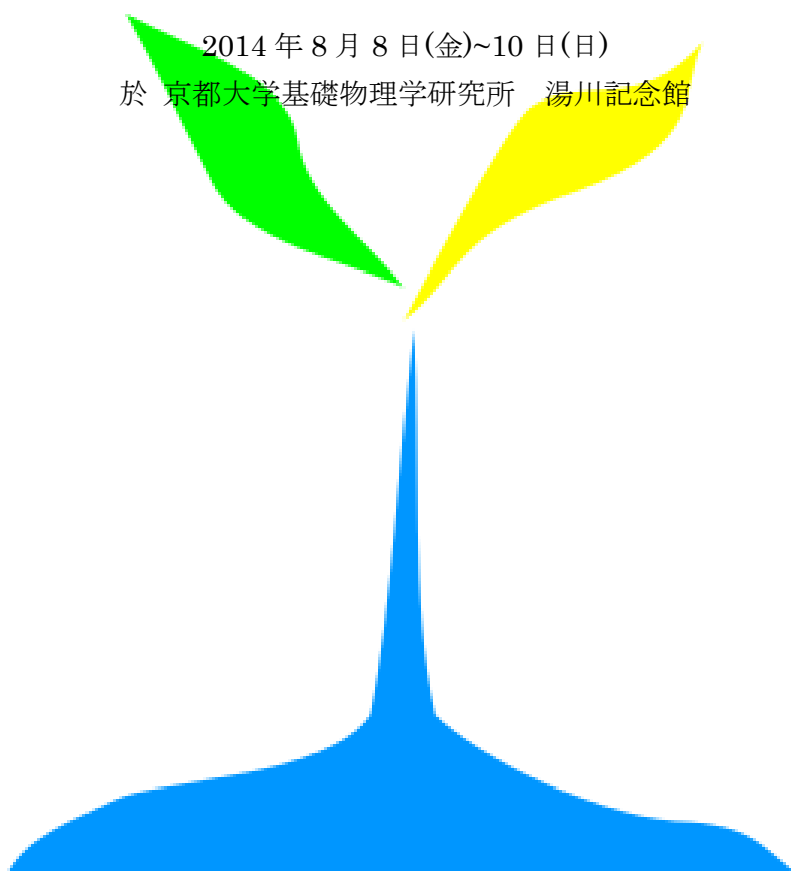


基礎物理学研究所 研究会

若手のための 量子情報基礎セミナー

2014年8月8日(金)~10日(日)
於 京都大学基礎物理学研究所 湯川記念館



目次

- 1 プログラムと基本情報
- 2 懇親会
- 3 企画内容
 - 3.1 講演会
 - 3.2 ポスタープレビュー
 - 3.3 ポスターセッション
 - 3.4 ポスター一覧

1 プログラムと基本情報

8日		9日		10日	
		9:30 - 10:30	「量子測定における Incompatibility」 宮寺先生	9:30 - 10:30	「超伝導量子ビットとマイクロ波を使った実験(仮)」 吉原先生
			休憩 (30min)		休憩 (30min)
		11:00 - 12:00	「量子測定における Incompatibility」 宮寺先生	11:00 - 12:00	「超伝導量子ビットとマイクロ波を使った実験(仮)」 吉原先生
12:45 - 13:15	受付			12:00 - 12:15	閉会
13:15 - 13:30	開会		昼食 (1h 30min)		
13:30 - 14:30	「量子計算の基礎:効率よく記述できるもの+α」 藤井先生	13:30 - 14:30	「量子情報理論と熱力学」 沙川先生		
	休憩 (30min)		休憩 (30min)		
15:00 - 16:00	「量子計算の基礎:効率よく記述できるもの+α」 藤井先生	15:00 - 16:00	「量子情報理論と熱力学」 沙川先生		
	休憩 (15min)		休憩 (15min)		
16:15 - 16:45	ポスターレビュー	16:15 - 16:45	ポスターレビュー		
	休憩 (15min)		休憩 (15min)		
17:00 - 18:15	ポスターセッション	17:00 - 18:15	ポスターセッション		
	移動など				
19:00	懇親会				

1.1 基本情報

日時：2014年8月8日(金)~10日(日)

場所：京都大学基礎物理学研究所 湯川記念館

参加費：500円(飲み物・お菓子代として)

Web page：<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~qisc2014.ws/>

お問い合わせ：qisc2014.ws@yukawa.kyoto-u.ac.jp

運営委員：佐久間大輔(東京理科大学) 増山雄太(東京大学) 川上駿(東京大学) 不破麻里亜(東京大学)

宮崎慈生(東京大学) 土井悠生(大阪大学) 達本吉朗(大阪大学) 佐藤貴彦(東京大学)

渡辺優(京都大学) 田中咲(慶應義塾大学) 新保厚(東京大学) 設楽智洋(東京大学)

共催：国立情報学研究所 量子情報国際研究センター

1.2 会場案内

京都市左京区北白川追分町

京都大学基礎物理学研究所 湯川記念館

講演会：パナソニック国際交流ホール(1階)

ポスター発表：2階・3階

交通案内・周辺のレストラン(<http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/contents/guide/>)



2 懇親会案内

場所：百万遍 しゃらく

〒606-8225 京都府京都市左京区田中門前町9

時間：19:00~

参加費：3000円（セミナー受付時に回収します。）



3 企画内容

3.1 講演会

講演1 8日午後

藤井 啓祐 先生 (京都大学 白眉センター 特定助教)

量子計算の基礎：効率よく記述できるもの + α

万能量子計算機は量子力学の原理に基づいて動く計算機であり、量子力学に基づく他のすべての物理系と互換性があるといえる。そのような万能量子計算機を記述・理解することは、その複雑さゆえに簡単ではないが、特殊なクラスに限定すると、その記述が可能となる。本講演では、そのような例である、クリフォード量子回路 (スタビライザー形式) について説明し、Gottesman-Knill の定理により古典計算機でシミュレーションが可能であることを示す。さらに、それにマジック状態蒸留を組み合わせることによって万能量子計算が構成できることを説明する。これは、複雑な量子系において、古典的に記述 (シミュレート) できる部分と記述できない (シミュレートできない真の意味で量子的な) 部分を切り分けることを意味する。

講演2 9日午前

宮寺 隆之 先生 (京都大学 工学研究科 准教授)

量子測定における Incompatibility

量子論では例えば位置と運動量と物理量を同時測定することはできません。このような「同時に実現することができない(Incompatible)」過程の存在は、量子論が古典論とは大きく異なる点です。この Incompatibility に焦点をあてながら量子論測定理論の基礎についてお話します。前半は、量子測定に登場する基本的概念として、物理量(POVM)やチャネル、インストゥルメントの導入を行い、後半はそれらの間の関係である不確定性関係や情報攪乱定理などについて触れる予定です。

講演3 9日午後

沙川 貴大 先生 (東京大学 総合文化研究科 准教授)

量子情報理論と熱力学

本講演では、情報と熱力学の関係について、基礎から最近の研究までを概観する。まず前半では、古典情報理論の初歩について簡単に解説したあと、量子情報量の定義と基本的性質について解説する。次に後半では、まず量子系における熱力学第二法則の定式化とその証明について解説する。その上で、第二法則が測定やフィードバックといった量子情報処理過程にどう拡張されるかを議論し、そこから量子情報処理に要するエネルギーコストの原理的下限が明らかになることを解説する。また、その一つの応用として、いわゆる「マクスウェルのデーモンのパラドックス」がどう解決されるかについても議論する。さらに、量子ディスコードを使った熱機関など、最近の研究についても紹介する。

講演4 10日午前

吉原 文樹 先生 (情報通信研究機構 主任研究員)

超伝導量子ビットとマイクロ波を使った実験

超伝導量子ビットは、ウェハー上にデザインされた超伝導体の薄膜で出来た電気回路です。その電気回路を極低温にしますと「人工原子」として振舞うようになり、量子力学特有の「重ね合わせ」、「もつれ合い」といった不思議な現象が観測出来ます。また、この「人工原子」はマイクロ波「光子」と大きな相互作用をします。本セミナーでは超伝導量子ビットとマイクロ波を使って行われた様々な実験を紹介するとともに、超伝導量子ビットを設計、作製、測定する様子をお話します。

3.2 ポスターレビュー

一人あたりのレビュー時間：1分

ポスター番号奇数番：8日

ポスター番号偶数番：9日

3.3 ポスターセッション

ポスター番号奇数番：8日は発表のみ、9日は発表・閲覧どちらも可

ポスター番号偶数番：8日は発表・閲覧どちらも可、9日は発表のみ

3.4 ポスター一覧

P-01	銅酸化物高温超伝導体を用いたテラヘルツ波発振素子の開発とその応用
	柏木 隆成
	筑波大学 数理物質系
	講師
	<p>我々は、銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) 単結晶をメサ状に加工したテラヘルツ波発振器の開発を進めている。この発振器の根幹は、Bi2212 単結晶内部に自然に存在する原子レベルで制御された多重ジョセフソン接合であり、厚さ $1 \mu\text{m}$ の Bi2212 単結晶には約 660 枚程度のジョセフソン接合が含まれる。現在、0.3–1 THz 程度の発振周波数、及び $30 \mu\text{W}$ (@~500 GHz) 程度の発振出力の連続発振を得ることが可能であり、応用例としてテラヘルツ波イメージング装置の開発も進めている。</p> <p>我々は、銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) 単結晶をメサ状に加工したテラヘルツ波発振器の開発を進めている。この発振器の根幹は、Bi2212 単結晶内部に自然に存在する原子レベルで制御された多重ジョセフソン接合であり、厚さ $1 \mu\text{m}$ の Bi2212 単結晶には約 660 枚程度のジョセフソン接合が含まれる。現在、0.3–1 THz 程度の発振周波数、及び $30 \mu\text{W}$ (@~500 GHz) 程度の発振出力の連続発振を得ることが可能であり、応用例としてテラヘルツ波イメージング装置の開発も進めている。</p> <p>発表ではこの発振器の詳細について説明させていただき、量子情報分野への展開等を皆様と議論させていただければ幸いです。</p>
P-02	量子可積分系と数え上げ幾何の表現論
	茂木 康平
	岡山光量子科学研究所
	研究員
	<p>量子可積分系は様々な数理物理、数学と密接な結びつきがある。最近行った研究で、可解確率過程を含むある非エルミート量子可積分系のクラスが、グラスマン多様体の数え上げ幾何の表現論を展開する場であることを見出したので、それについて説明する。</p>

P-03	量子鍵配送の安全性証明にトレース距離を用いることの疑問点
	岩越 丈尚
	玉川大学 量子情報科学研究所
	助教
	<p>量子鍵配送の最大の目的は、既存の暗号にない特徴である、証明可能な安全性を実現することである。一方で、その安全性理論の根幹となるトレース距離の解釈に批判が提出されている。その批判のポイントは大きく3つに分けられる。第一に、トレース距離が鍵配送の失敗確率になるという R. Renner の定理は、カップリング定理の誤用である。第二に、量子二値判定理論では、量子状態の推定に成功する確率にトレース距離が出てくるものの、トレース距離単体は確率の意味をもたないことである。第三に、配送された鍵は多ビットから構成されるため、本来は量子二値判定理論ではなく多値判定理論を使わなければならないことである。本発表では、上記批判の経緯を整理し、主に第一の論点に焦点を当てて議論したい。</p>
P-04	非断熱パラメータ操作による量子ポンプ
	渡邊 航太
	基礎物理学研究所
	D1
	<p>パラメータ変調の下でのポンプカレントは幾何学的位相と結びついていて、そこではゼロバイアスでも電流が生じる。従来はパラメータ操作速度がゼロの極限である断熱近似を用いて解析を行っていた。しかし、それでは実際のポンプカレントはゼロである。したがって、実用的なポンプを構築するためには有限速度における解析が必要となる。私は従来の断熱的な手法を非断熱的な場合に拡張し、その断熱からの非断熱的なずれを見出した。</p>
P-05	通信波長帯光子を用いたエンタングルメント抽出実験
	遠本 吉朗
	大阪大学大学院
	D1
	<p>バルクのβ-ホウ酸バリウム(BBO)結晶を用いた波長非縮退パラメトリック下方変換によって生成した通信波長帯 1551nm と可視域波長 780nm の偏光エンタングル状態の光子対を用いてエンタングルメント抽出の実験[1]を行った。エンタングルメント抽出とは、同じ位相雑音を受けてエンタングルメントが弱まった二つの光子対から、局所操作と古典通信によって一对の最大エンタングル状態を抽出する操作である。本研究では、液晶によって位相雑音を印加することで、エンタングルメントが弱まった光子対に対してエンタングルメント抽出を行い、抽出された光子対についてエンタングルメントが回復していることを確認した。</p>
	<p>[1] T. Yamamoto, M. Koashi, S. K. Özdemir, and N. Imoto, Nature, Vol. 421, No.6921, pp.343-346 (2003).</p>

P-06	ダイヤモンド単一 NV 中心における縮退スピンキュービットの量子ダイナミクス
	関口 雄平
	横浜国立大学
	学部 4 年
	量子情報通信・量子情報処理に用いられる量子メモリの候補としてダイヤモンド中の NV 欠陥中心がある。単一の NV 中心に捕獲された電子スピン、核スピンをパルス化した光波帯、マイクロ波帯の光子によりコヒーレントに量子制御することを目指して研究している。
P-07	クラスタ分析に対する量子アニーリング
	田中 宗
	京都大学基礎物理学研究所
	基研特任助教
	<p>量子アニーリングは、量子揺らぎを制御することによって最適化問題を解く量子情報処理手法である [1-3]。最適化問題に対して幅広く用いられているシミュレーテッドアニーリングが、熱揺らぎを制御することによって最適化問題を解く手法であることから、量子アニーリングはシミュレーテッドアニーリングの量子版とみなすことができる。量子アニーリングは、量子揺らぎを表現するパラメータを制御するというオプションを導入するだけで実装することができるため、量子モンテカルロ法や変分ベイズ法のような汎用的手法に対する適用が容易である。更に最近では、D-Wave Systems 社[4]による実機も開発されており、量子アニーリングの更なる可能性が期待されている。</p> <p>我々は、機械学習分野において重要であり、かつ広範な応用がなされているクラスタ分析に対し、量子アニーリング法の有用性を検討した。我々は熱揺らぎと量子揺らぎを同時に巧みに制御する「熱・量子同時制御型アニーリング法」を用い、実データを用いたクラスタ分析の問題を解析した。その結果、通常のシミュレーテッドアニーリング法よりも良い解をほぼ同程度の計算実行時間で得ることに成功した [5,6,7,8]。</p> <p>本研究は、佐藤一誠氏(東大情報基盤センター)、栗原賢一氏(Google)、宮下精二教授(東大院理)、中川裕志教授(東大情報基盤センター)との共同研究である。</p> <p>[1] T. Kadowaki and H. Nishimori, Phys. Rev. E 58, 5355 (1998). [2] 大関真之、西森秀稔、日本物理学会誌 66, 25 (2011). [3] S. Tanaka and R. Tamura, Kinki University Series on Quantum Computing Series “Lectures on Quantum Computing, Thermodynamics and Statistical Physics” (World Scientific, 2012). [4] http://www.dwavesys.com/en/dw_homepage.html [5] K. Kurihara, S. Tanaka, and S. Miyashita, Proceedings of the 25th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI2009). [6] I. Sato, K. Kurihara, S. Tanaka, H. Nakagawa, and S. Miyashita, Proceedings of the 25th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI2009). [7] 田中宗、栗原賢一、宮下精二、科研費特定領域研究「情報統計力学の深化と展開」研究会「情報統計力学の広がり: 量子・画像・そして展開」講演概要集 http://www.shutanaka.com/papers_files/ShuTanaka_DEXSML10.pdf [8] I. Sato, S. Tanaka, K. Kurihara, S. Miyashita, and H. Nakagawa, Neurocomputing 121, 523 (2013).</p>

P-08	測定で時間を認識できるか？
	小林 政友
	京都大学 大学院工学研究科 原子核工学専攻 量子物理学研究室
	D1
	<p>我々が実感する時間について、量子測定の枠組みを用いて考察を行う。</p> <p>時間を量子論(測定)の枠組みで扱うという試みは Quantum Clock として研究がなされてきた。これらの研究は、ストップウォッチのように時計系の初期状態とその後の状態測定により、どの程度の状態変化が生じたかという点に着目されることが多い[1]。一方で、我々は日常生活において、時間を連続的な変化をする対象としてとらえている。つまり、時計系への数回の測定によって時間を認識しているわけではなく、時計系への逐次測定によって時間を認識していると考えた方が合理的である。</p> <p>まず、対象系(時計系)に対して理想測定を連続して行うことを考える。この場合、量子 Zeno 効果によって対象系は時間的に凍結され、測定結果に変化を生じさせないことが分かる。これは古典的に言えば時計の針が止まっているような状態であり、我々が時間を認識するためには、このような理想測定に代表される、繰り返し測定可能(repeatable)な測定では不適であるという制限が得られる。また、測定結果が完全にランダムな結果を返す測定装置というものを考える。この測定装置は、対象系の状態に対する情報を全く含んでいないはずである。これは対象系に関する変化、つまり我々の実感する時間に対応する実在がないことを表している。したがって、このような測定装置も不適であることが予想される。加えて、我々が認識する時間とは一方向性を有するものであり、その対象系がこの一方向性と対応して常に新しい状態へと遷移していくことが望ましい。以上から、我々が認識するような時間を測定によって構成するためには、その対象系や測定方法(測定装置)に関して何らかの制限が生じることが分かる。本発表では、このような制限について考察を行う。</p> <p>[1] A. Peres: American Journal of Physics 48, 552 (1980), "Measurement of time by quantum clocks";</p>

P-09	共鳴二準位原子を用いた直交位相振幅の量子非破壊測定の実現法について
	倉持 結
	東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻
	博士課程 3年
	<p>Jaynes-Cummings 型相互作用をする共鳴原子を用いて共振器内の光子場の直交位相振幅の非破壊測定をする方法について理論的に考察する。本測定法においては、プローブとして用いる原子を二つ用意し、それぞれ基底状態と励起状態の重ね合わせで、直交するものに用意して、同じ時間だけそれぞれの原子と光子場を相互作用させる。相互作用時間を無限小にする連続測定極限において QND 測定が実現されることが示される。また、有限の相互作用時間による、QND からのずれについても、数値実験で調べた結果についても報告する。</p>

P-10	相互注入を行う縮退パラメトリック発振器系における量子性
	高田 健太
	東京大学、国立情報学研究所、理化学研究所
	D3
	コヒーレントコンピュータと呼ばれるイジングモデルのシミュレータが最近提案され、その量子性の有無に関心が持たれている。本発表では、逆位相の相互注入を行う2縮退パラメトリック発振器系を、正P表示を用いてシミュレーションした結果を報告する。系が徐々にポンプされる時、相互注入光の散逸が小さい場合は、二つの共振器内 OPO 電場を表す連続量状態の系は、直交振幅 ρ の量子的相関に起因したエンタングルメントを発振閾値下及び付近で示す。さらに発振閾値付近においては、直交振幅 x 方向の弱い重ね合わせ状態成分がわずかに生じる。最終的に閾値上では、逆位相のマクロな相関を持ったスクイーズドコヒーレント状態に到達する。また、ガウス状態を仮定した時の量子ディスコードの計算結果についても紹介する。
P-11	Study of finite temperature Bose-Hubbard model using ultra-high-resolution laser spectroscopy
	中村 悠介
	京都大学
	博士課程2年
	光格子中の冷却原子系は、高温超伝導などの強相関係のモデルとして知られるハバードモデルによって記述される。我々は、光格子中のイッテルビウム(Yb)原子系を用いて、ハバード系の相図を明らかにする研究を行っている。今回は、特に、有限温度におけるボース・ハバード系の研究を行ったので報告する。 これまでに、ボース・ハバード系において、原子集団をトラップから解放した際の原子波の干渉の違いから、モット領域近傍での常流動・超流動転移が観測されている。しかし、この方法は、コヒーレンスピークの生じない強相関領域では有効でない。そこで、我々は、光格子中イッテルビウム原子(^{174}Yb)の超高分解能分光を用いて、強相関領域の振る舞いを実験、理論の両面から明らかにする。
P-12	微弱コヒーレント光を用いた入力光の位相を保持する部分波長変換器の実証実験
	小林 俊輝
	大阪大学大学院 基礎工学研究科 井元研究室
	D1
	周波数自由度のビームスプリッターとして記述される波長変換では、変換効率によらず変換光と非変換光が入力光の位相を保持することが期待される。我々は、平均光子数が1以下の波長780nmレーザー光を入力光としてPPLNを用いた差周波発生過程によって波長1522nmに波長変換を行った。その結果、本波長変換器で到達できるいずれの変換効率においても、変換光および非変換光ともに0.88を超える高い明瞭度で入力光の位相を保持できることを確認した。

P-13	弱い量子連続測定
	中嶋 慧
	筑波大学 数理物質科学研究科 都倉・久保研究室
	博士課程1年
	<p>弱い量子連続測定について考える。例えば、2つのリードと結合した量子ドット系における量子輸送を、ドットの近くに設置した量子ポイントコンタクトを流れる電流によって測定する場合は、弱い量子連続測定にあたる。弱い量子連続測定(一般に誤差を含む)によって量子系のダイナミクスがどのように変化するかは理論的に明らかではない。</p> <p>従来の量子連続測定の体系では、短い時間間隔ごと間接測定(測定装置を測定することで、注目系を測定する)をすることで、連続測定を表わしている。更に、装置の測定は理想的(誤差なし)を仮定しているのが普通である。また、使っている間接測定の理論体系では、測定前に注目系と装置の状態が独立(テンソル積になっている)であり、更に装置は(いつも同じ)純粋状態にあると仮定している。しかし、実際の測定はこのようなものではないはずである。一方、Menskyの制限経路積分の方法[1]や Non-Markovian quantum trajectoryの方法[2]のように、ある時刻の状態が、それ以前の時刻の測定データの汎関数として決まるという理論体系も存在する。私はこのような理論を採用すべきだと思う。このポスター発表では、実際の測定とはどのようなものかについて議論したい。</p> <p>[1] M. B. Mensky, Phys. Lett. A 196, 159 (1994). [2] S. Kronke and W. T. Strunz, J. Phys. A Math. Theor. 45, 055305 (2012).</p>
P-14	Measurement-device-independent quantum key distribution for Scarani-Acin-Ribordy-Gisin 04 protocol
	水谷 明博
	阪大基礎工
	博士前期課程2年
	<p>測定装置無依存量子鍵配送(MDI QKD)は、その安全性が光子検出器の不完全性によって脅かされない方式としてBB84に基づいて近年提案された。状態準備&測定 QKDと同様に、BB84以外のプロトコルでMDI QKDを考察することは実用上も基礎研究的にも重要な問題である。本研究で我々はSARG04に基づいたMDI QKDを検討し、その安全性証明を与えた。</p>
P-15	発表取り消し

P-16	Classical Realization of Dispersion Cancellation by Time-Reversal Method
	小川 和久
	京都大学大学院 工学研究科 電子工学専攻 北野研究室
	博士課程 2 回生
	We propose a classical optical interferometry scheme that reproduces dispersion-insensitive Hong-Ou-Mandel interferograms. The interferometric scheme is derived from a systematic method based on the time-reversal symmetry of quantum mechanics. The scheme uses a time-reversed version of a Hong-Ou-Mandel interferometer with pairs of orthogonally polarized input laser pulses. We experimentally demonstrate automatic dispersion cancellation using the interferometry. The results show that the interferometer can obtain high-visibility interferograms with high signal conversion efficiency.
P-17	パルス OPO の干渉を用いたイジング計算機の大規模 MAX-CUT によるベンチマーク
	針原 佳貴
	東京大学/国立情報学研究所
	M2
	OPO をネットワークとしてつなぎ合わせることで組合せ最適化問題が効率良く解けることが分かっている。実際に大規模な系を組み立てるため、ファイバーリング共振器にホモダイン検波と FPGA によるフィードバックをかけるモデルが提案された。このモデルにおいて、サイズ 20,000 までの MAX-CUT の計算時間が $n^{0.3}$ でスケールすることを示す。
P-18	Holographic gauge theories in AdS4 and entanglement entropy
	石原 雅文
	東北大学AIMR
	助手
	We study the gauge theories in AdS4 by gauge/gravity correspondence. By studying the glueball spectrum, we find that the theory has phase transition between confining phase and deconfining phase at a critical temperature. We also calculate the holographic entanglement entropy in AdS4 by using the Ryu-Takayanagi formula.

P-19	<p>オプトメカニカルシステムによるフォノンの量子操作に向けて</p> <p>佐藤 健次</p> <p>東京大学 工学系研究科 物理工学専攻 中村・宇佐見研究室</p> <p>博士課程1年</p> <p>気体原子やイオン等の量子操作を目的としたレーザー冷却の手法が発達してきた。近年、レーザー冷却の手法は固体の巨視的な自由度にも適用されつつある。特に、電磁波によって微小機械振動子の量子状態を制御しようという試みはオプトメカニクスと呼ばれる。このような微小機械振動子のレーザー冷却は環境との相互作用による散逸過程も考慮する必要がある。本研究では窒化シリコン薄膜を用いたオプトメカニカルシステムを構築し、機械振動モードの量子状態制御技術の確立を目指す。レーザー冷却による機械振動子の振動基底状態の実現に関して、研究の進捗状況及び展望について議論する。</p>
------	--

P-20	<p>エンタングル状態に対する古典情報の符号化と復号化</p> <p>新保 厚</p> <p>東京大学大学院 理学系研究科 物理学専攻</p> <p>修士2年</p> <p>量子論における情報処理の限界を探る量子情報理論において、最も基本的な情報処理である符号化と復号化を解析することは重要である。古典情報の符号化とは与えられた量子状態を入力した古典情報に応じた量子状態へ変換することである。それに対する復号化は量子状態に対し測定を行い、その状態に対応した古典情報を読み出すことである。量子情報処理における符号化・復号化が、状態の持つ非局所性からどのような影響を受けるのかは未解明な点が多い。</p> <p>本研究では、与えられたエンタングル状態に対し符号化・復号化できる古典情報量についての解析を行い、特に古典通信無しの場合の局所的符号化について、次の結果を得た。まず、古典通信無しの場合の局所的符号化がランダムネスに制限のあるランダムユニタリ通信路によって記述できることを示した。この結果を用いることにより、多量子ビット系と多体 d 準位系において、局所的符号化によって最低限、符号化できる古典情報量を求めた。</p>
------	---

P-21 強磁性体マグノンの共振器冷却に向けて

長田 有登

東大工

大学院生

レーザーによって物質を冷却するというアイデアは気体原子の Bose-Einstein 凝縮の実現という形に結実した。近年、気体原子の他に機械振動子の振動モードの基底状態近くへの冷却が実現された。これは光共振器によってアンチストークス散乱をストークス散乱よりも優位にすることによって実現されるため、共振器冷却と呼ばれる。我々はこの共振器冷却の技術は固体中の素励起にも原理的に適用可能であると考え、とくに強磁性体中の一様マグノンモードに着目し、共振器冷却の技術を適用することを目的とする。

具体的には強磁性体として、イットリウム鉄ガーネット(YIG)の微小球を用いる。我々は YIG 微小球における Whispering Gallery Mode と呼ばれる光共振モードを用いてマグノンを共振器冷却し、それを光またはマイクロ波によりそれをプローブすることを目標としている。本発表では、これまでに得られた結果を報告する。

P-22	<p>超伝導量子ビットを用いた強磁性マグノンモードの 量子状態制御</p>
	<p>石野 誠一郎</p>
	<p>東京大学先端科学技術研究センター</p>
	<p>修士課程一年</p>
	<p>近年、超伝導量子ビットと光のモードの間における量子状態の変換を実現し、マイクロ波領域での量子計算と、通信波長帯での長距離量子通信とを組合せようとする研究が盛んに行われている。強磁性体中の電子スピン集団が形成するマグノンモードは、マイクロ波および通信波長帯の両領域の光子と結合するため、上記の目的を達成するための変換媒体として利用できると期待される。強磁性体試料中では、近距離力である強い交換相互作用と、長距離力である双極子相互作用とのために、電子スピン集団は試料寸法と同程度の波長をもつ強固なモード(静磁モード)を形成する。とりわけ、空間的に一様なモード(Kittel モード)は大きな双極子モーメントを持ち、外場との結合が強い・モード整合が容易であるという利点がある。</p> <p>強磁性絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット (YIG) は、マイクロ波領域における強磁性共鳴線幅が非常に狭いことで知られている。本ポスターの前半では、無酸素銅製矩形空洞共振器中のマイクロ波 TE101 モード(共振周波数 10.5 GHz)と、YIG 単結晶球中の Kittel モードとの結合実験について報告する。10 mK において上記の実験を行った結果、例えば直径 0.5 mm の試料では 47 MHz という結合強度が得られた。これは共振器の線幅 2.7 MHz, Kittel モードの線幅 1.1 MHz と比べて非常に大きく、実験系は強結合の領域にあることが実証された[1]。また、Kittel モードの線幅は 1 K 以下で特徴的な温度依存性を示した。これらの振舞いと、2 準位系熱浴による緩和理論[2]との間の対応についても議論する。</p> <p>空洞共振器モードを介することで、超伝導量子ビットを Kittel モードとコヒーレントに結合させることが可能になる。次に、拡張した銅製矩形空洞共振器中に YIG 単結晶球とトランズモン型超伝導量子ビットを配置し、共振器中の TE102 モードの仮想マイクロ波光子を介した両者の結合を試みた。共振器モードが全て量子ビットから離調されている状況でマグノン周波数を掃引すると、量子ビットの励起周波数付近において、両者の間の強結合を証明する反交差が観測された。また、適当な周波数のドライブ波を入力すると、2 光子過程に起因するパラメトリックな結合が観測された。パラメトリックな過程を用いることで、Kittel モードと超伝導量子ビットとの間の結合を高速にオン・オフすることが可能になる。このような結合を利用すれば、時間領域における Kittel モードの量子状態制御が可能になる。Kittel モードの非古典状態、例えば Fock 状態やスクイーズド状態の生成・検出に向けた実験の準備を現在進めている。</p>
	<p>[1] Y. Tabuchi et al., arXiv:1405.1913 (2014).</p>

P-23	弱測定を用いた検定手法の提案とその評価
	田中 咲
	慶應大学大学院 理工学研究科 基礎理工学専攻
	後期博士課程 3年
	<p>事前事後選択を行う弱測定は、装置系の針が相互作用の強さの因子と弱値に比例して動く。弱値は事前・事後選択状態を変化させることで無限に大きくなる特徴を持っている。そのためこの測定方法は相互作用の強さを増幅して測る手法として用いられてきた。この手法は弱値増幅法と呼ばれている。</p> <p>弱値増幅法の有用性に関しては賛否両論ある。最近では、事後選択の失敗まで考慮するようになり弱値増幅は効率的ではないと考えられるようになってきた。一方で、未知の系統誤差に関して耐性があることも分かってきた。しかしながら、これまでの議論は推定問題のみであった。信号検出を統計の問題として考えると推定論だけでなく検定論の議論が必要となる。本研究では、検定問題の視点から弱値増幅の有用性について議論する。</p>
P-24	共振器中の真空場と結合した冷却原子集団の光学応答の非線形性
	鈴木 泰成
	東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 小芦研究室
	博士課程 1年
	<p>Cavity QED の分野では光共振器中で特定モードの電磁場のみを原子と強く相互作用させ様々な量子現象を簡潔な系で実現出来る。特に高いフィネスを持つ共振器を用いれば、光子を含まない真空場との結合であっても真空ラビ分裂のような原子集団の光学応答の変化が観測できる。このことは、従来の古典光を用いた光学応答操作の一部は強く結合した真空場で代替出来る可能性を示唆している。本ポスターでは真空場を用いた光学応答操作の先行研究として知られている真空場誘起透明化についての定量的な解析を踏まえた上で、真空場応答との結合による光子数に敏感な非線形効果の獲得の可能性について議論する。</p>

P-25	コヒーレントフィードバック制御による Back-Action Evasion
	横寺 裕
	慶應義塾大学 理工学研究科 基礎理工学専攻 物理情報システム専修 山本研究室
	大学院 1年(M1)
	<p>量子光学の応用分野の1つに、重力波などの微弱信号の検出が挙げられる。このような信号検出においては、センサーとなる振動子の付いたキャビティに光を入力し、その出力光に目的信号の情報を乗せることを考える。出力光には、入力光のP成分によるノイズ(shot noise)とQ成分によるノイズ(back-action noise)が含まれるため、ハイゼンベルグの不確定性関係から、ノイズのパワーには下限(標準量子限界:SQL)が存在する。このSQLを破り、より高精度に目的信号を検出するための手法の1つとして Back-Action Evasion(BAE)が提案されている。その目的は、back-action noise をキャンセルさせて出力信号に現れないようにすることであり、システム設計の観点から、BAE とは入力光のQ成分から出力光のP成分への伝達関数がゼロとなる系の設計問題と解釈できる。さらに、S/N比やロバスト性などを考慮する場合、設計論として理論整備されているフィードバック制御の設計問題として研究を進めることが有効であると期待される。本研究では、BAEを達成するコヒーレントフィードバックコントローラを紹介し、更なる検出精度の向上に向けて求められる設計問題についても触れる。</p>
P-26	two Unruh De Witt detector system の定常状態
	久木田 真吾
	名古屋大学 重力・素粒子的宇宙論研究室
	博士後期課程 1年
	<p>Unruh 効果や Hawking 輻射に対する解析法の一つとして、対象となる量子場と結合した有限自由度の量子系を用いる Unruh De Witt detector model がある。近年、量子マスター方程式を用いて Unruh De Witt detector の長時間発展を追う手法が提案されたが、その詳細な解析や方法の意味付けについてはあまりわかっていなかった。我々は2つの Unruh De Witt detector の長時間発展について調べ、この系が定常状態として非自明なエンタングル状態を持つことを示した。またその過程で、量子マスター方程式がなぜ長時間発展を追うことができるのかについて通常の摂動計算との比較の観点から明らかにしたので、これらの結果について発表する。</p>
P-27	ホッピングパラメタが振動する Bose Hubbard model のダイナミクス
	森田 大地
	筑波大学
	博士前期過程 1年
	<p>近年、光格子中の冷却原子を用いることで Bose Hubbard model を直接実験できるようになっており、その解明による固体物理への貢献が期待されている。1次元 Bose Hubbard model においては初期状態として同一サイトに局在した2粒子を考えると、相互作用が大きな極限で初期状態のまま局在することが知られている。我々はホッピングパラメタの振動を考えることによりこのような局在が壊れることを数値計算により示し、その様子を明らかにした。</p>

P-28	連続測定による複素結合確率の検証
	鈴木 佑太郎
	広島大学 先端物質科学研究科
	博士後期課程 3年
	2つの非可換物理量の結合確率分布によって量子状態や量子パラドックスを記述することができるが、複素数の値を取りうることや非可換物理量を同時に決定できないことから、どのようにして複素結合確率が得られるのか明らかでない。本発表では測定の反作用も含んだ連続測定を偏光状態に行った際、得られる確率分布と測定前の状態を表す複素結合確率分布のつながりについて実験検証した結果について報告する。
P-29	マッハツェンダー干渉計におけるコヒーレント光の振幅ノイズと干渉明瞭度
	遠藤 傑
	慶応義塾大学理工学研究科基礎理工専攻理論研究室
	修士 1年
	コヒーレント光の位相と平均光子数が受けるノイズが、単一光子検出器及び、ヘテロダイン検出を行ったときにどのように影響を与えるか考察した。
P-30	Numerical Braiding of Majorana Fermions on finite size nanowires
	Amorim Cassio
	名古屋大学工学研究科マテリアル理工学専攻応用物理学
	M2
	Superconductors hosting long-sought excitations called Majorana fermions may be ultimately used as qubits of fault-tolerant topological quantum computers. A crucial challenge toward the topological quantum computer is to equip quantum operation of nearly degenerate quantum states as a dynamical process of Majorana fermions. We investigate the braiding dynamics of Majorana fermions on superconducting nanowires. Surprisingly, a non-adiabatic dynamical process dominates the non-Abelian braiding that operates qubits of Majorana fermions. Our simulations clarify how qubits behave in the real-time braiding process, and elucidate the optimum condition of superconducting nanowires for efficient topological quantum operation.

P-31	超伝導量子ビットを用いたマイクロ波光子数分布の測定
	河野 信吾
	東京大学先端科学技術研究センター
	M1
	超伝導量子ビットとマイクロ波 3次元空洞共振器を用いて Cavity QED の実験を行った。超伝導量子ビットの共鳴周波数が共振器内の光子数に応じて離散的に変化する“離散的 ac Stark シフト”を測定することで共振器モードの様々な光子数分布を測定した。 まず、熱平衡状態、コヒーレント状態の光子数分布を測定し、最終的に、Josephson パラメトリック増幅器で発生させたスクイーズド真空状態の特徴的な光子数分布を測定することに成功した。
P-32	Security of 6-state protocol with biased basis choice using threshold detectors
	川上 駿
	東京大学工学系研究科
	D1
	量子暗号は次世代暗号システムの候補として注目を集めている。その量子暗号の中核を担うのが量子鍵配送プロトコルであり、量子状態のやりとりによって二者間で秘密鍵を共有する方法のことを指す。最も有名な方式は BB84 プロトコルと呼ばれ、既に商品化も行われている。一方で今回の研究では BB84 よりも鍵共有効率が良いことで知られる 6-state プロトコルに注目した。特に、今回は受信側に光子数を区別できない現実的な検出器を仮定したもとでその安全性を証明した。その結果、現実的な装置を用いた場合においても 6-state プロトコルが BB84 に対して明確な優位性を持っていることが示された。
P-33	因数分解の統計力学モデルの性質
	中島 千尋
	原子分子材料科学高等研究機構
	助教
	素因数分解問題を統計力学的に定式化し、その静的な物理量(内部エネルギー、比熱、レプリカオーバーラップ関数)の振る舞いを調べ、相転移の有無およびその性質を議論する。計算機科学における NP 完全問題の統計力学モデルはスピングラス転移(絶対零度 RS-RSB 転移)の振る舞いで特徴付けられることが知られているが、NP 完全とはみなされていない計算困難問題を相転移で特徴付けられるかなどを問う。

P-34	量子状態トモグラフィの統計的考察
	田中 良和
	大阪大学大学院基礎工学研究科
	博士前期課程 1年
	量子状態トモグラフィを物理的な観点からではなく、統計的な観点から考察した。量子状態トモグラフィによって推定される値は誤差を含むことが知られており、その誤差は均一で小さいほど量子状態トモグラフィは実用的であるといえる。このことを考慮し、本研究では、誤差の大小に注目して量子状態トモグラフィを比較検討した。具体的には、最尤推定によるトモグラフィやベイズ推定によるトモグラフィなど複数のトモグラフィについて、乱数によって生成したデータに対し、推定量とデータの誤差を計算し比較した。