

Übungen (9) zur Experimentalphysik IV „Moderne Physik“

Ss 2006

Ausgabe: Do., 15.06.06

Rückgabe: Do., 22.06.06 (in Vorlesung)

Übungsgruppen:

dienstags 14 h – 16 h in SR E3 (1.4.31)

mittwochs 10 h – 12 h in SR E1 (1.1.26)

Hinweis: Der nächste Übungszettel (10) wird als Klausurtest während der Vorlesungszeit am Do., 29.06.06, bearbeitet. Ausgabe der letzten Übungen (11) bzw. (12) erfolgt am Donnerstag, den 29.06. bzw. 06.07.06.

23. Im Mach-Zehnder (MZ) Interferometer wird ein zweiter Strahlteiler eingesetzt, um nach Zusammentreffen der beiden Teilwege Interferenz nachzuweisen.
- a) Zeige, dass die Einzelphotonenzähler in den beiden Ausgängen des Strahlteilers gegenphasiges Verhalten in Abhängigkeit von der Gangunterschiedsphase Φ zwischen den beiden Teilarmen aufweisen (Hinweis: Literatur 2.e.).
Im Hong-Ou-Mandel (HOM, Phys. Rev. Lett. 59 (1987) 2044) Interferometer wird ein Zwei-Photon Paar am Strahlteiler zur Interferenz gebracht.
- b) Zeige, dass es so aussieht, als ob die beiden (identischen) Photonen sich „ verabreden“, nur gemeinsam bei einem der Detektoren einzutreffen bzw. das in Koinzidenz der beiden Zähler keines der Photonpaare im „ausbalancierten“ HOM-Interferometer zu detektieren ist.
- c) Beschreibe kurz ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Zwei-Photon Interferenz versus Interferenz zweier Photonen.
(Hinweis: genaueres zu c) und auch b) ist der Literaturreferenz 5.c. zu entnehmen)
24. Beschreibe in Grundzügen und mit Zeichnung die Idee des „Franson-Experimentes“. Wieso kann man sagen, dass hierbei die Verletzung der Bell'schen Ungleichungen nicht mehr bzgl. interner Variablen (Spin oder Polarisation wie bei den Aspect-Experimenten), sondern für externe Variablen überprüft wird? Um welche Variablen handelt es sich, und wie lassen sich die verschränkten Bellzustände formulieren?
25. Im Bell-Typ Experiment über große Distanzen der Genfer Arbeitsgruppe (4.k.: W. Tittel, N. Gisin et al., Phys. Rev. A 59 (1999) 4150-4163) ist an einigen Stellen von „Kohärenzlänge“ und (damit in Beziehung) von „Bandbreite“ der Laser- bzw. Photonenenergie (oder –frequenz oder –wellenlänge) die Rede. Zum Beispiel wird für die Zwei-Photonen-Quelle auf Diodenlaserbasis eine Kohärenzlänge von 50 cm bzw. bis zu 100 m in der verbesserten Form von Laserdioden mit externem Resonator angegeben. Dann wird aber auch die erheblich reduzierte Kohärenzlänge der „einzelnen Photonen“ bei der Interferometer-Detektion angegeben. Sie wird zu nur noch 13 Mikrometer ausgewertet, was einer vollen Breite (full width) bei halbem Maximalwert (FWHM) von 70 nm in der Wellenlängen-(Energie-) Bandbreite entspricht.
- a. Was versteht man unter Kohärenzlänge, etwa bei gewöhnlichen optischen Interferenzexperimenten in der Experimentalvorlesung? Dabei wird sie üblicherweise mit der Lebensdauer von angeregten Atomzuständen (ca.10 nsec) als „Kohärenzzeit“ in Beziehung gesetzt. Welcher Kohärenzlänge entspricht diese Kohärenzzeit von 10 nsec?
- b. Welche Beziehung benutzt man, um von der Kohärenzlänge (z. B. 13 Mikrometer) zur Bandbreite (FWHM) im Fall der oben zitierten Zahlenbeispiele überzugehen?
- c. Warum benötigt man so lange Kohärenzlängen (mindestens 50 cm) für die Zwei-Photonen-Quelle? Was müsste man am experimentellen Aufbau ändern, um auch mit kleineren Kohärenz-

längen noch experimentieren zu können? Warum möchte man dies lieber vermeiden und vergrößert stattdessen lieber die Kohärenzlänge der Quelle?

26. Eine wichtige Motivation für die besprochenen Bell-Typ Experimente ist die Ausräumung der sog. Lokalitäts-Schwachstelle („locality loop hole“). Führe in ausreichender Deutlichkeit aus, worum es sich handelt und wie anhand der erhaltenen experimentellen Ergebnisse zur Beseitigung der Schwachstelle argumentiert wird.
Welcher Aspekt dieser Bell-Typ Experimente ist für „quantenkryptographische“ Anwendungen interessant?

Zur Aufgabebearbeitung: zu Aufg. 23):

Zitat 2.e T. Hellmuth et al., Phys. Rev. A 35 (1987) 2532 ff sowie Fig. 1 + 2

5.c T. B. Pittman et al., "Two-Photon Interference", Phys. Rev. Lett. 77 (1996) 1917-1920

zu Aufg. 25): „Long distance Bell test“

4.k W. Tittel, N. Gisin et al.: "Long-Distance Bell-Type Tests Using Energy-Time Entangled Photons", a) Phys. Rev. A 57 (1998) 3229-3232 and Phys. Rev. A 59 (1999) 4150-4163; b) quant-ph/0210015v1, 2. Okt. 2002

zu „Franson-Typ“ Bell Test Experiment, für Interessierte die auch in 4.k zitierte Literatur:

P. G. Kwiat et al. „High Visibility interference in a Bell-inequality experiment for energy and time“, Phys. Rev. A 47 (1993) R2472-2475 and J. D. Franson “Bell inequality for position and time”, Phys. Rev. Lett. 62 (1989) 2205 sowie

Literaturaufgaben:

bis Do., 22.06.06:

4.e E. S. Frey, Th. Walther "Ein neues Einstein-Podolsky-Rosen Experiment", Phys. Bl. 53 (1997) 229-232 and E. S. Frey, Th. Walther "Atom Based Tests of Bell Inequalities - the Legacy of John Bell continues" 103-117 in "Quantum [Un]speakables - From Bell to Quantum Information", eds. Bertlmann and Zeilinger, Springer 2002

bis Mo., 25.06.06:

4.f E. Hagley, S. Haroche et al., "Generation of Einstein-Podolsky-Rosen Pairs of Atoms", Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 1-5

4.g M. A. Rowe, D. J. Wineland et al.: "Experimental Violation of a Bell's inequality with efficient detection", Nature 409 (2001) 791-794

bis Mo., 26.06.06:

Überblick von Anton Zeilinger: "Experiment and the foundations of quantum physics"; Rev. Modern Phys. 71 (1999) S288 – S297; nochmals vor Klausur alles durcharbeiten.

Das Literaturverzeichnis finden Sie im Internet unter:

<http://www.physik.fu-berlin.de/~simons/Literaturliste06.htm>

Die Übungsblätter finden Sie auch im Internet unter:

<http://www.physik.fu-berlin.de/~simons/Uebungen06.html>