

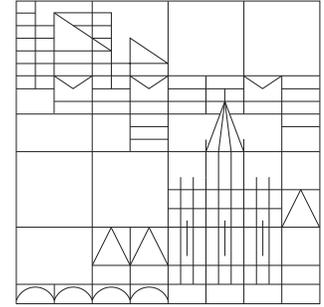
UNIVERSITÄT KONSTANZ

Fachbereich Physik

Prof. Dr. Guido Burkard

Dr. Andrey Moskalenko

<https://theorie.physik.uni-konstanz.de/burkard/teaching/16S-QI>



## Quanteninformationstheorie

### Sommersemester 2016 - Übungsblatt 8

Ausgabe: 13.06.2016, Abgabe: 20.06.2016, Übungen: 23./24.06.2016

#### Aufgabe 25: Gedämpfter harmonischer Oszillator

Betrachten wir einen harmonischen Oszillator  $H_0 = \omega a^\dagger a$  ( $\hbar = 1$ ), der mit einem Reservoir wechselwirkt. Wenn das Reservoir nur im Grundzustand ist, kann der harmonische Oszillator nur von einem angeregten Zustand zum nächsten tiefer liegenden Zustand durch Emission eines Photons abgeregt werden und kann keine Photonen absorbieren. Deshalb kann die Dämpfung des Oszillators durch den Lindblad-Operator  $L = \sqrt{\Gamma}a$  beschrieben werden, wo  $\Gamma$  die Rate ist, mit welcher der Oszillator vom ersten angeregten Zustand ( $n = 1$ ) zum Grundzustand übergeht ( $n = 0$ ).

a) (1 Punkt) Stellen Sie die Lindblad-Gleichung für den harmonischen Oszillator auf. Gehen Sie zum Wechselwirkungsbild mit  $H_0$  über. Wie sieht die Lindblad-Gleichung für den Dichteoperator im Wechselwirkungsbild  $\rho_I$  aus?

b) (3 Punkte) Bestimmen Sie die Zeitentwicklung des Vernichtungsoperators im Wechselwirkungsbild  $a_I(t)$ , wobei  $a_I(t = 0) = a$ . Finden Sie die Dynamik der Erwartungswerte  $\langle a \rangle(t)$  und  $\langle a^\dagger a \rangle(t) \equiv \langle n \rangle(t)$ .

c) (4 Punkte) Betrachten wir die Funktion

$$X(x, y, t) = \text{Tr}[\rho_I(t)e^{xa^\dagger}e^{-ya}],$$

wo  $x$  und  $y$  komplexe Zahlen sind. Benutzen Sie die Lindblad-Gleichung für  $\dot{\rho}_I$ , um eine Differentialgleichung für  $X(\lambda, \lambda^*, t)$  aufzustellen und zu lösen. Die Lösung soll in der Form

$$X(\lambda, \lambda^*, t) = X(\lambda', \lambda'^*, 0)$$

sein, wo  $\lambda'$  eine Funktion von  $\lambda$ ,  $\Gamma$  und  $t$  ist. Was ist die Funktion  $\lambda'(\lambda, \Gamma, t)$ ?

*Hinweis: Nutzen Sie die folgenden Kommutatorrelationen:*

$$[a, M(a^\dagger, a)] = \frac{\partial M(a^\dagger, a)}{\partial a^\dagger}, \quad [M(a^\dagger, a), a^\dagger] = \frac{\partial M(a^\dagger, a)}{\partial a},$$

d) (4 Punkte) Nehmen wir an, dass der harmonische Oszillator sich zum Zeitpunkt  $t = 0$  im sogenannten "cat state" befindet:

$$|\text{cat}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\alpha_1\rangle + |\alpha_2\rangle),$$

wo  $|\alpha\rangle$  einen kohärenten Zustand bezeichnet:

$$|\alpha\rangle = e^{-|\alpha|^2/2} e^{\alpha a^\dagger} |0\rangle.$$

$\alpha$  ist eine komplexe Zahl. Benutzen Sie das Ergebnis aus c), um den Dichteoperator zu einem späteren Zeitpunkt  $t$  abzuleiten. Mit welcher Rate werden die nichtdiagonalen Terme  $|\alpha_1\rangle\langle\alpha_2|$  und  $|\alpha_2\rangle\langle\alpha_1|$  von  $\rho$  unter der Annahme  $\Gamma t \ll 1$  gedämpft?