XXX Encontro Anual de Iniciação Científica
VII Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior
eaic 2021

O Problema do Tempo de Tunelamento em Mecânica Quântica

Daniel Schemberger (PIBIC/CNPq) Prof. Dr. Carlos Alberto Bonin (Coautor), Prof. Dr. José Tadeu Teles Lunardi (Orientador), jttlunardi@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Matemática e Estatística

Física – Física Geral

Palavras-Chave: Mecânica quântica, tunelamento quântico, tempos de tunelamento

Resumo

Neste trabalho consideraremos o fenômeno de tunelamento de uma partícula quântica não relativística incidindo sobre uma barreira de potencial retangular. A partir do conceito do tempo de fase, construiremos uma distribuição de probabilidade para o tempo de tunelamento para a situação em que a partícula é descrita por um pacote de ondas bem localizado inicialmente em um dos lados da barreira.

Introdução

O fenômeno de tunelamento, em que uma partícula quântica pode atravessar uma região, dita classicamente proibida, em que sua energia potencial excede a sua energia cinética inicial, é um dos fenômenos mais contraintuitivos da mecânica quântica. O problema de se determinar, mesmo teoricamente, o tempo de tunelamento, isto é, o tempo que a partícula leva para atravessar essa região classicamente proibida, é um problema muito debatido na literatura desde os primórdios da mecânica quântica, e que ainda hoje carece de uma solução definitiva. A razão das dificuldades na conceituação desse tempo reside no fato que o tempo não coresponde a um observável na mecânica quântica, e apenas definições ditas operacionais, ou seja, dependentes do contexto do problema, são possíveis. Existem várias definições de tempos de tunelamento na literatura, muitas inequivalentes entre si. Dentre elas, o tempo de fase que é amplamente utilizada na literatura e seráa considerada no presente trabalho.

Material e Métodos

Estudamos o caso estacionário de uma barreira de potencial retangular unidimensional com uma onda plana incidindo pela esquerda. Utilizamos a equação de Schrödinger para obtemos o coeficiente de transmissão e, a partir dele, a fase da onda transmitida pela barreira. Pela simplicidade conceitual e operacional, utilizamos a definição de tempo de fase, a qual se associa o tempo com o pico da função de onda. Em sequência analisamos o caso não-estacionário, em que as ondas incidente e transmitida são dadas como uma superposição de soluções estacionárias, moduladas por coeficientes de distribuição energética fortemente concentrados.

Definimos então o tempo de tunelamento como a diferença entre os tempos de transmissão e incidência do pico nos limites da barreira, usando o método da fase estacionária. Podemos associar um tempo a cada valor de energia, então, conhecendo a distribuição energética do pacote incidente, podemos numericamente construir uma distribuição de probabilidade para os tempos de tunelamento.

Resultados e Discussão

Conhecido o pacote gaussiano e sua distribuição energética fortemente concentrada, a distribuição de probabilidade dos tempos de tunelamento foi gerada por Monte Carlo utilizando Wolfram Cloud.

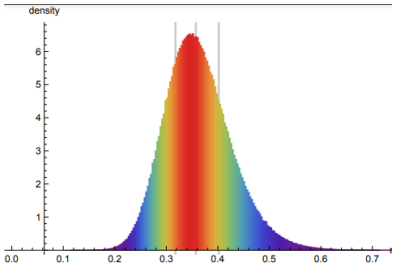


Figura 1: histograma para a distribuição do tempo de fase no pacote transmitido.

Conclusão ou Conclusões

Para um pacote de ondas inicial, razoavelmente bem localizado à esquerda da barreira, o tempo de tunelamento (aqui, o tempo de fase) não é determinado de maneira única, já que a cada componente de energia do pacote inicial corresponde um tempo de fase distinto. Como a forma do pacote inicial determina a distribuição de probabilidade para a energia, então essa distribuição deve determinar também uma distribuição de probabilidade para o tempo de tunelamento. Neste trabalho, seguindo a referência (LUNARDI e MANZONI, 2018), obtivemos essa distribuição para o tempo de fase. Obter distribuições de probabilidade para as várias definições de tempo de tunelamento é importante para compará-los entre si, como também para compará-los com resultados experimentais, que em geral obtém uma distribuição empírica para tais tempos.

Agradecimentos

Agradeço o apoio das instituições CNPq e UEPG

[1] WITTKE, J. P.; DICKE, R.H. Introduction to Quantum Mechanics
[2] LUNARDI, J. T.; MANZONI, L. A. A Probability Distribution for Quantum Tunneling Times. Advances in High Energy Physics, Vol. 2018, p. 1372359, 2018. https://doi.org/10.1155/2018/1372359
[3] BONIN, C. A. Tempos de Tunelamento. Monografia (Mestrado em Física) – Instituto de Física Teórica, Universidade Estadual Paulista, p.140. 2007. https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138356