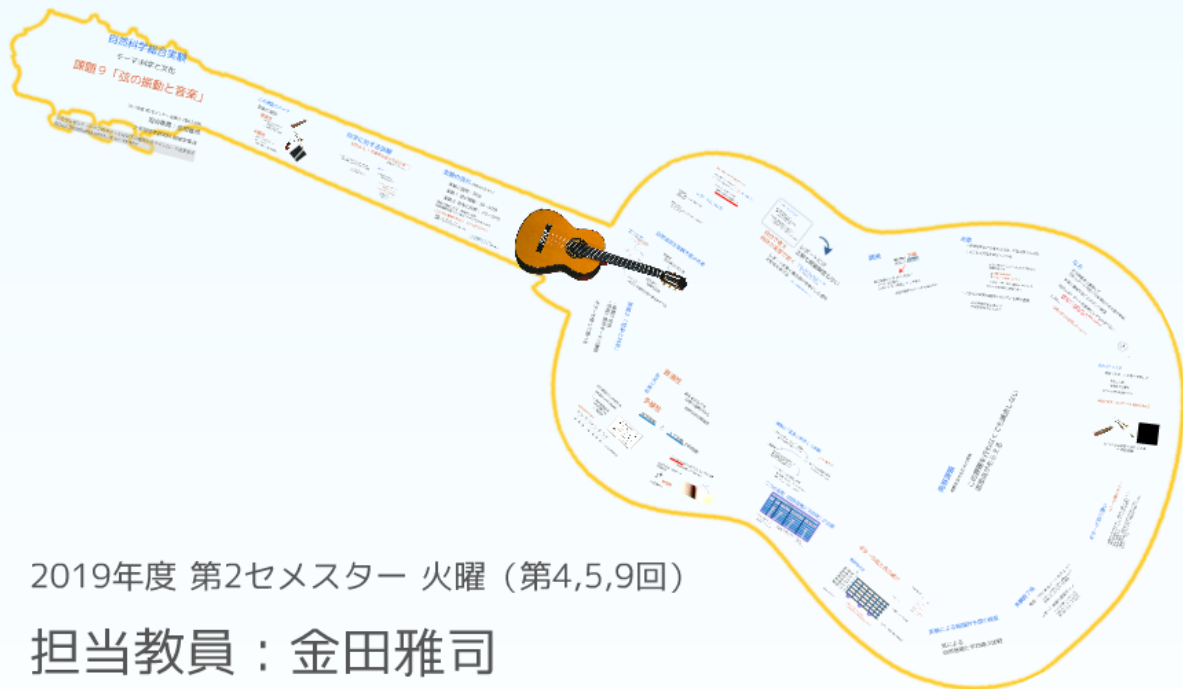


かがく じっけん
自然科学総合実験
しぜん そうごう

テーマ：科学と文化 課題 9

このプレゼンテーションのファイルは
以下の場所からダウンロード出来ます
<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>



2019年度 第2セメスター 火曜 (第4,5,9回)

担当教員：金田雅司

大学院理学研究科物理学専攻

弦げん
の
と
音おん楽がく
の
振しん動どう

自然科学総合実験

テーマ:科学と文化

課題 9 「弦の振動と音楽」

2019年度 第2 Semester 金曜日 (第4,5,9回)

担当教員: 金田雅司

大学院理学研究科 物理学専攻

このプレゼンテーションのファイルは以下の場所からダウンロード出来ます
<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>

この課題のテーマ

音楽に潜む

普遍性

世界中の音楽の殆どは五線譜に表現出来る

音階は飛び飛び

世界共通の法則が潜んでいる

→ 科学で説明できる

多様性

日本、アフリカ、ヨーロッパ等々
国や地域によって伝統音楽は異なっている

楽器によって音色が異なる

好みの違い = 文化の違い



楽に潜り

普遍性

世界中の音楽の殆どは五線譜に表現出来る

音階は飛び飛び

世界共通の法則が潜んでいる

→ 科学で説明できる

科学

多様性

日本、アフリカ、ヨーロッパ等々
国や地域によって伝統音楽は異なっている

楽器によって音色が異なる

好みの違い = 文化の違い

この課題のテーマ

音楽に潜む

普遍性

世界中の音楽の殆どは五線譜に表現出来る

音階は飛び飛び

世界共通の法則が潜んでいる

→ 科学で説明できる

多様性

日本、アフリカ、ヨーロッパ等々
国や地域によって伝統音楽は異なっている

楽器によって音色が異なる

好みの違い = 文化の違い



科学に対する誤解

科学は 0, 1 で確実な答えが出せる

科学者はそう考えていない

例えば

「科学によって問うことができるが、
科学で答えることができない問題」

Alvin M. Weinberg,
"Science and Trans-Science,"
Minerva10 (1972): 209-222

放射線量率や放射性物質が
どの位のレベルであったら
あなたは安心できますか？

答えを得るため証拠となる数値 科学で答えられる

- ・放射線量率は？
- ・土壌に含まれる放射性物質はどの位ある？

安心出来るかの基準 = 個々の価値判断

科学では答えがでない

- ・どんなに微量でも、あるのはいやだ
- ・世界平均と比べて少ないなら気にしない
- ・微量の放射線は体にいいのであびたい

注：微量の放射線を浴びる主体により
(例えばラドン濃度の測定をこれに求める)は、
科学的には証明されていない

「科学によって問うことができるが、
科学で答えることができない問題」

Alvin M. Weinberg,
"Science and Trans-Science,"
Minerva10 (1972): 209-222

例えば

放射線量率や放射性物質が
どの位のレベルであつたら
あなたは安心できますか？

放射線量率や放射性物質が
どの位のレベルであつたら
あなたは安心できますか？

答えを得るため証拠となる数値 科学で答えられる

- ・放射線量率は？
- ・土壌中に含まれる放射性物質はどの位ある？

安心出来るかの基準 = 個々の価値判断 科学では答えがでない

- ・どんなに微量でも、あるのはいやだ
- ・世界平均と比べて少ないなら気にしない
- ・微量の放射線は体にいいのであびたい

注：微量の放射線をあびると体によい
(例えばラドン温泉の効果をこれに求める) は、
科学的には証明されていない

答えを得るため証拠となる数値 科学で答えられる

- 放射線量率は？
- 土壌中に含まれる放射性物質はどの位ある？

安心出来るかの基準 = 個々の価値判断 科学では答えがでない

- どんなに微量でも、あるのはいやだ
- 世界平均と比べて少ないなら気にしない
- 微量の放射線は体にいいのであびたい

注：微量の放射線をあびると体によい
(例えばラドン温泉の効果をこれに求める) は、
科学的には証明されていない

実験の流れ (時間は目安です)

実験の説明：30分

実験 1 弦の振動：20～30分

実験 2 音楽と科学：70～80分

実験1が終われば、実験2に進む
授業時間を超えても終わるまで付き合います

5コマ目に授業がある人、他の予定がある人

教員・TAに申し出て下さい
時間内に終了するように手伝います

トイレは自由に行ってください。
(大学の授業では一々断る必要は無い)

実験 1 「弦の振動」

弦について基礎となる自然法則を学ぶ
周波数（音の高さ）

モード = 定常波の振動の様子



n=1



n=2



n=3

モード n の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency

周波数 [Hz]
一秒間に波が何回
繰り返すか

Length

弦の長さ [m]

Force

弦の張力 [N]

読み「ニュートン」
1 kg の質量を
1 m/s² 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]



モード = 定常波の振動の様子



モード n の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency

周波数 [Hz]
一秒間に波が何回
繰り返すか

Length

弦の長さ [m]

Force

弦の張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を
1 m/s² 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]



モード n の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

モード = 定常波の振動の様子



モード n の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency

周波数 [Hz]
一秒間に波が何回
繰り返すか

Length

弦の長さ [m]

Force

弦の張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を
1 m/s² 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]



張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を
1 m/s² 加速させる力

モード = 定常波の振動の様子



モード n の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency

周波数 [Hz]
一秒間に波が何回
繰り返すか

Length

弦の長さ [m]

Force

弦の張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を
1 m/s² 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]



自然法則を実験で確かめる

実験 1 「弦の振動」

弦について基礎となる自然法則を学ぶ
周波数 (音の高さ)

モード = 定常波の振動の様子

n=1

n=2

n=3

モード n の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency
周波数 [Hz]
一秒間に波が何回
繰り返すか

Length
弦の長さ [m]

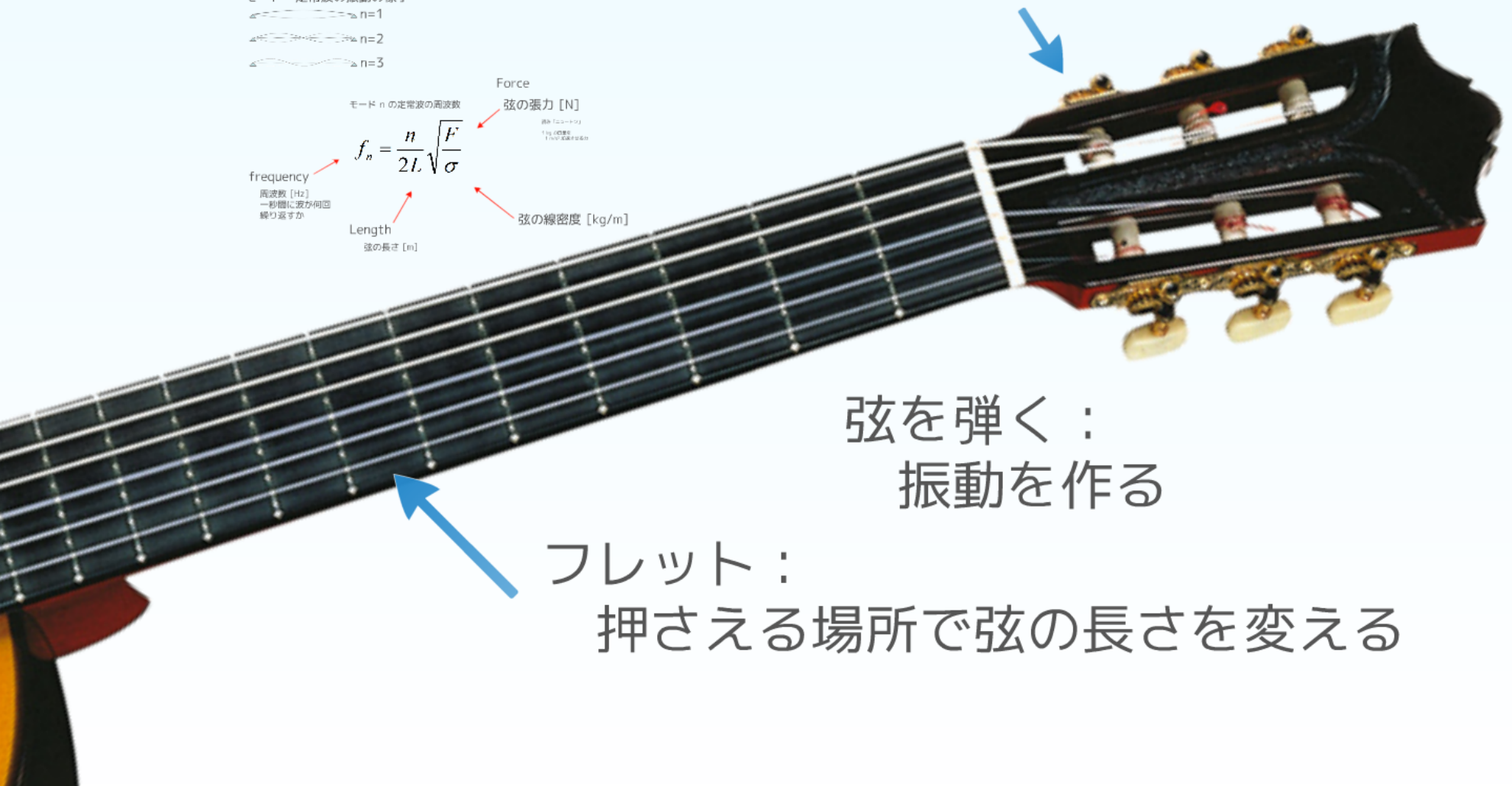
Force
弦の張力 [N]

弦の線密度 [kg/m]

糸巻き：
弦の張力を変える

弦を弾く：
振動を作る

フレット：
押さえる場所で弦の長さを変える



実験2 「音楽と科学」

- 楽器の音色
- 音階と信号モードの関係

ギターを使って調べる

音楽と科学

多様性

普遍性

普遍性

異なる文化でも
同様に音階がある

自然法則の普遍性

多様性

自然音階 と 人工音階 (平均律)

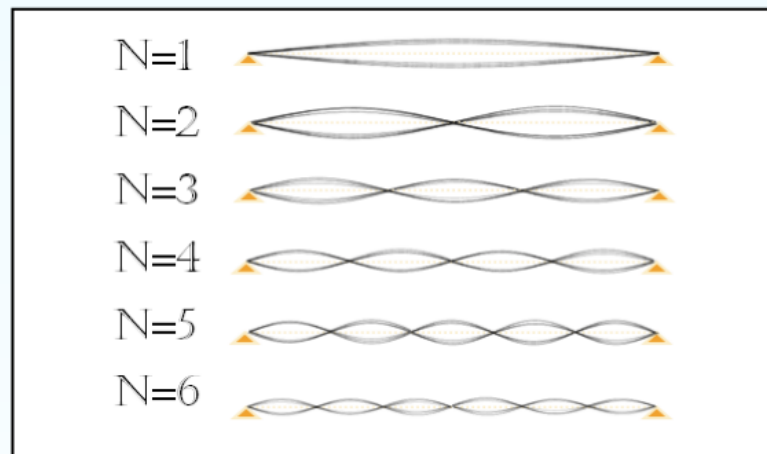
自然音階

と

弦の倍音から生まれる

基本振動のn倍の周波数

音の周波数比
分数で書ける
= 有理数



自然音階で作ると

ド レ ミ ファ ソ ラ シ ド



$\frac{9}{8}$

$\frac{10}{9}$

$\frac{16}{15}$

$\frac{9}{8}$

$\frac{10}{9}$

$\frac{9}{8}$

$\frac{16}{15}$

二つの音の周波数の比

人工音階 (平均律)

1オクターブを12等分したものが平均律

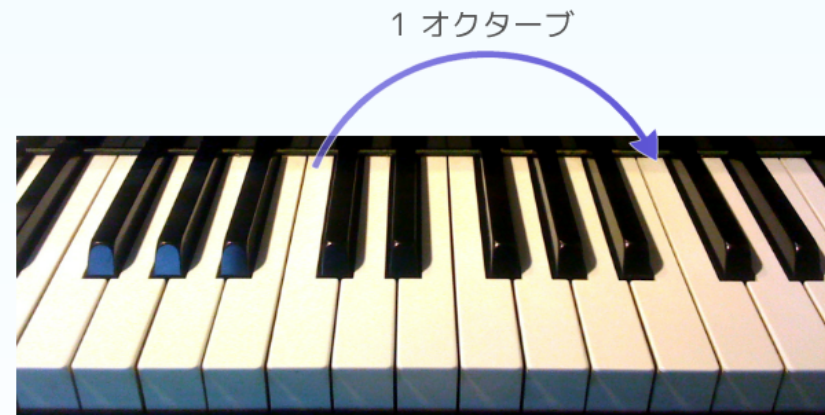
↪ 周波数が倍になる音の高さ

隣り合う音 (半音) の
周波数比

$$2^{\frac{1}{12}}$$

無理数

の等比数列



実験2「音楽と科学」の手順

二人一組で行う

- ギターのチューニング（調弦）
弦の共鳴現象の確認、スケッチ

- ハーモニックス奏法の習得
TAに教えてもらうこと

- 振動モード

弦に触れる位置と振動モード
弦の振動に含まれるモード
弦を引く位置と振動モード

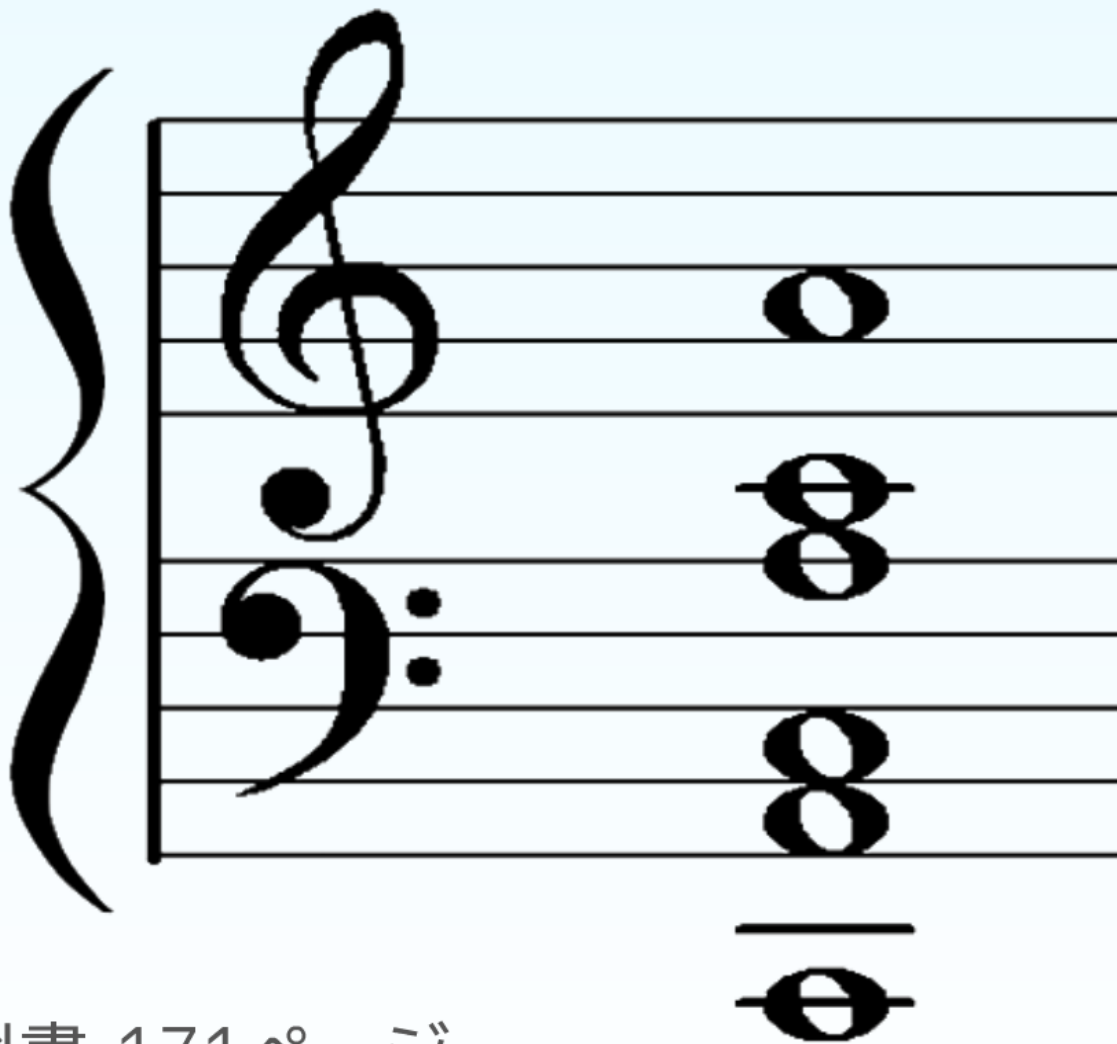
- ハーモニックス奏法と音階

弦の振動の倍音(モード $n=2,3,4,5,6$)

音階 (ド,レ,ミ,ファ,ソ,ラ,シ,ド)

楽譜の読み方

チューナーの表示



ラ (4A) = 440 Hz

ド (4C)

ラ (3A) = 220 Hz

ド (3C)

ラ (2A) = 110 Hz(第5弦)

ド (2C) = 65.4 Hz

ギターの弦と音の高さ

楽譜の読み方

チューナーの表示

ラ (4A) = 440 Hz
ド (4C)
ラ (3A) = 220 Hz
ド (3C)
ラ (2A) = 110 Hz (第5弦)
ド (2C) = 65.4 Hz

教科書 171ページ

開放弦の音



第1弦	4E	ミ
第2弦	3B	シ
第3弦	3G	ソ
第4弦	3D	レ
第5弦	2A	ラ
第6弦	2E	ミ

一番細い、ナイロン弦

一番太い、金属が巻いてある弦

フレットを押さえると
一つの区切り毎に半音あがって行く

教科書 171ページ

・ハーモニクス奏法と音階

弦の振動の倍音(モード n=2,3,4,5,6)

音階 (ド,レ,ミ,ファ,ソ,ラ,シ,ド)

二つの音階 (自然音階と平均律) の比較

65.4Hzを「ド」にしたときの自然倍音(n=6まで)と対応する平均律での周波数

モード n	音名	自然音階 (倍音) [Hz]	平均律での音名に 対応する周波数 [Hz]	周波数の比 (平均律/自然音階)
1	ド(2C)	65.4	65.4	1.00
2				
3				
4				
5				
6				

聞き取った音の名前

モード n に対して
周波数はいくつになるか計算

音名に対して平均律で計算すると
周波数はいくつになるか

数値だと
どのくらい
ずれているのか

実験による理論的予想の検証

耳による
自然音階と平均律の比較

実験終了後

教員・TAによるノートのチェック

レポートを書くために必要なことを記録しているかどうかを確認

レポート表紙の確認サイン

サインが無いレポートは提出ボックスに入れても受け取ってもらえません

ギターの取り扱い

ギターは壊れやすい

- 表面板はすぐ傷が付く，割れる（優しく扱って！）
- 床に直接置かない（ギタースタンドを使用）
- 足台を使用する
- 調律の際は，弦を巻きすぎて切らないように
- 実験終了後はクロス（布）で弦などの脂汚れを拭いてからケースに

レポートについて

各実験毎に

目的、原理、方法、結果、考察
の順番で書く

手書きで丁寧に

人に読んでもらうものだということを忘れずに
ワープロは禁止

目的、原理、方法は教科書に載っている

丸写し（唯のコピー）は意味がない

ページ数が多ければ良い物でもない



高く評価しない

そういうレポートは

時間と労力の無駄！！

レポートについて

じゃあ、どうする？

- 教科書を参考にして、
自分の言葉で簡潔に記述する
図を使うと楽な場合もある
- 教科書の言葉が適切とは限らない
より簡潔に書ける部分があるかも
教科書に書いていなくとも書くべきことがあるかも

じゃあ、どうする？

- 教科書を参考にして、
自分の言葉で簡潔に記述する
図を使うと楽な場合もある
- 教科書の言葉が適切とは限らない
より簡潔に書ける部分があるかも
教科書に書いていなくとも書くべきことがあるかも



レポートには
正解も模範解答もない

自分で考え
自分の言葉で書く

もちろん、分からないことは教員・TAに聞く
人に聞けるようになることは重要

教員・TAは授業時間のみ川内キャンパスに居ます

レポートを書く場合何か参考にした場合
文献名を挙げる

ただし、教科書は参考文献ではない

翠も模範解答もた

もちろん、分からないことは教員・TAに聞く
人に聞けるようになることは重要

教員・TAは授業時間のみ川内キャンパスに居ます

場合何か参考にした

じゃあ、どうする？

- 教科書を参考にして、
自分の言葉で簡潔に記述する
図を使うと楽な場合もある
- 教科書の言葉が適切とは限らない
より簡潔に書ける部分があるかも
教科書に書いていなくとも書くべきことがあるかも



レポートには
正解も模範解答もない

自分で考え
自分の言葉で書く

もちろん、分からないことは教員・TAに聞く
人に聞けるようになることは重要

教員・TAは授業時間のみ川内キャンパスに居ます

レポートを書く場合何か参考にした場合
文献名を挙げる

ただし、教科書は参考文献ではない

結果

教科書の 下線
が引いてある部分



単に授業中に行うだけでなく
ノートに記録し
レポートに「結果」として書く

必要な箇所はスケッチも忘れずに

考察

- 実験結果をどう考えるかは、千差万別十人十色
- 人ごとに文章が異なって当然

正しい答えにたどりついたかではなく
実験結果から

{ 理論（自然法則）
いろいろな視点（考え方）

を適宜、参考・引用し論理的に考えている
かどうかを判断し評価します

- 「文化と科学の関係について」を最も重視

正しい答えにたどりついたかではなく
実験結果から

{ 理論（自然法則）
いろいろな視点（考え方）

を適宜、参考・引用し論理的に考えている
かどうかを判断し評価します

正しい答えにたどりついたかではなく
実験結果から

{ 理論（自然法則）
いろいろな視点（考え方）

を適宜、参考・引用し論理的に考えている
かどうかを判断し評価します

- 「文化と科学の関係について」を最も重視

この考察が無い場合は
不完全なものとしています

なお

共同実験者と議論して
同じレポート内容になる場合はその旨を明記

友達と議論することは大いに推奨

他の人のレポートを参考にしてもかまわない

友達のレポートや過去レポートを参考にした場合は
参考文献として名前を載せること。

しかし、

参考と剽窃を混同しないように

丸写し



カンニング

とみなす

当該
セメスターの
全履修取り消し

および

無期停学

の

処分が
待っている

それはさておき

楽器（ギター）を弾いて楽しみ

音楽と科学

多様性と普遍性

について考えを巡らそう

音楽と科学についてさらに理解を深める

音楽と科学についてさらに理解を深める



いろいろな楽器にふれてみる
→ 自由実験

発展課題

考察を深めるための課題

この課題を行わなくても減点しない
追加点がもらえる

かがく じっけん
自然科学総合実験
しぜん そうごう

テーマ：科学と文化 課題 9

このプレゼンテーションのファイルは
以下の場所からダウンロード出来ます
<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>

弦げん
の
振しん
動どう
と
音おん
楽がく



2019年度 第2セメスター 火曜 (第4,5,9回)

担当教員：金田雅司

大学院理学研究科物理学専攻