 'एस्ट्रोनामिकल इमेज प्रोसेसिंग सिस्टम' नामक सॉफ्टवेयर से किया गया है। प्रकाशिक तरंग-दैर्घ्य में परिवर्तनशीलता का परीक्षण के लिए हमने माउंट आबू में स्थित १.२ मीटर की दूरबीन का प्रयोग से किया है। प्रकाशिक प्रेक्षणों का विश्लेषण 'इमेज रिडक्शन एंड एनालिसिस फैसिलिटी' नामक सॉफ्टवेयर से किया गया है।

3. एक्स-रे स्पेक्ट्रमों के मॉडलिंग से सक्रिय गांगेय नाभिकों के परितः आच्छादन का मापन

हमने सेफेर्ट गैलेक्सीज के ०.५ - १० keV एक्स-रे स्पेक्ट्रमों की मॉडलिंग की है। हमने पाया कि सामान्यतः ०.५ - १० keV एक्स-रे स्पेक्ट्रम के लिए सर्वोत्तम मॉडल अधोलिखित घटकों से मिलकर बनता है : (i) फोटोइलेक्ट्रिक कट-ऑफ से प्रभावित एक पावर लॉ, (ii) एक गौशियन रूपी उत्सर्जन लाइन जो आयरन के-अल्फा (Fe K α) को ६.४ KeV ऊर्जा स्तर पर प्रतिदर्शित करती है, (iii) एक सॉफ्ट घटक जिसे पावर लॉ या थर्मल प्लाज्मा मॉडल से प्रतिरूपित किया जा सके। सक्रिय गांगेय नाभिक के परितः निर्मित अभिवृद्धि डिस्क से उत्पन्न सॉफ्ट एक्स-रे फोटोन गैसीय धूलयुक्त टोरस के द्वारा अवशोषित कर लिए जाते हैं, यह प्रभाव एक्स-रे स्पेक्ट्रम के फोटोइलेक्ट्रिक कट-ऑफ में परिलक्षित होता है। अतः फोटोइलेक्ट्रिक कट-ऑफ से हम प्रेक्षक की दृष्टि-रेखा की दिशा में अवशोषक पदार्थ की मात्रा मापते हैं। हमने पाया कि सेफेर्ट टाइप-२, सेफेर्ट टाइप-१ की तुलना में अधिक अवशोषण दर्शाती हैं (चित्र २ देखें)। हमारे परिणाम एकीकरण मॉडल की भविष्यवाणी के साथ संगत कर रहे हैं (सिंह और अन्य २०११)। सक्रिय गांगेय नाभिक के पास से उत्पन्न होने वाली रेडियो विकिरण पर टोरस का प्रभाव नहीं पड़ता, और हमने पाया कि सेफेर्ट टाइप-१ और टाइप-२ की रेडियो प्रदीप्तियां समान हैं (सिंह और अन्य २०१३)।



चित्र २: सेफेर्ट टाइप-१ व टाइप-२ गैलेक्सीज में आच्छादन की मात्रा की तुलना (सिंह और अन्य २०११ से उद्धृत)।

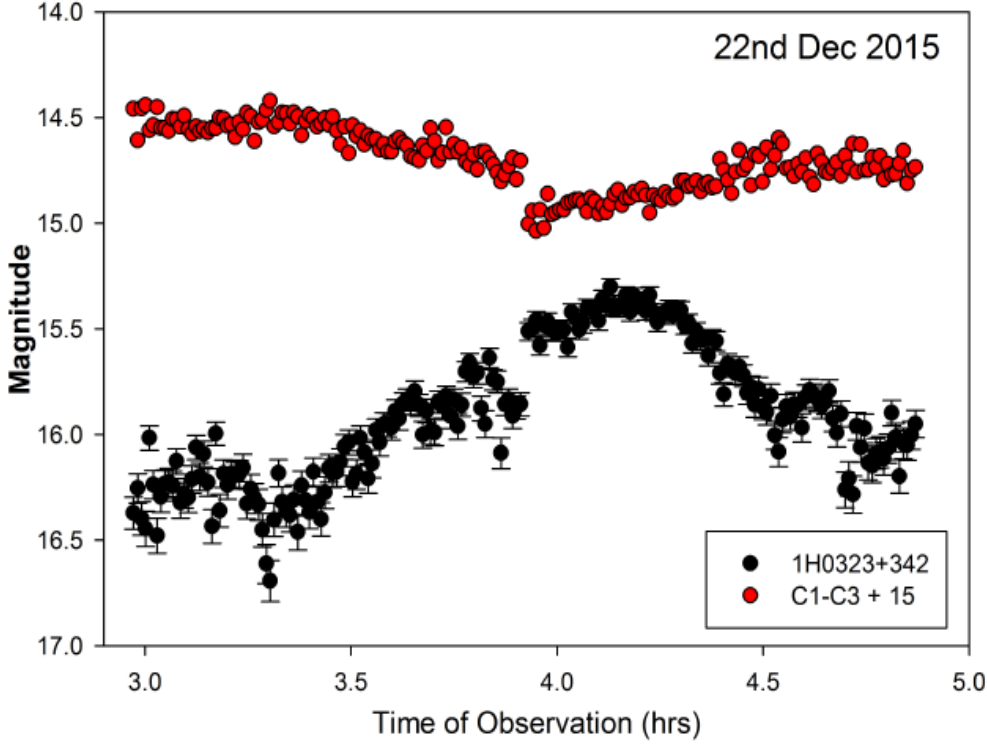
4. सक्रिय गांगेय नाभिकों में अंतर-रात्रि समय-अंतराल की परिवर्तनशीलता

हाल ही में हमने कुछ सेफेर्ट गैलेक्सीज (जो अपने प्रकाशिक स्पेक्ट्रम में अपेक्षाकृत कम चौड़ी उत्सर्जन लाइनें दिखाते हैं) का प्रेक्षण रक्त-बैंड में १.२ मीटर दूरबीन से किया है। हमने पाया कि १ H ०३२३ +३४२ नामक सेफेर्ट गैलेक्सी अत्यन्त प्रबल परिवर्तनशीलता दर्शाती है। इसकी प्रदीप्ति में १.३ मैग्नीटुड का परिवर्तन केवल एक घंटे के कम समय-अंतराल में देखा गया है। चित्र ३ दर्शाता है कि तुलनात्मक तारों की प्रदीप्ति का अंतर समय के साथ लगभग स्थिर रहता है, जबकि सेफेर्ट गैलेक्सी की प्रदीप्ति में एक घंटे के समय-अंतराल में १.३ मैग्नीटुड का बड़ा परिवर्तन होता है।

5. परिणाम और निष्कर्ष

सेफेर्ट गैलेक्सीज के एक्स-रे स्पेक्ट्रमों के अध्ययन से ज्ञात होता है कि टाइप-२ में, टाइप १ की तुलना में अधिक आच्छादन है, और यह परिणाम एकीकरण मॉडल के संगत है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि सक्रिय गांगेय नाभिक के परितः एक गैसीय धूलयुक्त टोरस जैसी संरचना विद्यमान है। सक्रिय गांगेय नाभिक के पास से उत्पन्न होने वाली रेडियो विकिरण गैसीय धूलयुक्त पदार्थ को बिना किसी अवरोध के आसानी से पार कर जाती हैं, अतः सेफेर्ट टाइप १ व टाइप २ की रेडियो प्रदीप्तियां समान पाई गयी हैं। हमारे प्रकाशिक प्रेक्षणों के पता चला है कि १ H ०३२३ +३४२ नाम की सेफेर्ट गैलेक्सी

प्रबल परिवर्तनशीलता दर्शाती है, जिससे सक्रिय गांगेय नाभिक में विकिरण उत्सर्जन करने वाले क्षेत्र का अकार एक प्रकाश-घंटे (9.06×10^{12} मीटर) से कम होने के संकेत मिलते हैं। ऐसी प्रबल परिवर्तनशीलता ब्लेज़र वर्ग के सक्रिय गांगेय नाभिक ही दर्शाते हैं, अतः 1H 0323 +342 नाम की सेफ़र्ट गैलेक्सी में भी ब्लेज़र्स की भाँति बाहर आने वाले जेट की दिशा प्रेक्षक के दृष्टि-रेखा की दिशा में ही होने की सम्भावना है। वास्तव में, 1H 0323 +342 से गामा-किरणों का खोज इस सम्भावना को और बल देती है (अब्दो और अन्य 2010)।



चित्र 3: परिवर्तनशीलता को दर्शाता हुआ सेफ़र्ट गैलेक्सी 1H 0323 +342 व तुलनात्मक तारों का प्रकाश वक्र।

6. उद्धरण

- अब्दो, ए. ए., और अन्य, 2010, ए.पी.जे., ७१५, ४२९
 अन्तोन्युकि, आर., १९९३, ए. आर. ए. एंड ए., ३१, ४७
 अन्तोन्युकि, आर. आर. जे. एंड मिलर, जे. एस., १९८५, ए. पी. जे., २९७, ६२१
 करमेंडि जे. और गिभर्त के., २००१, ए. पी. आई. सी., ५८६, ३६३
 पीटरसन बी. एम., १९९७, 'एन इंद्रोडक्शन टू एक्टिव गैलेक्टिक न्यूक्लियाय' कैम्ब्रिज यूनि. प्रेस, आय एस बी अन
 ०५२१४७३४८९
 पीटरसन, बी. एम., और अन्य, २००४, ए. पी. जे., ६१३, ६८२
 सेफ़र्ट, सी. के., १९४३, ए. पी. जे., ९७, २८
 सिंह, वी., और अन्य, २०११, ए. एंड ए., ५३२, ८४
 सिंह, वी., और अन्य, २०१३, ए. एंड ए., ५५४, ८५
 युरी, के., और अन्य, १९९५, ए. पी. जे., ५२१, ५६५
 वैगनर, एस. जे., वित्जेल ए., १९९५, ए. आर. ए. एंड ए., ३३, १६३