

RÉVISEZ LA PHYSIQUE AVEC FEYNMAN

Richard Feynman | Michael Gottlieb | Ralph Leighton

DUNOD

*First published in the United States
by Basic Books a member of the Perseus Books Group.*
L'édition originale de cet ouvrage a été publiée aux
États-Unis par Basic Books, un membre du groupe Perseus Books,
sous le titre : *Feynman's Tips on Physics (2nd edition)*
© 2013 by Carl Feynman, Michelle Feynman,
Michael A. Gottlieb, Ralph Leighton
Version française de Pierre Lochak et Laurent Lazzarini.

Une première édition de cet ouvrage a été publiée par
Pearson France en 2006 sous le titre :
Physique : les astuces de Feynman, 4 cours inédits

Maquette de couverture : Raphaël Tardif

© Dunod, 2014, 2021 pour la nouvelle présentation

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

EAN 9782100835294

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

PRÉFACE À LA SECONDE ÉDITION AMÉRICAINE

Durant les six années qui se sont écoulées depuis la première publication des *Feynman's Tips on Physics* (2006, Addison-Wesley pour l'édition américaine ; *Physique : les astuces de Feynman*, Pearson France pour l'édition française) l'intérêt suscité par ce supplément aux *Feynman Lectures on Physics* ne s'est jamais démenti, comme illustré par le nombre toujours croissant de visiteurs du site des *Feynman Lectures* (www.feynmanlectures.info), créé en liaison avec ce projet. Des milliers de demandes ont afflué, dont beaucoup signalaient de possibles erreurs dans les *Feynman Lectures*, et beaucoup d'autres contenaient des questions ou des commentaires sur les exercices.

C'est donc avec un plaisir mêlé de fierté que nous présentons au public cette seconde édition des *Feynman's Tips on Physics*, publiée par Basic Books dans le cadre d'une unification des droits liés aux *Feynman Lectures on Physics*, droits d'impression aussi bien que ceux liés au son ou à l'image, et qui avaient été au fil des ans accordés à diverses maisons d'édition.

À cette occasion, les *Feynman Lectures on Physics* (*New Millennium Edition*) sont maintenant pour la première fois composées au format LaTeX, ce qui permet une correction des erreurs beaucoup plus rapide ; de plus une édition électronique des *Lectures* sera bientôt disponible. Enfin, cette nouvelle édition des *Feynman's Tips on Physics* est produite également dans une version brochée, à un prix très réduit par rapport à la version reliée originale, et est augmentée de trois entretiens pleins d'aperçus éclairants sur les *Lectures* :

- le premier avec Richard Feynman, en 1966, peu de temps après l'achèvement de la partie centrale du projet ;

- le second avec Robert Leighton, en 1986, à propos des dons de conférencier de Feynman ainsi que du défi que représente la traduction du « feynmanais » vers l'anglais ;
- enfin le troisième avec Rochus Vogt, en 2009, sur la communauté des professeurs à Caltech qui y ont enseigné les *Feynman Lectures* dans une étroite collaboration.

À tous ceux d'entre vous qui nous ont adressé – électroniquement ou par courrier – des questions et des commentaires sur les *Feynman Lectures on Physics* comme sur les *Feynman's Tips on Physics*, nous présentons nos remerciements les plus sincères ; vos contributions et votre soutien ont grandement contribué à améliorer ces livres et ils seront justement appréciés par des générations de lecteurs. Nous nous excusons auprès de ceux qui nous ont écrit pour réclamer davantage d'exercices, de ce que ceux-ci n'ont pu être inclus dans la présente édition. Cependant leurs encouragements ont inspiré la création d'un nouveau livre très complet (à paraître sous peu), les *Exercises for The Feynman Lectures on Physics*.

Michael A. Gottlieb
Ralph Leighton
Novembre 2012

TABLE DES MATIÈRES

Préface à la seconde édition américaine	III
Avant-propos	IX
Introduction	XI
L'étude de Matt Sands	XIV
Les quatre cours	XIV
Après le cours	XV
Les exercices	XV
Le site Internet	XVI
Remerciements	XVII
Origines du <i>Cours de physique de Feynman</i>	1
La réforme de l'éducation dans les années 1950	1
Le programme de Caltech	2
Impasse et inspiration	4
C'est Feynman qui donnera les cours	5
Le nouvel enseignement de physique	7
À quoi ressemblaient les cours	8
La décision de faire un livre	9
La préface de Feynman	11
Les second et troisième volumes	12
La réaction des étudiants	13
Pensées d'après coup	15
Un entretien avec Richard Feynman	17
Un entretien avec Robert Leighton	27
Un entretien avec Rochus Vogt	35

Chapitre 1. Prérequis	43
1.1 Introduction aux cours de révision	43
1.2 Caltech vu d'en bas	45
1.3 Mathématiques pour la physique	48
1.4 Dérivation	49
1.5 Intégration	52
1.6 Vecteurs	53
1.7 Dérivation des vecteurs	60
1.8 Intégrales curvilignes	63
1.9 Un exemple élémentaire	66
1.10 Triangulation	72
 Chapitre 2. Lois et intuition	 75
2.1 Les lois de la physique	75
2.2 L'approximation non relativiste	77
2.3 Mouvement sous l'action de forces	79
2.4 Les forces et leurs potentiels	82
2.5 Apprendre la physique par l'exemple	85
2.6 Comprendre la physique physiquement	87
2.7 Un problème de machine	91
2.8 Vitesse de libération de la Terre	104
Autres solutions (Par Michael A. Gottlieb)	107
 Chapitre 3. Problèmes et solutions	 111
3.1 Mouvement d'un satellite	111
3.2 La découverte du noyau atomique	117
3.3 L'équation fondamentale d'une fusée	121
3.4 Une intégration numérique	124
3.5 Les fusées chimiques	127
3.6 Fusées à propulsion ionique	128
3.7 Fusées à propulsion photonique	132
3.8 Un déflecteur électrostatique de faisceau de protons	133
3.9 La détermination de la masse du méson pi	136

Chapitre 4. Effets dynamiques et applications	139
4.1 Un gyroscope de démonstration	140
4.2 Le gyroscope directionnel	142
4.3 L'horizon artificiel	143
4.4 Un gyroscope stabilisateur de navire	145
4.5 Le gyrocompas	146
4.6 Progrès dans la conception et la construction des gyroscopes	150
4.7 Les accéléromètres	159
4.8 Un système complet de navigation	164
4.9 Les effets de la rotation de la Terre	168
4.10 Le disque en rotation	172
4.11 La nutation de la Terre	175
4.12 Le moment angulaire en astronomie	176
4.13 Le moment angulaire en mécanique quantique	178
4.14 Après l'exposé	179
 Chapitre 5. Exercices choisis*	 187
5.1 Conservation de l'énergie, statique (Vol. I, chap. 4)	188
5.2 Lois de Kepler et gravitation (Vol. I, chap. 7)	190
5.3 Cinématique (Vol. I, chap. 8)	190
5.4 Lois de Newton (Vol. I, chap. 9)	192
5.5 Conservation de la quantité de mouvement (Vol. I, chap. 10)	193
5.6 Vecteurs (Vol. I, chap. 11)	195
5.7 Chocs non-relativistes de deux corps dans un système à 3 dimensions (Vol. I, chap. 10 et 11)	196
5.8 Forces (Vol. I, chap. 12)	196
5.9 Potentiels et champs de forces (Vol. I, chap. 13 et 14)	198
5.10 Unités et dimensions (Vol. I, chap. 5)	199
5.11 Énergie et quantité de mouvement relativistes (Vol. I, chap. 16 et 17)	200
5.12 Rotations dans un système à 2 dimensions, centre d'inertie (Vol. I, chap. 18 et 19)	200

5.13 Moment cinétique, moment d'inertie (Vol. I, chap. 18 et 19)	202
5.14 Rotation en 3 dimensions (Vol. I, chap. 20)	203
Solutions	207
Crédits	213
Index	215

* Le Volume I de l'édition américaine du *Cours de physique de Feynman* correspond aux volumes *Mécanique 1* et *Mécanique 2* de l'édition française.

AVANT-PROPOS

Depuis un poste frontière isolé sur les hauteurs de l'Himalaya, Ramaswamy Balasubramanian observait à travers ses jumelles les soldats de l'Armée de libération populaire cantonnés au Tibet – lesquels l'observaient aussi. Cela faisait plusieurs années que les relations entre l'Inde et la Chine étaient tendues, depuis qu'en 1962 les deux pays avaient échangé des coups de feu à travers la frontière qu'ils contestaient. Les soldats chinois, se sachant observés, provoquaient Balasubramanian et ses camarades de l'armée indienne en brandissant, dans un geste de défi, leurs exemplaires de poche, rouge vif, des *Citations du Président Mao* – plus connu en Occident sous le nom de « Petit Livre rouge ».

Balasubramanian, qui était alors conscrit et étudiait la physique durant son temps libre, en eut rapidement assez de ces provocations. Un jour, il regagna donc son poste muni d'une réplique appropriée. Dès que les soldats chinois commencèrent à agiter le « Petit Livre rouge », lui et ses camarades indiens exhibèrent à bout de bras les trois gros volumes rouge vif du *Cours de physique de Feynman*.

Un jour, je reçus une lettre de M. Balasubramanian. Elle faisait partie des centaines de lettres que j'ai reçues pendant de nombreuses années et qui témoignent de l'impact durable de Richard Feynman sur la vie des gens. Après avoir raconté l'incident « livres rouges » à la frontière sino-indienne, il écrivait : « Et maintenant, vingt ans plus tard, lesquels de ces livres rouges sont encore lus ? »

C'est un fait. Aujourd'hui, plus de quarante ans après qu'il eut été prononcé, le *Cours de physique de Feynman* est toujours lu – et inspire toujours – y compris d'ailleurs, je le soupçonne, au Tibet.

Voici un cas intéressant : il y a quelques années, je rencontrai Michael Gottlieb dans une soirée au cours de laquelle notre hôte

montrait sur un écran d'ordinateur les harmoniques d'un chanteur de gorge de Tyva – un de ces petits événements qui rendent la vie dans la région de San Francisco si amusante et excitante. Gottlieb avait étudié les maths et il était intéressé par la physique ; je lui suggérais donc de lire le *Cours de physique de Feynman* – et environ un an plus tard, il consacra six mois de sa vie à une lecture très soignée du cours, de bout en bout. Comme Gottlieb le décrit lui-même dans son introduction, tout ceci aboutit au livre que vous tenez entre les mains, ainsi qu'à une nouvelle « édition de référence » du *Cours de physique de Feynman*.

Ainsi, je suis ravi que les gens du monde entier intéressés par la physique puissent maintenant étudier, grâce à l'ajout de ce volume supplémentaire, une édition plus correcte et plus complète du *Cours de physique de Feynman* – une œuvre monumentale qui continuera d'instruire et de faire réfléchir des générations d'étudiants dans les décennies à venir, que ce soit au cœur de Manhattan ou sur les hauteurs de l'Himalaya.

Ralph Leighton
11 mai 2005

INTRODUCTION



Richard Feynman, 1962 environ

J'ai entendu parler de Richard Feynman et Ralph Leighton pour la première fois en 1986, grâce à leur livre de divertissement *Vous voulez rire, M. Feynman !* [*Surely You're Joking, Mr. Feynman !*]. Treize ans plus tard, j'ai rencontré Ralph dans une soirée. Nous sommes devenus amis et, l'année suivante, nous avons travaillé ensemble à la conception d'un timbre fantaisie en l'honneur de Feynman¹. Tout au long de ce travail, Ralph me recommandait des livres, de ou sur Feynman, dont (puisque je suis moi-même pro-

1. Notre timbre est paru dans la notice de la pochette de *Back TUVA Future*, un CD du maître de chant de gorge *Tuvan Ondar* dans lequel Richard Feynman apparaîtrait aussi en personne (Warner Bros. 9 47131-2), paru en 1999.