

软物质物理学名著选译

CAMBRIDGE

# 范德瓦尔斯力

——一本给生物学家、化学家、  
工程师和物理学家的手册

**Van der Waals Forces**

**A Handbook for Biologists, Chemists, Engineers, and Physicists**

V. Adrian Parsegian 著 张海燕 译

高等教育出版社

软物质物理学名著选译

CAMBRIDGE

# 范德瓦尔斯力

——一本给生物学家、化学家、  
工程师和物理学家的手册

FanDeWaErSi Li

Yiben Gei Shengwuxuejia Huaxuejia Gongchengshi he  
Wulixuejia de Shouce

V. Adrian Parsegian 著 张海燕 译

高等教育出版社·北京

图字：01-2011-2123号

*Van der Waals Forces (A Handbook for Biologists, Chemists, Engineers, and Physicists)*, 1<sup>st</sup> Edition, ISBN-13: 9780521547789 by V. Adrian Parsegian, first published by Cambridge University Press in 2006.

All rights reserved.

This Simplified Chinese Translation edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© V. Adrian Parsegian 2006

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press or Higher Education Press Limited Company.

This edition is for sale in the mainland of China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan, and may not be bought for export therefrom.

此版本仅限于中华人民共和国境内（但不允许在中国香港、中国澳门特别行政区和中国台湾地区）销售发行。



图书在版编目(CIP)数据

范德瓦尔斯力：一本给生物学家、化学家、工程师和物理学家的手册 / (美)帕西吉安, V. A. 著；张海燕译. -- 北京：高等教育出版社, 2015.9

书名原文：Van der Waals Forces: A Handbook for

Biologists, Chemists, Engineers, and Physicists

ISBN 978-7-04-043017-2

I. ①范… II. ①帕… ②张… III. ①范德瓦尔斯力  
IV. ①O561.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第137235号

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印 刷 北京人卫印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 28.5  
字 数 540千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版 次 2015年9月第1版  
印 次 2015年9月第1次印刷  
定 价 79.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到购书图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物 料 号 43017-00

# 前言

---

“当熵真的减少时究竟会怎样?”我的家人当时正被一些相互矛盾的新闻报道所困扰,而我不知道怎样回答他们的问题.我能想到的最好回答是,“我不知道怎样用你们和我都能理解的说法来解释.我能告诉你们的是:举出一些例子来看,比如,当把奶油和糖放进咖啡时,熵变表现在哪里.你们先考虑一下这些例子.然后我们可以一起来回答问题。”

就在我准备给读者写此欢迎辞的那个早晨,我从梦中醒来,而这就是梦的一部分.我把它与30年前我的朋友 David Gingell 开始学习范德瓦尔斯力的方法联系起来.当时,他首先用编写好的程序进行计算,接着改进这些程序以提出更好的问题,最后又回到动物学家原先(不用这些方法时)无法进入的基础部分开展工作.

本书是按照“Gingell 方法”写成的,用我另一位朋友的话说,可以作为“给大众的量子电动力学”的一种实验.首先给出主要观点和一般图像(第1级);其次为实践(第2级);最后则是从深奥的原始资料中挑选和改述而来的基础科学(第3级).很多需要用到范德瓦尔斯力理论的人对其心存恐惧,这阻碍了他们从过去50至60年的研究进展中获益,而此实验就是打败那些恐惧的一个策略.

虽然已经有很多物理方面成熟的优秀教科书,但对于太多的潜在使用者而言,它们仍然是高不可攀的.相反地,许多通俗教科书则是过于简化从而使读者丧失了一窥宇宙奥秘的那种兴奋感.

尽管本书立意要通俗化,但它并非摘要性质的科学.读者也不能为了省下仔细思考的时间而跳过目录、工具栏、或者各部分的标题.把本书视为在黑板边展开的一系列对话,可以帮助我们收集到的,以及推导出来的公式建立成表,并理解各种应用. Peter Rand 是与我合作从事科学研究最多的人,他说读我的书需要读者有很强的理解力.对,我承认这点.并且希望,既然这门学科

已经能够影响到全部基础科学以及一些工程学科分支,那么读者所具有的学习动机和愉悦感也能够帮助他们阅读此书。

随着本书的进展,我开始思考是否能找到更多的应用实例、关于计算技巧的更多细节,以及对于正在进行中的工作的更详尽论述。

关于应用:我发现,出于最基本的需要或兴趣,很多人已经迫不及待地要学习有关范德瓦尔斯力的知识了。我将首先满足他们的需要。

关于计算:光谱学及数据处理最终能够满足基本物理理论所揭示出的各种可能情形;而这里给出的各种详细操作方法(How-To)很快就会变得过时。

关于正在进行中的工作:“当我们认可极限的存在,就可以达到完美;如果不给出此边界,则将永远看不到尽头。”这个痛苦的警句来自于 Mary McCarthy 的佛罗伦萨的石头,它使得每个作者都能够承受哪些内容应该舍弃、何处应该止步的烦恼。那些“可能包括的内容”列表——激发态、溶液中的离子、原子束、奇异的几何构形,等等——比我仅凭推理思考时所能想到的要增加得快。对我而言,选择把哪些知识纳入本书的唯一原则是,当读者掌握了书中的内容之后,就应当可以通过新的方式进行自学了。此书就是本着“学习如何学习”的精神来设计的。我也希望能够通过这种设计来向我的读者学习。

绪论给出了学生们能够从教授那里获得的非常简单的概要和综述——历史、原理、公式、数值、例子以及测量。

**第 1 级**是一篇图文并茂的文章,告诉那些想学到更多知识的读者,现代理论给他们提供了什么。在绪论之后,这是最适于通读的唯一部分。

**第 2 级**就是实践。

其第一部分为公式,我们核查了一系列表格和文章中的基本形式,并说明了它们的各种变化版本、近似形式和详细情况。我们把公式本身按照相互作用材料的几何构形和物理性质制成表格。(现在来看一下,图在左边;公式在右边;偶尔有些注释则位于本书最后部分。)

其第二部分为计算,建议读者既要学习算法,也要学会把实验数据转换成计算大厦的各砖各瓦的方法。这一部分包括了关于介电响应的物理的文章,即范德瓦尔斯力理论中那些不会吓退潜在的读者的部分。

**第 3 级**为基本表述,是最容易写的、却也可能是最难读懂的内容。虽然读者在学会应用理论之前不必完成全部推导,但他们应该知道自己所做的是什么,所以我把它放在最后部分。正如我在关于我家人的梦中想象的那样,在深入学习制作咖啡的原理之前,最好能先把咖啡搅拌一下再品上几口。

这使我想起了一些更有学问的朋友,我们一起品尝咖啡,并有幸一起学习这门科目(但他们不必为本书中不可避免会存在的错误和不足负责)。其中包括: Barry Ninham, 我最早的合作者;我们在一起度过的美好时光开启了

之后几十年的学习道路,也奠定了终生的友谊; Aharon Katzir-Katchalsky 和 Shneior Lifson, 两位聪明、睿智又循循善诱的老师, 是他们把我引入这个学科, 并指导了我早期的科学生涯; George Weiss, 曾经是我的“老板”, 总是确保我享有完全的自由, 他带乡土味的笑话和数学方面的才智滋养了我很多年; Ralph Nossal, 我四十年的铁杆朋友, 曾经在如何写书、骑自行车、还有很多其它方面都对我提出过可靠而明智的建议; Rudi Podgornik 总说“你就是最适合干这个的”, 促使我一直努力工作, 而他丰富的智慧把批判性的阅读变为了创造性的科学; Victor Bloomfield 和 Lou DeFelice, 我的在线编辑, 总是慷慨而及时地给我送来适当的评论和热情的鼓励; Kirk Jensen 是我在剑桥的编辑, 他对此书(和我)的灵活处理使得读者对我们的欣赏与日俱增; Vicky Danahy 是文字编辑, 他具有幽默感、耐心以及毅力, 在他身上充分展现了剑桥大学出版社强大的编辑能力; Per Hansen 和 Vanik Mkrtchian 负责本书中所有方程的校对, 为了保证公式的正确性, 他们不知疲倦地工作, 而且似乎真的很享受那些日子(也许是几个星期). Luc Belloni 对离子部分进行了一丝不苟的审读, 居然能找出相隔几百页的不一致之处, 以及因子 2 的谬误; David Andelman, 他对科学和教学的热爱使他能够同时作为科学家和教师来阅读本书并给出建议; Sergey Bezrukov, 我关于噪声和涨落的知识大部分都来自于他; Joel Cohen, 和我一样疯狂地追求遣词造句的正确性; Roger French 和 Lin DeNoyer, 给我们所有人提供了现代光谱学的正确剂量以及非常有效的范德瓦尔斯计算程序; Dilip Asthagiri, Simon Capelin, Paul Chaikin, Fred Cohen, Milton Cole, Peter Davies, Zachary Dorsey, Michael Edidin, Evan Evans, Toni Feder, Alan Gold, Peter Gordon, Katrina Halliday, Daniel Harries, Jeff Hutter, Jacob Israelachvili, James Kiefer, Sarah Keller, Christopher Lanczycki, Laszlo Kish, Alexey Kornyshev, Nathan Kurz, Bramie Lenhoff, Graham Vaughn Lees, Sergey Leikin, Alfonso Leyva, Steve Loughin, Tom Lubensky, Elisabeth Luthanie, Jay Mann, William Marlow, Chris Miller, Eoin O'Sullivan, Nicholas Panasik, Horia Petrache, Yakov Rabinovich, Don Rau, George Rose, Wayne Saslow, Arnold Shih, Xavier Siebert, Sid Simon, Jin Wang, Lee White, Lee Young, Josh Zimmerberg, 还有许许多多的人(我肯定会遗漏掉太多的名字和太多的贡献)都给过我中肯的批评和激励性的意见, 也使我在学术、编辑乃至精神方面得到提升; Owen Rennert, 是我在儿童健康与人类发展国立研究所日常工作的科研所长, 非常机敏而善于进行间接的管理; Aram Parsegian 说的“爸爸是不是总那样写?” 被我无意中听到, 促使我对自己所写的内容重新思考; Andrew Parsegian, Homer Parsegian 和 Phyllis Kalmaz Parsegian, 他们的鼓励使我成为一个无比幸运的父亲. Valerie Parsegian 是我人生的编辑, 她所给予我的充满智慧的建议和始终

如一的鼓励超过任何人的想象, 无论怎样赞美都不过分; Brigitte Sitter, James Melville, 以及美国驻巴黎大使馆的工作人员, 在 2001 年“911”大屠杀发生后慷慨地提供给我一台笔记本电脑, 使我在巴黎等待回家的一周时间里也没耽误工作. 还有 David Gingell (1941—1995). 但愿我能许自己另一个梦, 即对 David 说: 这是你 30 年前让我写的书, 如果能够有你的评论 (虽然我无法预知其内容), 它一定会更好. 如果你能够在这儿, 那么我的写作过程中本该充满我们的笑声. 这本书错过了你. 我也失去了你. 然而, 正如我前面所写的, 它仍是来自曾经和你一起从事的工作.

发自我心,  
献给你.

# 目录

---

前言	i
绪论	1
PR.1 电荷的跳动	4
PR.2 如何把吸收谱转换成电荷涨落力?	25
PR.3 测量能做到多好? 它们真的验证理论了吗?	31
PR.4 我能从这本书得到什么?	39
第 1 级 引言	41
L1.1 最简单的情形: 材料 A 与材料 B 位于介质 m 两侧	43
L1.2 范德瓦尔斯相互作用谱	65
L1.3 多层平面物体	69
L1.4 球状几何构形	80
L1.5 柱状几何构形	102
第 2 级 实践	107
L2.1 记号与符号	109
L2.1.A 几何量	109
L2.1.B 力和能量	109
L2.1.C 球形和柱形物体	110
L2.1.D 材料的性质	110
L2.1.E 表示各点位置的变量	112
L2.1.F 积分与求和中用到的变量	112
L2.1.G 关于材料性质的“差值与和值之比”	112
L2.1.H Hamaker 系数	113



L2.1.I	cgs 与 mks 制中记号的比较	113
L2.1.J	单位换算, mks-cgs	115
L2.2	公式列表	117
L2.2.A	在平面几何构形中的公式列表	118
L2.2.B	在球形几何构形中的公式列表	157
L2.2.C	圆柱几何构形中的公式列表	177
L2.3	关于公式的短文	189
L2.3.A	两个半无限大介质之间的相互作用	189
L2.3.B	多叠层体系	199
L2.3.C	关于两个反向弯曲表面之间相互作用的 Derjaguin 变换	216
L2.3.D	Hamaker 近似: 与现代理论的混合	221
L2.3.E	稀薄气体和悬浮液中的点粒子	228
L2.3.F	点粒子与平面衬底	244
L2.3.G	稀薄悬浮液中的线型粒子	248
L2.4	计算	258
L2.4.A	介电响应的性质	258
L2.4.B	积分算法	279
L2.4.C	从完整光谱到力的数值转换	282
L2.4.D	样品的光谱参数	284
L2.4.E	关于技巧、缺点以及绝对必要的部分	290
L2.4.F	示例程序, 近似程序	291
<b>第 3 级 基础</b>		<b>297</b>
L3.1	故事, 立场, 技巧	299
L3.2	第 3 级推导中所用到的记号	300
L3.2.A	栗弗席兹的结果	300
L3.2.B	层状体系	301
L3.2.C	离子涨落力	301
L3.2.D	各向异性介质	302
L3.2.E	各向异性离子型介质	302
L3.3	关于两个半无限大介质通过一个平面间隙发生相互 作用的栗弗席兹一般结果的启发式推导	303
L3.4	对层状平面体系中的范德瓦尔斯相互作用的推导	314
L3.5	非均匀介质	327

---

L3.6 离子电荷涨落 . . . . .	340
L3.7 各向异性介质 . . . . .	345
<b>问题集 . . . . .</b>	<b>351</b>
绪论的问题集 . . . . .	351
第 1 级的问题集 . . . . .	360
第 2 级的问题集 . . . . .	368
<b>注解 . . . . .</b>	<b>381</b>
<b>索引 . . . . .</b>	<b>419</b>

# 表格目录

---

## 绪论

- Pr.1 在各种不同几何构形中, 相互作用自由能的理想化幂律形式 15
- Pr.2 在小间距极限下 Hamaker 系数的典型估值 19

## 第 1 级 引言

- L1.1 语言, 单位, 以及常数 54
- L1.2 频率谱 55
- L1.3 典型的 Hamaker 系数, 对称体系, 忽略推迟屏蔽 68

## 第 2 级 实践

### 在平面几何构形中的公式列表

- P.1.a 两个半无限大介质之间的范德瓦尔斯相互作用形式 118
  - P.1.a.1 精确的栗弗席兹形式 118
  - P.1.a.2 Hamaker 形式 118
  - P.1.a.3 非推迟的, 间距趋于接触,  $l \rightarrow 0, r_n \rightarrow 0$  118
  - P.1.a.4 非推迟的, 电容率有小差异 118
  - P.1.a.5 无限大间距,  $l \rightarrow \infty$  118
- P.1.b 在零度极限下, 两个半空间被一块厚度  $l$  的平板隔开 119
  - P.1.b.1 有推迟效应 119
  - P.1.b.2 小间距极限 (无推迟效应) 119
  - P.1.b.3 大间距极限 119
- P.1.c 理想导体 120

P.1.c.1	有限温度	120
P.1.c.2	有限温度, 长距离	120
P.1.c.3	零温度	120
P.1.c.4	在零温度下, 被真空隔开的波纹状表面和导电平表面	120
P.1.c.5	在零温度下, 被真空隔开的两个波纹状的导电表面	121
P.1.d	离子溶液, 零频率涨落, 被 $m$ 层隔开的两个半空间	122
P.1.d.1	积分变量为 $\beta_m$	122
P.1.d.2	积分变量为 $p$	122
P.1.d.3	积分变量为 $x$	122
P.1.d.4	均匀的离子强度 $\kappa_A = \kappa_m = \kappa_B = \kappa$	123
P.1.d.5	$m$ 为盐溶液; $A, B$ 是纯的介电体, $\varepsilon_m \ll \varepsilon_A, \varepsilon_B, \kappa_A = \kappa_B = 0$	123
P.1.d.6	$A, B$ 为盐溶液; $m$ 是纯的介电体, $\varepsilon_m \ll \varepsilon_A, \varepsilon_B, \kappa_A = \kappa_B = \kappa$	123
P.2.a	一个单涂层的表面	124
P.2.a.1	精确的栗弗席兹形式	124
P.2.b	一个单涂层的表面: 几种极限形式	125
P.2.b.1	介电电容率很高的层	125
P.2.b.2	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小, 有推迟效应	125
P.2.b.3	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小, 无推迟效应	125
P.2.c	有限厚的平板与半无限大的介质	126
P.2.c.1	精确的栗弗席兹形式	126
P.2.c.2	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小	126
P.2.c.3	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小, 无推迟极限	126
P.3.a	两个单涂层的表面	127
P.3.a.1	精确的栗弗席兹形式	127
P.3.b	两个单涂层的表面: 几种极限形式	128
P.3.b.1	介电电容率很高的层	128
P.3.b.2	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小, 有推迟效应	128
P.3.b.3	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小, 无推迟效应	128
P.3.c	在介质 $m$ 中的两块有限大平板	129
P.3.c.1	精确的栗弗席兹形式	129
P.3.c.2	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小	129
P.3.c.3	各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 值的差异很小, 无推迟极限	129
P.4.a	两个半空间, 每一个上的涂层数目是任意的	130

P.4.b	再加上一层, 迭代程序	131
P.4.c	再加上一层, 各极化率有小差异情形的迭代程序	132
P.5	半无限大物体 A 和 B 上都有多涂层, 各 $\varepsilon$ 和 $\mu$ 的 Hamaker 形式有小差异	133
P.6.a	半无限大介质上有多涂层	134
P.6.b	涂层数很多的极限情形	135
P.6.c	在多层堆叠上再加有限厚度的一层	135
P.6.c.1	涂层数有限	135
P.6.c.2	涂层数很多的极限情形	135
P.7.a	介电响应随着空间变化	136
P.7.a.1	有限层中的介电响应 $\varepsilon(z)$ 随空间变化, 不对称, 在各界面处是不连续的, 有推迟效应	136
P.7.a.2	有限层中的介电响应 $\varepsilon(z)$ 随空间变化, 不对称, 在内侧和外侧界面处都是不连续的, 无推迟效应	137
P.7.b	有限层内的 $\varepsilon(z)$ 是不均匀的, $\varepsilon$ 的取值范围很小, 忽略推迟效应	137
P.7.c	在有限层内 $\varepsilon(z)$ 为指数形式, 对称体系	138
P.7.c.1	在两个半无限大介质 A 上对称地涂有厚度 $D$ 的有限层 a, 其 $\varepsilon_a(z)$ 在垂直于界面的方向成指数变化, 忽略推迟效应	138
P.7.c.2	在厚度为 $D$ 的有限层中 $\varepsilon$ 值以指数变化, 对称结构, 没有不连续性, 忽略推迟效应	139
P.7.c.3	介电响应在无限厚的层中以指数变化, $\varepsilon$ 值没有不连续性, $d\varepsilon(z)$ 在界面处具有不连续性, 忽略推迟效应	140
P.7.d	$\varepsilon(z)$ 在有限层中为幂律形式, 对称体系	141
P.7.d.1	$\varepsilon$ 值在厚度为 $D$ 的有限层中以幂律形式变化, 对称结构, 没有不连续性, 但 $d\varepsilon/dz$ 在界面处有不连续性, 忽略推迟效应	141
P.7.d.2	$\varepsilon(z)$ 连续变化, 在内侧界面处 $d\varepsilon/dz$ 为连续的; 在有限层的整个范围内呈二次方变化关系, 忽略推迟效应	142
P.7.e	在无限厚的层中介电响应呈高斯型变化关系, $\varepsilon(z)$ 和 $d\varepsilon/dz$ 都没有不连续性, 对称剖面, 忽略推迟效应	143
P.8.a	长度 $a$ , 宽度 $b$ , 间距 $l \gg$ 厚度 $c$ 的两个薄长方体之间的边缘 - 边缘相互作用, Hamaker 极限	144

P.8.b	长度 $a$ , 宽度 $b$ , 间距 $l \gg$ 厚度 $c$ 的两个薄长方体之间的面 - 面相互作用, Hamaker 极限	145
P.8.c	长度 $a$ , 宽度 $b$ , 高度 $c$ 的两个长方固体相互平行, 其间距 $l$ 与 $a, b$ 平面垂直, Hamaker 极限	146
P.8.d	长方固体, 长度 = 宽度 = $a$ , 高度 $c$ , 两个棱被边长 $d$ 的正方形对角线分开, Hamaker 极限	147
P.9.a	被各向异性介质隔开的两个各向异性介质之间的相互作用	148
P.9.b	被各向同性介质 $m$ ( $\epsilon_x^m = \epsilon_y^m = \epsilon_z^m = \epsilon_m$ ) 隔开的两个各向异性介质 A 和 B 之间的相互作用	148
P.9.c	被各向异性介质隔开的两个各向异性介质之间的低频离子涨落相互作用 (忽略各磁性项)	149
P.9.d	双折射介质 A 和 B 位于各向同性介质 $m$ 两边, 它们的主轴垂直于界面	150
P.9.e	双折射介质 A 和 B 位于各向同性介质 $m$ 两边, 它们的主轴平行于界面, 交角为 $\theta$	151
P.10.a	一个球在另一个球内, 栗弗席兹形式, 忽略推迟效应以及各磁性项	152
P.10.b	小球在一个同心的大球内, $R_1 \ll R_2$ 的特殊情形	153
P.10.c	两个同心平行表面, $R_1 \approx R_2 \gg R_2 - R_1 = l$ 的特殊情形, 平面是微折的; 忽略推迟效应与各磁性项	154
P.10.c.1	一球在另一球内	154
P.10.c.2	一个圆柱体在另一个圆柱体内每单位长度的能量	154
P.10.c.3	细圆柱体在同心的大圆柱体内, $R_1 \ll R_2$ 的特殊情形	156

### 在球形几何构形中的公式列表

S.1	各球的间距小于其半径, 由栗弗席兹的平面结果得到 Derjaguin 变换, 包括推迟效应和所有的更高阶相互作用	157
S.1.a	力	157
S.1.b	相互作用自由能	157
S.1.c	非推迟极限	157
S.1.c.1	半径相同的两球	157
S.1.c.2	一球与一平面, $R_2 \rightarrow \infty$	157
S.2	球 - 球相互作用, 极限形式	158
S.2.a	在所有间隔处, 多体展开至全部阶, 无推迟效应	158
S.2.b	对长距离极限展开的球 - 球相互作用, 忽略推迟效应	159

S.2.c	球 - 球相互作用, 很容易计算出精确多体形式的准确近似, 无推迟效应	160
S.2.d	两个相同的球, 很容易计算出关于精确多体形式的近似, 无推迟效应	162
S.3	球 - 球相互作用, Hamaker 混合形式	163
S.3.a	Hamaker 求和	163
S.3.b.1	点粒子极限	163
S.3.b.2	近接触极限	163
S.3.b.3	相同尺寸的两球	163
S.3.b.4	相同尺寸的两球, 间隔很大	163
S.4	毛茸茸的球, 介电响应沿径向变化	164
S.4.a	$\epsilon$ 值有小差异, 无推迟效应	164
S.4.b	两个同类的球, $\epsilon$ 有小差异, 无推迟效应	165
S.4.c	两个同类的球, 其涂层的 $\epsilon_f(r)$ 呈指数变化: $\epsilon$ 有小差异, 无推迟效应	166
S.5	球 - 平面相互作用	167
S.5.a	关于精确的多体形式的准确近似, 无推迟效应	167
S.5.b	球 - 平面相互作用, Hamaker 混合形式	168
S.5.b.1	球 - 平面, 各种间距	168
S.5.b.2	大间距极限	168
S.5.b.3	近乎接触	168
S.6	点粒子 (没有离子涨落或离子屏蔽)	169
S.6.a	一般形式	169
S.6.b	非推迟极限	169
S.6.c	零温度的推迟极限	169
S.6.d	全推迟的有限温度低频率极限	169
S.7	小球 (没有离子涨落或离子屏蔽)	170
S.7.a	一般形式	170
S.7.b	非推迟极限	170
S.7.c	零温度的推迟极限, $T = 0$	170
S.7.d	全推迟的有限温度低频率极限	170
S.8	蒸气中的点粒子相互作用, 无推迟屏蔽的同类粒子	171
S.8.a	“Keesom” 能量, 永久偶极子的相互排列	171
S.8.b	“Debye” 相互作用, 永久偶极子和感应偶极子	171
S.8.c	两个相互感应的偶极子之间的“伦敦”能量	171

S.9	盐水中的带电小粒子, 仅有零频率涨落, 有离子屏蔽	172
S.9.a	感应偶极子 - 感应偶极子的涨落关联	172
S.9.b	感应偶极子 - 单极子的涨落关联	172
S.9.c	单极子 - 单极子的涨落关联	172
S.10	盐水中的带电小球, 仅有零频率波动, 有离子屏蔽	173
S.10.a	感应偶极子 - 感应偶极子的涨落关联	173
S.10.b	感应偶极子 - 单极子的涨落关联	173
S.10.c	单极子 - 单极子的涨落关联	173
S.11	点粒子与衬底的相互作用	174
S.11.a.1	一般情形	174
S.11.a.2	$\overline{\Delta}_{Am}$ 值很小的极限	174
S.11.b.1	非推迟极限, 有限温度	174
S.11.b.2	非推迟极限, $T \rightarrow 0$	174
S.11.c	全推迟极限	174
S.12	小球与衬底的相互作用	175
S.12.a	在 $\varepsilon$ 值差异很小的极限下, 半径为 $b$ 的球形点粒子	175
S.12.b	大间距情形的 Hamaker 形式	175
S.12.c	半径为 $b$ 的小球位于半径 $R_2 \approx z$ 的同心大球内	175
S.13	蒸气中的两个点粒子, 接近或接触一个衬底 (非推迟极限)	176
S.13.a	接近的情形	176
S.13.b	接触的情形	176

### 圆柱几何构形中的公式列表

C.1	间距小于其半径的两个平行圆柱体, 由完整的栗弗席兹结果得到的 Derjaguin 变换形式, 计入推迟效应	177
C.1.a	每单位长度的力	177
C.1.b	每单位长度的相互作用自由能	177
C.1.c.1	非推迟 (光速无限大) 极限	177
C.1.c.2	半径相等的两个圆柱体	177
C.1.c.3	一个圆柱体与一个平面	177
C.2	相互垂直的两个圆柱体, $R_1 = R_2 = R$ , 由平面的完整栗弗席兹结果得到的 Derjaguin 变换形式, 计入推迟效应	178
C.2.a	力	178
C.2.b	每单位相互作用的自由能	178
C.2.c	非推迟 (光速无限大) 极限	178



C.2.d	各处的光速都取为介质中的光速, $\bar{\Delta}_{ji}, \Delta_{ji}$ 很小, $q = 1$	178
C.2.e	Hamaker - 栗弗席兹混合形式	178
C.3	两个平行圆柱体	179
C.3.a	两个平行圆柱体, 忽略推迟屏蔽, 通过多重反射来求解	179
C.3.b	两个平行圆柱体, 成对求和近似, Hamaker - 栗弗席兹混合形式, 忽略推迟屏蔽	180
C.3.b.1	各种间距的情形	180
C.3.b.2	大间距情形	180
C.3.b.3	小间距情形	180
C.4	两个介电“细”圆柱体; 平行或成各种角度, 轴间距 $z \ll$ 半径 $R$ ; 栗弗席兹形式; 不计入推迟、磁性项, 以及离子涨落项	181
C.4.a	平行圆柱体, 轴间距 $z$	181
C.4.b.1	两个圆柱体夹角 $\theta$ , 最小的轴间距 $z$	181
C.4.b.2	力矩 $\tau(z, \theta)$	181
C.4.c	Hamaker 混合形式 (小 $\delta$ 极限, $\epsilon_{c\perp} = \epsilon_{c\parallel}$ )	181
C.5.a	盐水中的两个介电细杆, 平行或成一角度, 低频 ( $n = 0$ ) 偶极涨落和离子涨落	183
C.5.a.1	两个圆柱体平行, 中心 - 中心间距为 $z$	183
C.5.a.2	两个圆柱体交角为 $\theta$ , 其最近的中心 - 中心间距为 $z$	183
C.5.b	盐水中的两个细圆柱体, 平行或成一个角度, 仅有离子涨落, 其间距 $\gg$ 德拜长度	184
C.5.b.1	两个圆柱体平行	184
C.5.b.2	两个圆柱体成一角度, 最小间距为 $z$	184
C.6	两个长度相同的平行细杆, 长为 $a$ , 轴间距为 $z$ , Hamaker 形式	185
C.6.a	横截面积为 $A_1, A_2$	185
C.6.b	两个半径为 $R_1, R_2$ 的圆杆	185
C.7	两个同轴的细杆, 最近间隔为 $l$ , 长为 $a$ , Hamaker 形式	186
C.7.a	横截面积 $A_1, A_2$	186
C.7.b	圆柱体, $A_1 = \pi R_1^2, A_2 = \pi R_2^2$	186
C.8	圆盘与杆	187
C.8.a	圆盘或有限长度的杆, 其轴平行于无限长圆柱体, 成对求和形式	187
C.8.b	圆盘的轴垂直于无限长圆柱体的轴, 成对求和形式	188
C.8.c	球与无限长圆柱体, 成对求和形式	188