PRASOPCHAI VIRIYASRISUWATTANA : LOCALIZATION OF PHOTONS AND PROPAGATION IN SPACETIME IN QUANTUM FIELD THEORY. THESIS ADVISOR : PROF. EDOUARD B. MANOUKIAN, Ph.D. 196 PP.

SPACETIME DESCRIPTION OF QUANTUM FIELD THEORY/ PROPAGATION OF PHOTONS IN SPACETIME AS TIME EVOLUTION PROCESSES/ QUANTUM FIELD THEORY OF REFLECTION OF PHOTONS IN SPACETIME.

The major analysis involved in this thesis is to provide a rigorous formalism for the propagation of photons in *spacetime* as a time evolution process with associated amplitudes of transitions between different spacetime points in quantum field theory. After a detailed analysis of the corresponding situation for non-relativistic particles in quantum physics dealing with the intriguing problem of reflections of such particles off a reflecting surface *according* to quantum theory, the analysis is extended to the situation of photons, as ultra-relativistic particles, in spacetime in quantum field theory. A QED formalism is systematically developed to describe photon propagation in *spacetime* as a time evolution process based on the actual *physical* process of propagation between emitters and detectors as applied, in particular to the reflection of photons. This development, as well as early studies by Feynman, clearly show that a practical, computational and predictive dynamical formalism in *spacetime* was lacking. The present one generalizes to different experimental situations and *other* interacting field theories as well emphasizing the practicality of the problem treated here. For example, by using a unitarity expansion of the vacuum-to-vacuum transition amplitude $\langle 0_+|0_-\rangle$, supplemented by the expressions for the amplitudes of emission, by an emitter, and detection, by a detector, of photon excitations, the corresponding amplitudes of propagation of

photon excitations between different spacetime points in infinitely extended space as well as in half-space, as time evolution processes, and show that they do not coincide with the so-called Feynman propagators with the corresponding boundary conditions in half-space. In the quantum field theory formalism, derived amplitudes are associated with the localization of photon excitations in configuration space, that lead, in the quantum probabilistic sense, probabilities as to where these excitations were in space within given time spans. In particular, these amplitudes satisfy important completeness relations for the internal consistency of the formalism. As photon excitations travel from an emitter to a detector, they may have points of impact at any point on a reflecting surface. A key result is that the quantum field theory treatment via the derived amplitudes mentioned above, show that all amplitudes with points of impact at any point on the surface are exponentially damped relative to the classical point of impact. Finally in an Appendix, we have also derived a *closed* expression for the $\hbar$-quantum correction to the average *number* of photons emitted in synchrotron radiation.

School of Physics

Academic Year 2005

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

ประสพชัย วิริยะศรีสุวัฒนา : การประจำที่ของโฟตอนและการแผ่ในกาลอวกาศใน ทฤษฎีสนามควอนตัม (LOCALIZATION OF PHOTONS AND PROPAGATION IN SPACETIME IN QUANTUM FIELD THEORY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.เอ็ดเวิร์ด มานูเกียน, 196 หน้า.

การวิเคราะห์ส่วนมาก ที่เกี่ยวข้องในวิทยานิพนธ์นี้คือ การกำหนดสูตรที่ชัดเจนสำหรับอธิบายการแผ่ของโฟตอนในกาลอวกาศ ตามกระบวนการวิวัฒน์แห่งเวลา ด้วยแอมพลิจูดที่สอดคล้องของการเปลี่ยนสถานะระหว่างจุดกาลอวกาศในทฤษฎีสนามควอนตัม ภายหลังจากการวิเคราะห์อย่างละเอียดตามสถานการณ์ที่คล้องจองสำหรับอนุภาคที่ไม่ใช่อนุภาคเชิงสัมพัทธ์ในฟิสิกส์ควอนตัมต่อปัญหาที่น่าสนใจมากคือเรื่องการสะท้อนของอนุภาคดังกล่าวบนผิวสะท้อนตามทฤษฎีควอนตัม การวิเคราะห์ได้ทำการขยายไปถึงสถานการณ์ของโฟตอนที่เป็นแบบอนุภาคเชิงสัมพัทธ์ยิ่งยวดในอวกาศเวลาในทฤษฎีสนามควอนตัม สูตรทางพลศาสตร์ไฟฟ้าควอนตัมได้รับพัฒนาอย่างมีระเบียบแบบแผนเพื่ออธิบายการแผ่ของโฟตอนในกาลอวกาศตามกระบวนการวิวัฒน์แห่งเวลาบนฐานแห่งกระบวนการเชิงกายภาพแท้จริงของการแผ่ระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่ใช้ในกระบวนการสะท้อนของโฟตอน กระบวนการศึกษาที่กล่าวมานี้และยังรวมทั้งการศึกษาของไฟยน์มันในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ เป็นที่ประจักษ์ชัดว่า ในเชิงการคำนวณและในสูตรเชิงพลศาสตร์ของกาลอวกาศที่เหมาะสมที่ทำนายได้ยังไม่มีปรากฏให้เห็นการเสนอเชิงนัยทั่วไปของการทดลองต่างๆและทฤษฎีสนามที่เกี่ยวข้องอื่นๆการเน้นย้ำถึงความเหมาะสมของปัญหาได้อธิบายไว้ในการศึกษานี้ อันได้แก่ โดยการใช้การกระจายแบบยูนิทารีของแอมพลิจูดของการเปลี่ยนสถานะสุญญากาศถึงสุญญากาศ $\langle 0_+|0_-\rangle$ สำหรับการกระตุ้นโฟตอนซึ่งได้รวมกับนิพจน์สำหรับแอมพลิจูดของการส่งด้วยตัวส่งและแอมพลิจูดของการรับของตัวรับของการกระตุ้นโฟตอน แอมพลิจูดที่คล้องจองของการแผ่ของการกระตุ้นโฟตอนระหว่างจุดกาลอวกาศต่างๆกันในอวกาศแผ่ขยายอย่างอนันต์ และยังรวมถึงในครึ่งอวกาศตามกระบวนการวิวัฒน์แห่งเวลา แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาไม่ตรงกันกับสูตรที่เรียกกันว่าตัวแผ่ของไฟยน์มันด้วยเงื่อนไขขอบเขตที่คล้องจองกันในครึ่งอวกาศ สูตรในทฤษฎีสนามควอนตัมแอมพลิจูดที่ได้มาจะสอดคล้องกับการประจำที่ของการกระตุ้นโฟตอนในอวกาศโครงแบบ ด้วยเหตุผลเชิงความน่าจะเป็นเชิงควอนตัม ความน่าจะเป็นที่การกระตุ้นโฟตอนเหล่านี้เกิด ณ แห่งใดในอวกาศในช่วงการแผ่ของเวลาที่กำหนดให้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอมพลิจูดทั้งหลายปฏิบัติตาม

ความสัมพันธ์สมบูรณ์แบบสำหรับความลงรอยภายในของสูตร ขณะที่การกระตุ้นโฟตอนเดินทางจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้น จะมีจุดกระทบที่จุดใดๆบนผิวสะท้อน หัวใจสำคัญของผลลัพธ์ที่ได้คือการอธิบายในทฤษฎีสนามควอนตัมด้วยแอมพลิจูดดังกล่าวข้างต้น ได้แสดงให้เห็นว่า แอมพลิจูดทั้งหมดที่สัมพันธ์กับจุดกระทบใดๆบนผิวจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลสัมพัทธ์กับจุดกระทบในฟิสิกส์แบบฉบับ ในภาคผนวกได้แสดงนิพจน์ปิดสำหรับการแก้ไขเอชบาร์–ควอนตัมของจำนวนเฉลี่ยของโฟตอนที่ส่งออกมาในการแผ่รังสีซินโครตรอนอีกด้วย

สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____