

非物理系から 当研究室での理論研究を目指す学生向けのメモ

2010. 9. 10

院にはいって理論研究をするのであれば、このくらいは、、、というもの。

(十分条件ではないです。物理系の先生には、〇〇が入っていないと叱られそうですが。だいたい目安です)

力学

通常の大学1年で学ぶ力学から解析力学のさわりまで (Goldsteinなりの普通の力学の教科書程度、
--Landauの教科書程度、と書くと一部には難しいといわれているのだけどー)

* Hamiltonian、Lagrangeanを理解していて 6N次元の相空間に驚かない (Liouvilleの定理がわかる)
振動波動; 基準モードでの重ね合わせ、が理解できる (通常の振動波動の教科書程度)
相空間の見方ができる (振り子の運動、separatrixを理解できる)

物理数学

物理をお話でなく理解し自分で理論をいじるためにはまず最低限の数学が必要です。

1、2年生で学ぶ解析 (微分積分、多変数を含む)、線形代数はまず基礎中の基礎として
線形の微分方程式の解法、フーリエ級数、フーリエ変換、複素積分は必須です。あと、
確率統計の基礎 (ガウス分布、ポアソン分布、大数の法則、中心極限定理など)

たとえば、

微分方程式の固定点を求めて 線形安定性が計算できる (ヤコビ行列、固有ベクトルの意味を含む)

ガウス積分やその類似のものができ、鞍点法が使える

$\exp(-|t|)$ のフーリエ変換ができ、それを複素積分で逆変換できる

拡散方程式をフーリエ変換を用いて解ける

偏微分方程式の一様解の安定性がフーリエ変換してわかる

(Turing pattern を自分で計算して理解できる)

#[すこしadvancedになりますが入学するくらいまでには[以下#はその記号]]

#パワースペクトルと相関関数との関係 (ウィーナー-ヒンチンの定理) を使いこなせる、

#特にローレンツ型のパワースペクトル

熱力学

通常の熱力学の教科書をマスター (最近のしっかりした教科書を好みで)。

久保らの演習書の易しい方なら解ける

entropyや不可逆性、熱力学的安定性の意味がちゃんとわかっている

電磁気学

正直、普段、あまり電磁気を使っていないという気はするのだけれども、やはり大学1-2年生
レベルの電磁気は理解しておく必要はあるでしょう。実際に電磁気を使わない場合でもスピン、電磁場という
アナロジーでモデル化をすることも多いので。またこれを通してベクトル解析も学べるという意義もあります。また、
電気回路の基本的理解は、ホジキン・ハックスレーモデルなど、神経細胞の振る舞いを理解する上でも必須。

量子力学

生物物理をやる上で直接必要なことはあまりないのですが、重ねあわせやフーリエ変換やヒルベルト空間や
摂動論の考えを自然現象にいかにか適用していくかを理解していくうえで量子力学という学問自体は
きわめて教育的にできているので 理論をやっていくうえでマスターしておくのは有意義。

さらに、統計力学の本を読もうとするとまずエネルギー準位とかスピンとか言うのが出てくるので、

その意味で物理の本を読む上で、初等的な量子力学は初期に学んでおくのがよい。

(演習が解けて、使えるという意味で普通の教科書も必要)

もちろん、理論を作る側で言えば、より深くDiracや朝永を読んでみる というのが

望ましいけれど、いまだ物理の学生もあまり読んでないからあまり無理は言わない、

統計力学

久保の教科書あたりから入り、適宜その他を読み、久保らの演習書がどの章の問題でも(易しいほうなら)まあ解ける

* 分配関数がわかり、そこから熱力学関数が計算できるのはもちろん最低限として、相転移の平均場近似ができる、Ising Modelの意味を理解して(1次元Ising modelが解ける)程度まで。

できれば、Ising modelのMonte Carlo simulationをやってみて相転移を納得してほしい。

* 例えばゴム弾性のモデルで分配関数が計算でき、そこから熱力学量が導けるとか。

---ここで多くの統計力学の問題ではスピンとかが出てきて これには電磁気や量子力学の最低限の理解を要する。多くの場合2状態があってその間のエネルギー差が ΔE くらいで、問題設定は十分なのでそちらで理解する可能性もある(例えばPhysical Biology of the Cellのなかに出てくる統計力学計算はたいがいそうなのでそれらの例を自分で考えてみるのも良いでしょう)。

* ブラウン運動、random-walkといった確率と自然現象の結びつきの理解

ややadvancedなレベルとしては # 揺動散逸定理、ランジュバン方程式、マルコフ過程など。

流体力学などのマクロな現象論

熱力学はその最大の成功例であるが、平衡でないダイナミクスを考えていく上では

流体力学、ナビエ-ストークス方程式の導出から、その簡単な応用例、またブラウン運動と拡散方程式の関係を理解しておく、などは重要。できれば# 乱流現象のさわりなども。

全般

一般に物理は積み上げなので順に学んでいくのが必要です。また、本をさらっと読んだだけでは身にしみてわかってないので自分で手を動かして解き、他の例に適用してみてもはじめて肌身にしみて感覚的にわかってきます。物理を学ぶことを通して、自然がいかにか数学的に理解できるのか、そしてそこから普遍的な論理を引きだせるのかの感覚をつかみ、そして一見わからない現象や関係が理論で説明できることへの感激を味わった経験(なんでもよい、entropyでも、ブラウン運動理論でも、多くの謎が量子力学で解けることでも)を持つのが大事です。これまでの物理法則が生命システムの理解に直接使えなくても、こうした経験は新しい理論を作る上の自信になります。その一方で、現在の理論物理の[適用]限界をわかるのも重要でしょう。

あと、FeynmannやLandauなどのシリーズ(もちろん全部とはいませんが)の何冊かとか、古典的な本を読んだ経験は理論物理の考え方を知る上でよいとおもいます。

こうした上で、さて今まで物理ではまだ対象外だったところにかに理論をつくっていくかを考えていくのが研究室での日常です。その際に、自分は、これなら余人に負けないぞという特徴を持っているのも有効でしょう。

付録:

力学系

Smale-Hirsh-Devaney「力学系入門」の入門部分くらいは。* アトラクター、バイスン、分岐が何か理解しているカオス

リヤプノフ指数、フラクタル次元が説明できる

ロジスティックマップを数値計算してカオスを実感したり、分岐図を描いてみたりした

微分方程式系(ローレンツ方程式とか)でアトラクターをみて感動した。

計算機

高度なprogramming能力は必要ないけれど、カオス(logistic写像でもLorenz方程式でも)にせよ、IsingモデルのMonte Carloにせよ、自分でプログラムを作って計算機の中で現象をみて楽しみ、面白い振る舞いをなぜだろうと考えてみるといった経験を持つ。