



Département  
de Physique  
École normale  
supérieure

# Normale Physics Review

Fights Bohr-dom

15th of December 2020

## Édito N<sub>3</sub> : La newsletter physicienne pour Normaliens confinés

Chers physiciens et physiciennes, nous avons le plaisir de vous présenter la troisième édition de la Normale Physics Review. Pour ce troisième numéro, je voudrais remercier tous ceux qui participent de près ou de loin à la continuité de la vie de la communauté en ces temps difficiles. Que vous écriviez pour un journal, que vous organisiez des événements pour aider les gens à garder le contact, que vous fassiez vivre des projets en équipe ou que vous publiiez des memes, merci de faire vivre la communauté normalienne. Cela aide beaucoup d'entre nous alors que l'hiver s'avance et que la situation sanitaire se rétablit lentement. Merci de nous changer les idées, de nous aider à nous projeter dans l'avenir, de nous faire rêver ou simplement passer le temps. C'est aussi ça l'École Normale Supérieure. Merci pour votre aide collective ! (A.Fauste-Gay)

### CHRONIC

#### Physicists at rest

HERE we are. This is the third edition of *Normale Physics Review*, the last of the year 2020! This one was quite hard to conclude to be honest. Exams kidnapped some of us and the fatigue is taking care of the others... But it's soon time for rest! The particular current situation should push us into enjoying more these moments. Especially when we can get -safely- together with our close family. Dear physicist, make the most of this time to have a well deserved rest and to take care of you. And we can't wait to encounter you in 2021 with a new edition of our newsletter! (L.Brivady)

### [CLASS' LIFE]

#### ICFP students' journey to Aubervilliers

Saturday the 5th, some ICFP students were summoned to Aubervilliers to take the *Cambridge Advance Exam*. It was a nice opportunity to see each other "physically", as in the *good old days*! (L.Brivady)

### [PHYSICISTS' LIFE]

#### I. ONE WORD ABOUT... JACOBS UNIVERSITY BREMEN

Founded in 2001 on the premises of an old US military basis, Jacobs University Bremen (/ˈjɑːkɔbs/) is a small, *international* and research-driven university in Bremen, Germany. Before joining the ICFP M1 at ENS, I completed my Bachelor's

in Physics there. Here are a few things that you should know about Jacobs.

Above, I emphasized "international" because it's quite remarkable : The 1500 students that all live on campus come from over 110 countries of the world. This incredible cultural diversity is truly unparalleled nowhere else. Although the smallest minority are Germans, they only comprise 16% of students. Everyone speaks English everywhere and you certainly don't need to know any German before going.

The Physics Department at Jacobs is small, both in number of students and faculty, but as a result education is thoroughly individual and you build lasting friendships as well as professional relationships. For example, in the teaching labs all experimental professors are happy to take *several hours* every week to individually discuss the experiments and their interpretation with you and your labpartner. Even as an aspiring theorist, I deeply appreciate all that I learnt in these sessions.

There are seven full professors in Physics at Jacobs. Four theorists are doing research in classical and quantum gravity theory, complex systems, condensed matter theory (quantum phase transitions), computational physics and biophysics, and out-of-equilibrium statistical physics / chaos theory. Three experimentalists have quite impressive labs for laser optics and femtosecond spectroscopy, single-molecule biophysics (atomic force microscopy) and even a highly dust-free cleanroom for nanoelectronics and (hybrid) organic systems. The general research output is impressive compared to the small number of researchers. Plus, since groups are small, there are absolutely no hierarchies which allows you to do exciting and significant research at any level.

Hopefully this gives you a good first overview about my former university. Should you be interested in doing an L3/M1

internship in Bremen, please reach out<sup>1</sup> to me. I will be able to tell you much more, and of course put you in contact with anyone there. Any other questions are most welcome, too!  
(M.David)

Website : jacobs-university.de

## II. UN MOT DE ... BERKELEY

Je m'appelle Romane, et je suis fraîchement passée par la porte du 45, pour y étudier la physique fondamentale au sein du master ICFP. C'est grâce à mon professeur de mathématiques au lycée, qui m'a offert le best-seller de Stephen Hawking *Une Brève histoire du temps*, que j'ai pu faire connaissance avec des questions fascinantes : qu'est-ce qu'un trou noir ? Pourquoi le temps s'écoule-t-il toujours dans la même direction ? Me voilà donc étudiante en L1, alors qu'une professeure américaine vient nous parler de l'université de Californie avec laquelle est jumelée celle de Bordeaux depuis cinquante ans, et mentionne le campus de Berkeley. Après quelques recherches effectuées, j'ai un nouvel objectif en tête. Et deux ans plus tard je foule le sol californien.

Berkeley se trouve dans la Baie de San Francisco et a pour centre son campus. Dans les années 60, Berkeley a été le berceau du *Free Speech Movement* – un catalyseur des mobilisations étudiantes américaines contre la guerre du Vietnam. Et c'est de cet esprit de contestation et d'activisme qu'est composé l'air que l'on y respire. Je m'y suis tout de suite sentie chez moi. Même si le campus est gigantesque, et que l'on est constamment noyé dans des foules de milliers d'étudiants, on s'y sent libre et respecté. Toutes les majors y sont mélangés, ce qui m'a permis d'y rencontrer des étudiants aux différents domaines de prédilection et centres d'intérêts ; sans parler du brassage colossal d'étudiants internationaux. J'avais l'impression que le monde entier se retrouvait là-bas pour parler et échanger avec passion sur tout ce qu'il est possible d'étudier.

J'ai été surprise plusieurs fois quant à la manière qu'on les *Cal students* d'étudier, et d'interagir. Tout d'abord, j'ai dû choisir mes cours parmi le catalogue du département de physique qui en comptait des centaines. Chaque undergrad est responsable de son parcours et du rythme qu'il s'impose. Une moyenne de 3 cours par semestre pour ceux qui aiment travailler, jusqu'à 5 pour ceux qui ne font que ça de leurs journées (et de leurs nuits). Ceci représente finalement peu de temps en cours et beaucoup de travail personnel, car il est considérable. Le quotidien se résume bien vite à osciller entre amphithéâtres et reading room, et regarder avec envie le Golden Gate Bridge qui s'illumine quand on sort enfin de la BU à la fin de la journée. Ensuite, j'y ai découvert le travail intense et collectif. La reading room du LeConte Hall – le

bâtiment de physique – est un savant mélange entre salon de discussion et de salle de permanence. Ses murs sont placardés de blackboards, et ses occupants, recouverts de poussière de craie. Dans un monde parfait on y travaillerait tous sur les problem sets que l'on doit rendre toutes les semaines pour chaque cours, mais bien souvent on digresse... Pour finir, la relation professeur / élève y est déconcertante de familiarité. Grâce aux office hours hebdomadaires, lors desquelles les professeurs nous invitent dans leur bureau à parler du cours, de leurs recherches, ou de n'importe quoi d'autre, je me suis retrouvée à donner des cours de chant à celui qui me donnait des cours de théories des perturbations. (R.Cologni)

## III. SIR, I HAVE A QUESTION

Envie de vous lancer en tant que Khôlleur à la fin du confinement ? Peut-être trouverez-vous dans ces questions un problème ouvert intéressant pour vos taupins. Vous observez un phénomène étrange ? Arrêtez de regarder Stranger things et envoyez-nous une question ! (G.Rochefort)

- I :** How many kg of rubber would be needed to erase all the books in the BNF?;
- II :** [electromag] Consider two electrons moving towards each other on parallel lines a certain distance apart, with equal velocities. They act on each with equal force. We move to a reference frame where one is standing still, and the other moving with double the speed, but the forces are no longer the same. What happened to Newton's third law?;
- III :** [thermodynamics][chemistry] How long does it take to cook a potato? Which strategy would you choose to cook 1 kg of potatoes?;
- IV :** [Mechanics] When we start walking, we gain a certain momentum,  $mv$ , where does it come from? Additional question, how many people would it take to stop the Earth from rotating?
- V :** [Laser] Could you hammer a nail with a laser?
- VI :** What makes the crunching noise of walking on snow?
- VII :** Why do shower curtains stick to the skin? Can we estimate the displacement of it?
- VIII :** [Hydrodynamics][Waves] How many ring waves can you see after dropping a sphere of size  $L$  and density  $\rho$  in a fluid whose surface tension coefficient with air is  $\gamma$ ?
- IX :** [mechanics] You shot an arrow with a wooden bow. What is the velocity of the arrow when it stops touching the bow's rope? (Take  $L$  as the length by which you stretched the rope before shooting the arrow)

1. marco.david@ens.psl.eu

Merci à **G.Rochefort**, **L.Brivady**; **B.Dhote**; **Filip Novkoski**

About the previous questions...

**Erratum : Question 1 -  $N_1$**

Une imprécision a été signalée dans le numéro précédent. Pour rappel, nous avons considéré le premier mode de vibration d'un couteau encastré et affirmé que sa pulsation était :  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , avec  $k$  la raideur de la lame et  $m$  sa masse. C'est en réalité un peu plus compliqué, puisqu'il s'agit ici d'une poutre encastrée, de section rectangulaire. Pour une telle géométrie, la pulsation du premier mode de flexion est donnée par :  $\Omega_0 = \frac{1}{\sqrt{12}}\alpha_0^2 * \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{h}{L^2}}$ . Où  $E$ ,  $\rho$ ,  $h$ ,  $L$  sont le module de Young du matériau, la masse volumique, l'épaisseur, la longueur.  $\alpha_0$  est un paramètre géométrique donné pour satisfaire les conditions aux limites (pour les modes d'ordre supérieur,  $\alpha_0 \approx (2n + 1)\pi$ ). Le point important ici est que nous devons considérer un objet *continu* (la masse est répartie le long de la lame), et non, comme nous l'avons fait, une masse ponctuelle qui oscille.

On peut néanmoins, dans le cadre de l'hypothèse de Rayleigh, considérer que la masse est ponctuelle, localisée au bout de la lame. On assimile la déformée à la déformée statique sous l'action d'une masse équivalente  $M_{eff}$  d'une poutre non pesante de raideur  $K = \frac{3EI}{L^3}$ . On montre, en supposant que l'énergie cinétique sous nos hypothèses reste identique, que  $M_{eff} = 33/140M$ . La fréquence du fondamental s'écrit alors :  $f_0 = \sqrt{\frac{K}{M_{eff}}}$ . Enfin, dans le cadre de cette approximation, nous pouvons appliquer notre raisonnement.

Finalement, le résultat que nous obtenions est dimensionnellement correct. Mais notre préfacteur est incorrect. (Entre autre, il aurait fallu considérer cette masse équivalente). Si ça n'est pas une tare, notre balance n'est pas tarée! (**L.Brivady**).

Merci à Emmanuel Baudin pour sa remarque

Bibliographie : Cours ESPCI

**Question II-  $N_1$**

We want to determine a scaling law between the size of an animal and its jump height. We will first consider the geometry of the animal : it is a cylinder of height  $L$  diameter  $d$  (for example,  $d$  is the diameter of the legs). The, we need to assume that the mechanical power  $P$  delivered by the animal is proportional to its volume. So,  $P \sim Ld^2$ . Assuming that the work is made on a displacement scaling as  $L$ , we get that the force  $F$  of the animal is as :  $F \sim d^2$ .

How does the mass  $M$  evolves in terms of  $L$ ? Naively we can write that  $M$  scales as the volume, so  $M \sim Ld^2$ . We can compute the acceleration of the animal during the jump :

$a \sim F/M \sim 1/L$ . The smaller you are, the more you can accelerate! (By the way, this scaling may help us to understand why track sprinters are often small, ... if we omit Usain Bolt!).

Here, the animal accelerates (phase when it is in contact with the ground) on a distance similar to its size  $L$  with a constant acceleration  $a$ . At the end it gets a propulsion velocity  $V_c$ . Equalling kinetic and potential energy at the end of this phase, we have that  $h_{jump} \sim (V_c)^2$ . We easily show that the time of acceleration is  $t_a \sim \sqrt{L/a}$ , hence  $V_c \sim \sqrt{L * a}$ . Finally,

$$h_{jump} \sim L * a/g \sim 1/g \quad (1)$$

So the jump height seems to be independent of the size!

You can for example see that the range of jump heights for terrestrial animal is 0.1-10m. It should vary with the properties of the muscles, for example the proportion of fast twitch fiber. (**L.Brivady**)

**Question VI -  $N_2$**

In this question, we want to determine the maximal height of a human with "normal proportions". In order to get a short review, the tallest man ever was Robert Wadlow, with his 2.72m and 230 kg and the average values for humans are 1.75m for 77 kg. A first remark : we see that weight is not proportional to the size. The relation between size and weight is more likely a cubic one.

In our situation there is a competition between two effects : the constraint on the skeleton, evolving as the cube of the body size, and the mechanical resistance, proportional to the cross-section  $S$ , so the square of the body size  $L$ . Recalling the Hooke's law, we have :

$$E\epsilon = \sigma \quad (2)$$

where  $E$  : Young's modulus,  $\epsilon$  : relative displacement,  $\sigma$  : constraint. We have  $\sigma = \text{Force}/\text{Surface} \sim L^3 g \rho / L^2 \sim Lg$ . So finally, the body size scales as  $L \sim \frac{E\epsilon}{\rho g}$ . In this formula, the body size is determined by the mechanical properties : the elasticity of the bones ( $E$ ), the maximum relative displacement in compression before breaking. Here with the values displayed below we get that  $L \sim 10\text{m}$ . Which is more the range of the size of a dinosaur...

Parameter	Value
$E$	$10^9 \text{ Pa}$
$\epsilon$	$10^{-4}$
$g\rho$	$10^4 \text{ Nm}^{-3}$

We didn't take into account other limitations. For example, it seems relevant to think that the height would be limited by the maximal charge accepted by articulations. In other terms,

to compute this with a smaller Young modulus. Moreover, one can show that for a vertical beam of diameter  $d$ , the maximal length accepted before self-buckling instability (and collapsing under its self weight) scales as  $L \sim (\frac{E}{\rho g})^{1/3} d^{2/3}$ . Here for a human shape,  $d \sim 10^{-2}m$ , so  $L \sim 10^{1/3} \approx 2,15m$  (but numerical factors should be considered).

In this two questions, one may perceive that it should exist scaling laws in biology directing shape of animals! It is going to be discussed in a coming article. (L.Brivady)

#### IV. DISCUSSION

##### i. Syndrome de l'imposteur

###### Introspection ...

J'ai dit "D'accord pour un article.", mais de quoi vais-je bien pouvoir leur parler? De ma thèse? Elle n'intéressera personne, tous ne jurent que par la physique théorique. Je ne suis qu'un expérimentateur. De l'agrégation? Ce ne serait pas adapté à une "Physics Review"? Je pourrais leur parler de mes études au département de physique et des erreurs qu'il ne faudrait pas qu'ils fassent. Ils ne les ont probablement pas faites, eux. Bon, je vais leur dire que je n'ai pas d'idée, que leur initiative ne m'intéressent pas, qu'ils me laissent tranquille. Ce n'est pas ma place.

###### Imposteur!

C'est un syndrome connu que celui de l'imposteur. Cette petite voix qui vous murmure sans cesse que vous n'êtes pas à votre place. Que quelqu'un d'autre, de meilleur que vous, pourrait l'occuper. Que vous ne méritez pas ce qu'il vous arrive. Même ceux dont le talent est unanimement reconnu en sont atteints, trouvant toujours meilleurs qu'eux-mêmes pour se comparer, voyant toujours leurs échecs avant leurs succès. Au début cela paraît être de l'humilité, mais lorsque le doute s'installe c'est un handicap : nous voilà doutant de tout ce qui nous arrive, pire, de ce que nous n'aurons pas le courage d'essayer.

###### Insoluble?

Nous évoluons dans un univers particulier d'enseignement et de recherche toujours l'un et l'autre plus exigeants et qui nous renvoient, par nature, systématiquement à nos lacunes, à nos faiblesses, à nos échecs. Cela ne doit pas occulter nos réussites. Le remède, je le crois sincèrement, viendra du partage. Ce TD qui vous paraît insurmontable l'est probablement pour tout le monde mais personne ne veut reconnaître qu'il galère. Ce sujet de recherche dont vous vous dites "bon sang la question n'a pas l'air compliquée, je devrais avoir trouvé la solution

depuis des mois" a occupé des générations de physiciens avant vous. Partager l'échec c'est commencer à accepter le sien. J'espère d'ailleurs qu'en lisant seulement ces lignes, le syndrome se dissipe! (Jules Fillette)

#### V. FREE PARTICLE

##### Mystery photo of $N_2$

Did you find it? It's a caption of the experiments I do for the *Projet de recherche supervisé*, a module you can choose for the ICFP master. This module is a similar to a short application, at least one day per week during around 3 months, and you work on an experimental topic with your supervisor. For me, it is the first experience I have got in laboratory since my L3-application took place numerically. I was welcomed by a

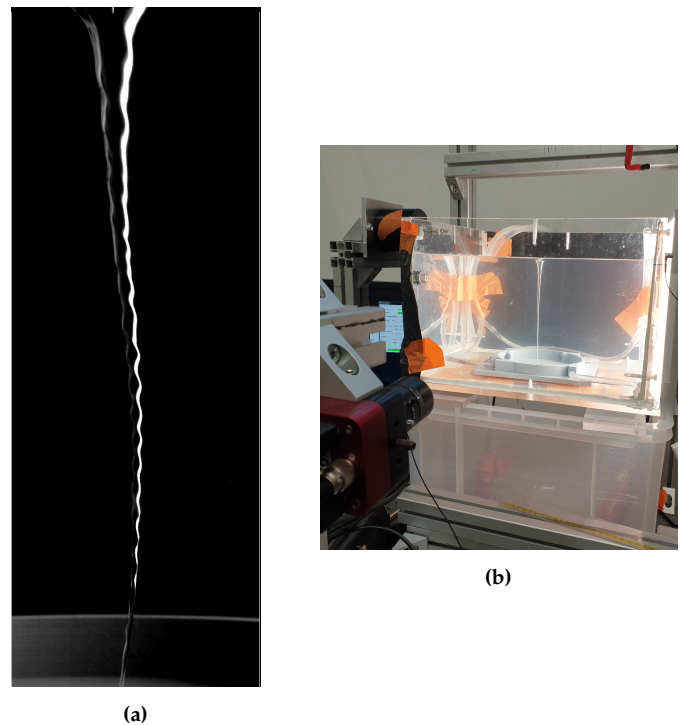


Figure 1 – a) The bathtub vortex, side lighted. b) The set-up

researcher of the LPENS in his team, Christophe Gissinger. In this project, I try to characterized the deformation of the surface of a bathtub vortex and if they can be described with the prediction of Kelvin : the Kelvin's modes. For this, I work on a set-up made by a student last year in his *Projet supervisé* : a large bath is used and the vortex is forced with an injector 3D-printed. The vortex is lighted on his side and filmed with a rapid camera. A numerical treatment is needed to detect the shape of the vortex. This would finally allow us to plot the dispersion relation of the perturbations, and see whether or not it fits with the predictions.

The first challenge is to produce a vortex sufficiently stable, such that we can introduce vibrations without experience a vortex breaking. We also need the tallest vortex possible in order to explore the dispersion relation for small wave numbers. The second one is to explore the entire relation dispersion and ensure a good spatial and temporal resolution : there is always compromises between the sampling frequency (spatial/temporal) and numerical performances! (**L.Brivady**)

### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank our contributors for their fantastic articles and questions. We also thank everyone who send us their feedback and encouragements. And thank you dear reader!

#### **We need you!**

If you would like to contribute or support us, don't hesitate to contact us :

- **Basile Dhote**  $\varphi^{19}$  :  
basile.dhote@ens.fr
- **Ludovic Brivady**  $\varphi^{19}$  :  
ludovic.brivady@ens.fr
- **Guillaume de Rochefort**  $\varphi^{19}$  :  
guillaume.de.rochefort@ens.fr