

# Dissipation-Induced Collective Effects in Two-Level Systems

Till Vorrath

*I. Institut für Theoretische Physik, Universität Hamburg, Germany*

## Zusammenfassung

Thema dieser Arbeit sind kollektive Effekte in Zwei-Niveau-Systemen, die allein durch die Ankopplung aller Systeme an dieselbe dissipative Umgebung hervorgerufen werden. Wir untersuchen zunächst das Modell eines dissipativen großen Spins. Dieses Modell dient sowohl zur Beschreibung eines physikalischen Spins unter Einfluß seiner Umgebung, als auch zur Beschreibung kollektiver Effekte in einem Ensemble von Zwei-Niveau-Systemen. In diesem Fall läßt sich von der Dynamik eines großen Pseudo-Spins auf die Polarisierung des Ensembles schließen. Formal ist das Modell des dissipativen großen Spins die Verallgemeinerung des Spin-Boson-Modells auf beliebig große Spins. Zudem enthält das Modell auch das Dicke-Modell, das kollektive Effekte in Zwei-Niveau-Atomen beschreibt. Das Modell eines dissipativen großen Spins erlaubt so, das Zusammenwirken von kohärenten Oszillationen und kollektiven Effekten zu studieren.

Zur Beschreibung des großen Spins verwenden wir eine Master-Gleichung, die in der Born-Markov-Näherung hergeleitet wird. Bei der Berechnung der Raten der Umgebung nehmen wir eine ohmsche Dissipation an. Wir untersuchen das Modell in zwei Bereichen, zuerst im Grenzfall schwacher Wechselwirkung zwischen dem Spin und seiner Umgebung und dann im umgekehrten Fall starker Wechselwirkung. In beiden Bereichen finden wir gute Übereinstimmung der Master-Gleichung mit den Ergebnissen des Spin-Boson-Modells. Im Grenzfall schwacher Wechselwirkung zeigt der große Spin ein superradianzartiges Verhalten, das charakteristisch für das Dicke-Modell ist. Für einen kleinen oder verschwindenden Energieunterschied zwischen den beiden Zuständen der Zwei-Niveau-Systeme zeigt sich der Einfluß der nichtresonanten Moden der Umgebung in Schwebungen der kohärenten Oszillationen des großen Spins. Ein völlig unterschiedliches Verhalten ergibt sich im Bereich starker Wechselwirkung. Je nach Anfangszustand relaxiert der Spin in diesem Fall zu einem der beiden polarisierten Zustände. Die Relaxation verläuft näherungsweise logarithmisch in der Zeit.

Zur experimentellen Untersuchung derartiger kollektiver Effekte schlagen wir ein System von zwei gekoppelten Quantenpunkten vor. Bei der Berechnung des Tunnelstroms durch die Quantenpunkte zeigt sich, dass kollektive Effekte tatsächlich den Tunnelstrom beeinflussen. So führt das Auftreten der Superradianz in den doppelten Quantenpunkten zu einem Anstieg des Tunnelstroms. Durch entsprechende Veränderung der Parameter läßt sich auch der umgekehrte Effekt, die Subradianz, beobachten. Diese führt zu einer Abnahme des Tunnelstroms.

## Abstract

The subject of this thesis are collective effects of two-state systems which are solely caused by the coupling of all systems to the same dissipative environment. First, we investigate the model of a dissipative large spin. This model applies to an intrinsic large spin under the influence of its environment as well as to collective effects in an ensemble of two-state systems. In that case, the polarization of the ensemble follows from a large pseudo-spin. Formally, the model is the generalization of the spin-boson model to spins of arbitrary size. It

also includes the Dicke model which describes collective effects of two-level atoms. Thus, the model of a dissipative large spin allows to study the combination of coherent oscillations and collective effects.

The large spin is described by a master equation. We employ the Born-Markov approximation for the derivation of the master equation. The rates of the environment are calculated for an ohmic dissipation. We study the model in two regimes. First in the limit of weak interactions between the spin and the environment and then in the opposite regime of strong interactions. In both regimes we have found good agreement of the master equation with the results of the spin-boson model. In the weak-coupling regime, the spin shows a superradiance-like behavior which is characteristic for the Dicke model. For a small or zero bias the influence of the nonresonant modes of the environment becomes visible in beats of the coherent oscillations of the large spin. A different dynamics is observed in the strong-coupling regime. There, the spin relaxes towards one of the polarized states depending on its initial value. The relaxation is approximately logarithmic in time.

We propose an array of double quantum dots for the experimental realization of these collective effects. For the case of two double quantum dots, we calculate the tunnel current and find that it is modified by collective effects. The effect of superradiance in the two double dots leads to an increase of the tunnel current. For different parameters, also the opposite effect, the subradiance, occurs. This results in a decrease of the tunnel current.