

<http://maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lectures/MC/index.htm>



## 平成25夏学期 力学B(524教室)

担当: 鳥井 寿夫  
教養学部 統合自然科学科  
総合文化研究科 広域科学専攻  
16号館224A(レポート返却先)  
ytorii@phys.c.u-tokyo.ac.jp

## H23年度のページ(参考)

科目: 平成23年度夏学期 力学B (1100教室) 担当: 鳥井 寿夫(としい じゅふ)

居室: 16号館224A  
tel: 03-5454-6757 (内線46757)  
e-mail: ytorii@phys.c.u-tokyo.ac.jp

授業日: 毎週木曜2限(10:40~12:10)、4月14日~7月14日(計13回) \*7月20日(木)3限(@1100)に補講を行います。  
評価: 毎回の授業で出されるレポート(50%) + 期末試験(50%)  
レポートの提出期限: 次回の授業の開始前、教室にて回収。  
教科書: 特に指定しない。以下に参考書をつける

① **ファイマン物理学の力学** (岩波書店)  
ノーベル物理学賞のファイマンが1960年代にカリフォルニア工科大学でひたすら一度だけ行った12年生向けの講義を録音し、それを同僚のレイテン、サンズが教科書にまとめたもの。[力学]という科目にとらわれず、物理学全体または他の学問分野を前に視野に入れた説明は、他の教科書では見られない。図や具体例も豊富で、数学の説明も丁寧である。今や古典的名書である。他の巻(II~V)も含めて、物理に関わる学生は、できれば原書で読んでほしい。

② **島原邦夫著、物理学序論としての力学** (東洋大学出版会)  
古典力学の歴史的背景がよくわかる。脚注に著者が行った実験データが多数取り入れられており、情熱が伝わってくる。実のある一冊。

③ **長瀬保夫著、考える力学** (学研図書出版)  
力学で考えたい問題をシミュレーションによってある。数学の説明が丁寧である。身近な例をふんだんに取り入れてあり、面白く読める。物理未修者にはおすすぬ。

**講義スライド全部(5.4MB) レポート問題全13回分(1.3MB) 試験問題(1年生用) 試験問題(2年生用)**  
**\*6/9の2スライドの「減衰振動」のページに誤りがありました(2011.8.16)。修正後のスライドはこちら。減衰振動の正しい解はこちら。**

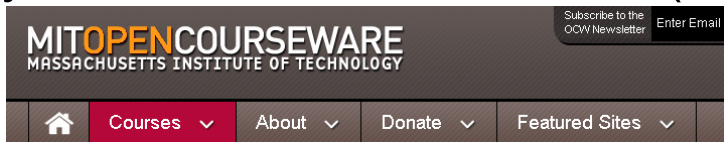
回	日付	内容	レポート問題	原簿物	講義スライド
1	4/14	物理学とは、物理学の現在、物理学・単位、次元、次元解析	pdf	なし	pdf
2	4/21	単位の換算、微分による速度と加速度の定義、様々な加速度	pdf	x-t, v-t, a-t グラフ(pdf)	pdf
3	4/28	等速円運動、ケプラーの法則、ニュートンの運動の法則	pdf	なし	pdf
4	5/12	ニュートンの運動方程式、重力定数と重力加速度、慣性質量と重力質量、撃力近似、モンキーハンティング	pdf	なし	pdf
5	5/19	古典物理の全て、「重さ」とは何か、作用反作用の法則と力のつりあい、力と運動量	pdf	なし	pdf
6	5/26	運動量保存則、様々な力(弾性力、束縛力、摩擦力、抵抗力)、力学で扱う微分方程式の種類	pdf	なし	pdf
7	6/2	線形常微分方程式の解法、放射線崩壊、単利と複利、マクローリン展開とテイラー展開、オイラーの公式、単振動	pdf	なし	pdf
8	6/9	抵抗力と終端速度、非斉次方程式の解法、減衰振動	pdf	なし	pdf *誤りが多いです
9	6/16	強弱振動、共振現象を用いた運動の応用	pdf	なし	pdf
10	6/23	車輪の滑り、角運動量、力のモーメント、慣性モーメント	pdf	なし	pdf
11	6/30	角運動量保存則、軌道のつりあい、重力のトルク、重心の運動	pdf	なし	pdf
12	7/7	代りるべし、地球ユマ、仕事の問題、運動エネルギー	pdf	なし	pdf
13	7/14	ポテンシャル、力学的正エネルギー保存則	pdf	なし	pdf
14	7/20	補講(3限@1100): 相対運動と慣性力	なし	なし	pdf

# 参考書



- 「**ファインマン物理学I 力学**」(岩波書店)  
「たった一つの文章しか次の世代に伝えられないとしたら、最小の語数で最大の情報を与える言葉は『原子仮説』だろうと思う」  
(第1章 「踊るアトム」より)
- **藤原邦夫**著「**物理学序論としての力学**」  
(東京大学出版会)
- **兵頭俊夫**著「**考える力学**」(学術図書出版)

## MIT Open Course Ware Physics I: Classical Mechanics (1999)



[Home](#) > [Courses](#) > [Physics](#) > [Physics I: Classical Mecha](#)

### Physics I: Classical Mechanics

- [COURSE HOME](#) <
- [SYLLABUS](#)
- [CALENDAR](#)
- [LECTURE NOTES](#)
- [ASSIGNMENTS](#)
- [EXAMS](#)



**Instructor(s)**  
Prof. Walter Lewin

**MIT Course Number**  
8.01

**As Taught In**  
Fall 1999

**Level**  
Undergraduate

**Translated Versions**  
(한국어) 한국  
Türkçe

[CITE THIS COURSE](#)



<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01-physics-i-classical-mechanics-fall-1999/>

# 物理学とは

- 自然界に見られる現象の法則性を**実験**または**観測**で見出し、**数学**を用いて記述する。
- 物理法則は、その正しさが**測定**の「**不確かさ**」の**範囲**で**検証**される（**証明**はされない）。実験物理学者は、物理法則の**適用範囲**を日々実験によって**拡張**している。
- 既存の物理法則で説明できない**実験結果**、**観測結果**が得られた場合、それを説明する**理論**を理論物理学者が提唱する。

## 「不確かさ」の重要性

寝ているときの身長は、立っているときの身長より高いか？

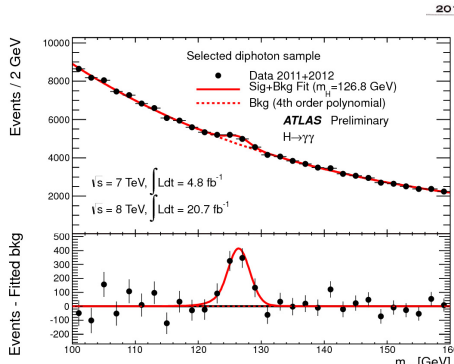


<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01-physics-i-classical-mechanics-fall-1999/video-lectures/lecture-1/>

Any measurement without the knowledge of its uncertainty is completely meaningless!

「不確かさの情報のない測定には全く意味がないのだ！」

# ヒッグス粒子(?)の発見



2012年(平成24年)7月5日 木曜日

## ヒッグス粒子が発見

### 万物の重さの源

国際チーム発表

ヒッグス粒子の発見は、素粒子物理学の最大の謎の一つを解き、自然界の法則を明らかにする重要な一歩を踏み出した。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す役割を果たしていると考えられており、その発見は、素粒子物理学の標準模型を完成させる重要な証拠となる。今回の発見は、ATLASとCMSの国際チームが、LHCで観測したデータに基づいて発表された。

ATLASとCMSの国際チームは、LHCで観測したデータに基づいて、ヒッグス粒子の存在を強く示唆する証拠を発見した。この発見は、素粒子物理学の標準模型を完成させる重要な証拠となる。今回の発見は、ATLASとCMSの国際チームが、LHCで観測したデータに基づいて発表された。

ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す役割を果たしていると考えられており、その発見は、素粒子物理学の標準模型を完成させる重要な証拠となる。今回の発見は、ATLASとCMSの国際チームが、LHCで観測したデータに基づいて発表された。

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/HiggsPublicResults>

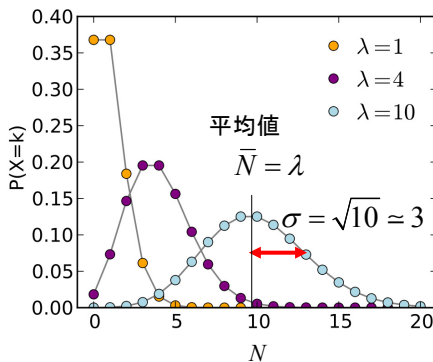
有意度:  $3\sigma$  (粒子がなくとも0.3%の確率で起こり得る) → 兆候 (evidence)

有意度:  $5\sigma$  (粒子がなければ0.00006%の確率でしか起こり得ない) → 発見 (discovery)

# ポアソン分布とその幅(標準偏差)

全く予測できない事象が一定時間(区間)で起こる回数の分布

ポアソン分布  $P(N) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^N}{N!}$   $\xrightarrow{\bar{N} > 10}$  正規(ガウス)分布  $P(N) \approx \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(N - \bar{N})^2}{2\sigma^2}\right]$



$\sigma = \sqrt{\bar{N}}$  分布の幅(標準偏差)は平均値のルート

<ポアソン分布に従う例>

- 1時間に特定の交差点を通過する車の台数
- 単位面積あたりの雨粒の数
- 1日に受け取る電子メールの件数
- 1時間あたりの電話がかかってくる件数
- ある一定の時間内の店への来客数
- サイコロを100回振って、1の出る回数
- 600世帯のうち、つまらん番組を見ている世帯数

[https://en.wikipedia.org/wiki/Poisson\\_distribution](https://en.wikipedia.org/wiki/Poisson_distribution)

# 古典物理学の形成

- 1543 コペルニクスの地動説
- 1604 落体の法則(ガリレオ)
- 1619 ケプラーの法則
- 1620頃 慣性の法則(デカルト)
- 1687 **ニュートンの運動の3法則、万有引力の法則**
- 1785 クーロンの法則
- 1820 アンペールの法則
- 1831 ファラデーの電磁誘導の法則
- 1864 **マクスウェル方程式**
- 1897 電子の発見(トムソン)
- 1905 **特殊相対性理論(アインシュタイン)**

# 古典物理(～1905)の全て

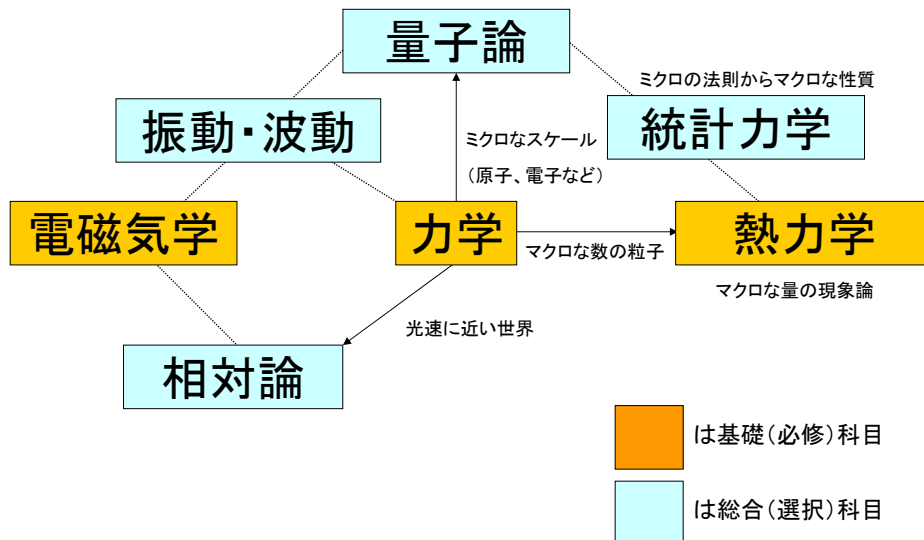
表 18-1 古典物理

マクスウェル方程式		<b>電磁気学</b>
I. $\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	(閉曲面を通る電束) = (内部の電荷)/ $\epsilon_0$	
II. $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	(ループをめぐる $\mathbf{E}$ の線積分) = $-\frac{d}{dt}$ (ループを通る $\mathbf{B}$ の流束)	
III. $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	(閉曲面を通る $\mathbf{B}$ の流束) = 0	
IV. $c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$	$c^2$ (ループをめぐる $\mathbf{B}$ の積分) = (ループを通る電流)/ $\epsilon_0$ + $\frac{d}{dt}$ (ループを通る電束)	
電荷の保存 $\nabla \cdot \mathbf{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$		(閉曲面を通る電流の流束) = $-\frac{d}{dt}$ (内部の電荷)
力の法則 $\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$		
運動の法則 $\frac{d}{dt}(\mathbf{p}) = \mathbf{F}$ , ただし	$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ (アインシュタインの修正によるニュートンの法則)	<b>相対論</b>
万有引力 $\mathbf{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \mathbf{e}_r$	<b>力学Bはこれだけ</b>	

# 古典力学を勉強する理由

- 歴史の洗礼を受けている(学問のお手本)
- 微分・積分を使って自然現象を記述する練習
- 力、加速度、運動量、エネルギー、保存則、つりあい、共鳴、などの概念は、他の自然科学分野でも重要
- 日常生活に役立つ
- 面白い(?)

# 力学と他の物理科目との関係

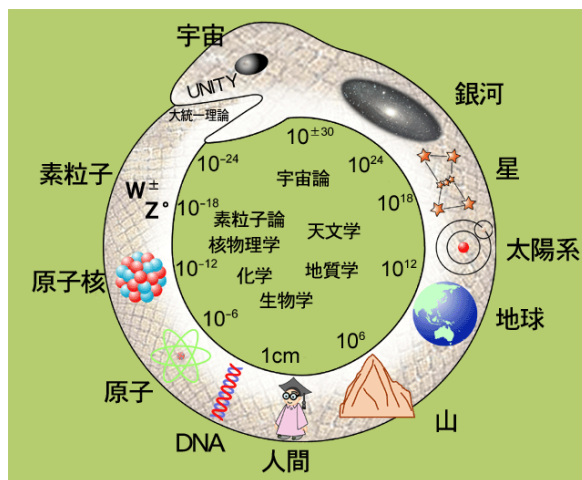


# Powers of Ten (1977)



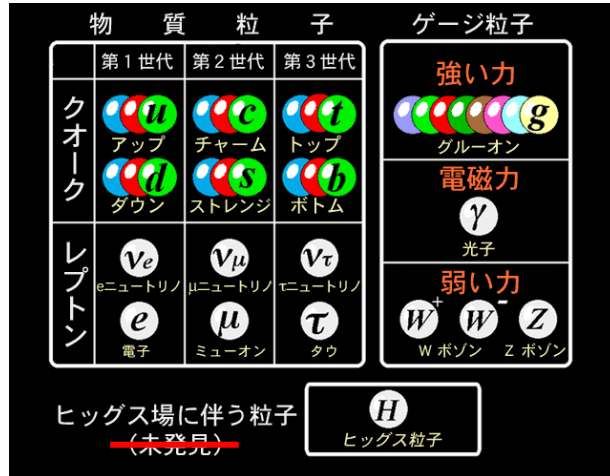
<http://www.powersof10.com/film>

# ウロボロスの蛇



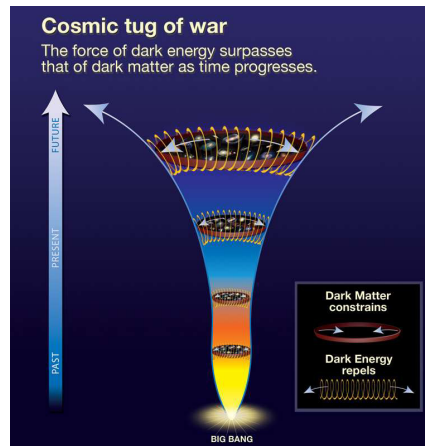
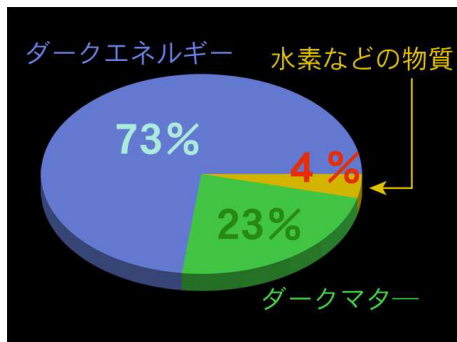
<http://www.kek.jp/newskek/2006/novdec/Satointerview.html>

# 素粒子の標準理論



<http://www.kek.jp/newskek/2003/mayjun/photo/km1.gif>

# ダークマター・ダークエネルギー



<http://www.kek.jp/newskek/2010/mayjun/darkmatter.html>

<http://www.space.com/1272-greatest-mysteries-rest-universe.html>



# 第0章 単位系

## 物理量の次元と単位

- 物理量 (physical quantity) : 測定によって定量化される量
- 単位 (unit) : 各物理量の基準となる大きさ
- 次元 (dimension) : 物理量の質的違いを表す概念  
(足すことに意味がある物理量は同じ次元を持つ)  
この授業では、物理量Aの次元を[A]と表す。

(例)

エネルギーの次元を持つ物理量

熱 仕事  
運動エネルギー  
位置エネルギー

エネルギーの単位

カロリー (cal)  
ジュール ( $J = N \cdot m$ )  
キロワット時 (kWh)

## 国際単位系 (SI) (基本単位)

	物理量	単位の名称	記号	
基本単位	長さ	メートル	m	} MKSA 単位系
	質量	キログラム	kg	
	時間	秒	s	
	電流	アンペア	A	
単位	温度	ケルビン	K	
	物理量	モル	mol	
	光度	カンデラ	cd	
補助単位	平面角	ラジアン	rad	
	立体角	ステラジアン	sr	

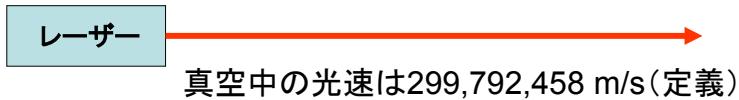
\* その他の単位は、上の基本単位の乗除のみで表現できる (組立単位)

## 国際単位系 (SI) (組立単位)

	物理量	記号	単位の名称	SI基本単位による表現
組立単位	周波数 (1/ 時間)	Hz	ヘルツ	$s^{-1}$
	力 (質量 × 加速度)	N	ニュートン	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
単位	圧力 (力/ 面積)	Pa	パスカル	$N/m^2 = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
	エネルギー (力 × 距離)	J	ジュール	$N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
位	仕事率 (仕事/ 時間)	W	ワット	$J/s = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
	電気 (電流 × 時間)	C	クーロン	$A \cdot s$
	電圧 (エネルギー/ 電気量)	V	ボルト	$J/C = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
	静電容量	F	ファラッド	$C/V = m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$

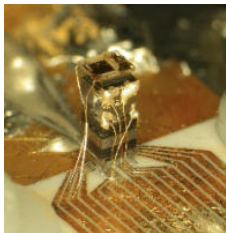
# 長さの単位

1mは、光が真空中を1/299792458秒間に進む距離  
(1905年にアインシュタインが提唱した光速度不変の  
原理を信じ、光速は299792458 m/sであると定義)



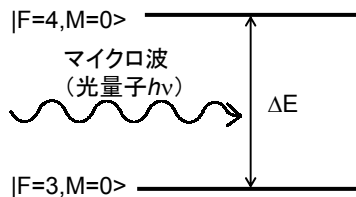
# 時間の単位 (セシウム原子時計)

1sは、 $^{133}\text{Cs}$ の基底状態の二つの超微細構造準位  
( $F=4, M=0$ および $F=3, M=0$ )の間のマイクロ波遷移に  
対応する放射の9,192,631,770周期の継続時間



米国立標準技術研究所が開発  
した超小型原子時計の心臓部  
(2004年9月2日朝日新聞より)

< $^{133}\text{Cs}$ , 6S軌道のエネルギー準位>



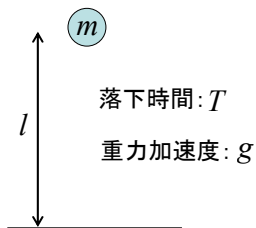
マイクロ波が $^{133}\text{Cs}$ 原子と共鳴( $\Delta E = h\nu$ )してい  
るときの周波数を9,192,631,770Hzと定義

# 質量の単位

1kgは、キログラム原器(直径、高さとも39mmの円柱形で、白金90%、イリジウム10%の合金)の質量



## 次元解析 (dimensional analysis)



$$\begin{aligned}[T] &= T, \\ [m] &= M \\ [l] &= L \\ [g] &= LT^{-2}\end{aligned}$$

$$T = C m^{\alpha} l^{\beta} g^{\gamma} \text{ と置いてみる}$$

↑  
係数(無次元)

両辺の次元は等しいはずなので

$$[T] = [m]^{\alpha} [l]^{\beta} [g]^{\gamma}$$

故に、

$$T = M^{\alpha} L^{\beta} \left( \frac{L}{T^2} \right)^{\gamma} = M^{\alpha} L^{\beta+\gamma} T^{-2\gamma}$$

したがって、

$$\alpha = 0, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = -\frac{1}{2}$$

# 単位の換算 (unit conversion)

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J} \rightarrow \begin{cases} \frac{4.18 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 1 \text{ (無次元)} \\ \frac{1 \text{ cal}}{4.18 \text{ J}} = 1 \text{ (無次元)} \end{cases}$$

$$100 \text{ cal} = 100 \text{ cal} \times 1 = 100 \cancel{\text{ cal}} \times \frac{4.18 \text{ J}}{1 \cancel{\text{ cal}}} = 100 \times 4.18 \text{ J} = 418 \text{ J}$$

$$100 \text{ J} = 100 \text{ J} \times 1 = 100 \cancel{\text{ J}} \times \frac{1 \text{ cal}}{4.18 \cancel{\text{ J}}} = \frac{100}{4.18} \text{ cal} = 23.9 \text{ cal}$$

(例題) km/時 → m/s もしくは m/s → km/時 の換算係数は？

# グラフや表の書き方

## グラフの例

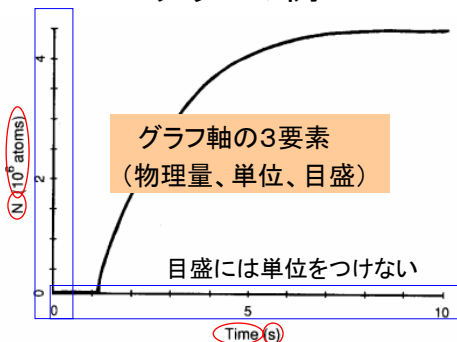


Fig. 7. Number of trapped atoms versus time after the trap is turned on at 1.2 s.

グラフのタイトル(キャプション)

## 表の例

### 表のタイトル(キャプション)

TABLE I. Systematic corrections and their associated uncertainties for the absolute frequency of the  $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$  clock transition.

Contributor	Correction (Hz)	Uncertainty (Hz)
Mutual beam tilt	0	5
Position offset	0	2
Velocity	0	4
2nd order Doppler	0	$2 \times 10^{-4}$
1st order Zeeman	0	0.02
2nd order Zeeman	4	0.3
Light shift	0	0.01
Blackbody shift	1	0.1
Recoil shift	-4775	$< 1 \times 10^{-3}$
Stimulated-emission dip	-4	20
Probe power balance (I)	-5	15
Probe power balance (II)	0	20
Density shift	0	2.9
Maser calibration	0	1.7
Systematic totals	-4779	33

個々の数値には単位をつけない