Laserphysik (Teil II) (WS 2016/17)

7. Quantisierung des elektromagnetischen Feldes

   7.1 Quantisierung von Feldern

   * Verschiedene Wahl der Randbedingungen: Kavitäten (stehende Wellen) oder periodisch (ebene Wellen).
   * Fourier-Zerlegung des Vektorpotentials: Feldmoden $\vec{k}$.
   * Energie der Moden ausgedrückt durch das Vektorpotential.
   * Substitution: die Modenenergien ausgedrückt über den *verallgemeinerten* Ort $Q_{\vec{k}}$ und Impuls $P_{\vec{k}}$; Korrespondenz zur Hamilton-Funktion des eindimensionalen harmonischen Oszillators (mit Einheitsmasse).
   * Anwendung des quantenmechanischen Korrespondenzprinzips; Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren $\hat{a}$ und $\hat{a}^\dagger$; der Hamilton-Operator in 2. Quantisierung.
   * Operatoren des Vektorpotentials, des elektrischen und des magnetischen Feldes.
   * Divergenzproblem und Renormierungsnotwendigkeit.

   7.2 Fock-, kohärente und gequetschte Zustände sowie chaotisches Licht

   i. Fock-Zustände (Eigenzustände des Besetzungszahlenoperators $\hat{n} = \hat{a}^\dagger\,\hat{a}$); formale Erzeugung der Fock-Zustände durch (wiederholte) Anwendung des Erzeugungsoperators auf den Vakuumzustand $|\,0\,\rangle$; Erwartungswert des elektrischen Felds und des Quadrats des elektrischen Feldes für Fock-Zustände; nicht-verschwindende Varianz sogar für den Vakuumzustand: Vakuumfluktuationen).

   ii. Kohärente Zustände (experimentelle Realisierung; klassischer Charakter; Poisson'sche Photonenzahlverteilung; elektrisches Feld und Energie sowie deren Varianzen; Verschiebeoperator $\hat{\mathrm{D}}(\alpha)$ und die formale Erzeugung kohärenter Zustände ausgehend vom Vakuumzustand; die Quadraturoperatoren $\hat{\mathrm{X}}$ und $\hat{\mathrm{Y}}$; graphische Darstellung von Zuständen in der X, Y-Ebene; minimale Unschärfe).

   iii. Gequetschte Zustände (allgemeine und ideale (kohärente) gequetschte Zustände); Quetschoperator $\hat{\mathrm{S}}(\zeta)$ und seine formale Analogie zum Verschiebeoperator $\hat{\mathrm{D}}(\alpha)$, die den Zweiphotonencharakter der gequetschten Zustände offenbaren; Eigenschaften der gequetschten Zustände und ihr Nutzen für Präzisionsexperimente, insbesondere solche, die auf Interferometrie basieren).

   iv. Chaotisches Licht (gemischte und reine Zustände; Problem der Übervollständigkeit, wenn der Dichteoperator in der kohärenten Darstellung ausgedrückt wird; Boltzmann-Verteilung der Photonenzahlverteilung für thermische Zustände (schwarzer Strahler); Bezug zur Planck-Verteilung; Erweiterung auf den Multimodenfall; Definitionsabgrenzung chaotisches und thermisches Licht (nicht bei allen Autoren konsequent verwendet); Quellen für thermisches Licht).

7.3 Kohärenzeigenschaften von Licht (optische Korrelationsfunktion)

* Plausibiltätsherleitung der optischen Kohärenzfunktion (Korrelationsfunktion) 1. und 2. Ordnung.
* Verallgemeinerung auf die optische Kohärenzfunktion der Ordnung n, $G^{(n)}$, und ihre Eigenschaften.
* Doppelspaltexperiment (Young) für die Messung der Amplitudenkorrelationen (Feldkorrelationen); Visibilität; normierte optische Kohärenzfunktion $g^{(n)}$; Definition der vollen Kohärenz n. Ordnung; Begründung für die Benennung der kohärenten Zustände.
* Messung von Intensitätskorrelationen: das Hanbury Brown und Twiss-Experiment; Eigenschaften von $g^{(2)}(\tau = 0)$ mit der Zeitverzögerung τ für klassisches und nicht-klassisches Licht; geklumptes (*bunched*), kohärentes (*coherent*) und anti-geklumptes (*anti-bunched*) Licht; experimenteller Nachweis von nicht-klassischem Licht.
* *Poisson*'sches, *sub-Poissonian*'sches und *super-Poisson*'sches Licht; klassische Beziehungen zwischen $g^{(2)}(\tau)$ und $g^{(1)}(\tau)$ sowie zwischen $g^{(1)}(\tau)$ und der Spektralfunktion $S(\omega)$; (De-)Kohärenzzeit; homodyne und heterodyne Messungen; Nachweis gequetschter Zustände.

8. Licht-Materie-Wechselwirkung (volle quantenmechanische Beschreibung)

8.1 Jaynes-Cummings-Modell

* Verschiedene Formulierungen des Hamilton-Operators; Spezialfall des Zweiniveau-Atoms; Einführung der atomaren Auf- und Absteigeoperatoren (An- und Abreger); quantenmechanische Drehwellennäherung (*rotating-wave approximation*.
* Einmodenfall: Jaynes-Cummings-Hamilton-Operator; Konzept der verzierten (*dressed*) und unverzierten (*bare*) Zustände; Quanten-Rabi-Oszillationen; Vakuum-Rabi-Oszillationen; Autler-Townes-Aufspaltung und Mollow-Triplett; Kollaps und Wiederkehr (*revival*) von Wellenpaketzuständen.

8.2 Prozesse in Dreizustandssystemen

* V-, Λ- (bzw. λ-) und Ξ-Dreiniveausysteme; Vergleich der Ergebnisse für das V- und das Λ-System bei semi-klassischer oder quantenmechanischer Beschreibung.
* Auftreten eines Dunkelzustands (*dark state*) im λ-System; kohärenter Besetzungseinfang (*coherent population trapping*); Besetzungstransfer mittels STIRAP-Prozess (*stimulated Raman adiabatic passage*); Vergleich mit Besetzungstransfer über Rabi-Oszillation mittels $\pi/2$-Pulsen.
* Elektromagnetisch-induzierte Transparenz (EIT).

8.3 Weisskopf-Wigner-Modell der spontanen Emission

* Kopplung eines Zweiniveau-Atoms (anfangs im angeregten Zustand) an ein Vakuum im freien Raum; Vakuummodendichte; Übergang in den Kontinuumslimes der Modendichte; Weisskopf-Wigner-Näherung als Spezialfall der Markov-Näherung, in der das Reservoir “kein Gedächtnis” besitzt.

* Vergleich der Grenzfälle: Zweiniveau-Atom in (i) (nah-resonanter) Kavität, (ii) freiem Raum und (iii) einem System mit photonischer Bandlücke (photonischer Kristall).

20.02.2017 *Alejandro Saenz*