

Æ m ú › % ÷ . Ô æ ¢ Ü ¢ w ; þ

¢ ' y H í

¿ aG¶G¶Ä\úMJ¶Z€J

Acoustics in impure liquid ³He

Takayuki ICHIKAWA

*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan*

A y «

y)F j x µ Ð ÿ w † F S N J { p K “ z è Æ ” Å ‘ ã ” ï ¶ w i “ ^ ; Û Ä ï ß ¢ › Ë m
h Š ÷ . Ý 6 t S M o x È ” Å ~ ž w q — t ‘ l o § X ï “ ^ ; ` o M ” U z G ü ÿ 9 p x - B O E B V
t ‘ l o G \ \ ^ • h g Ý \$ s ‘ F S N J v . w % › î q ` z © í ” N › Ë m j { w ß p p G \ \ ^ •
” { j { t x z È t ÿ 9 p µ Ð ï • ‘ W › p q b ” ¾ — ï “ ^ ; U ‡ X q ß Q ‘ • o S “ z 1
þ ~ O ò 1 Ý 6 w « ” í ” 0 U R ^ • z \ • t ‘ l o Ò v ^ ï U † s Ý 6 q s ” { \ w ‘ O
s ° æ x S › Ë m 0 U R ^ • ” Ô ù z Ò v ^ ï t x ó : w † s i U î q b ” { È t z ÷ .) F
x Ä Š o m S U ô X g æ q î g w ^ µ s z ± U D ó p K ” \ q T ‘ z y X “] æ t Z € U s ^ • z
‹ s f w Z € 0 Ä q ` o w µ † U æ ~ • o M s M { ‡ h z 7 Û C _ ^ • h Ò ; ‹ . 4 S 3 V 0 z
6 1 U s r p x z 1 Ý 6 w « ” í ” 0 U R ^ • o M ” q ß Q ‘ • z \ • ‘ w Z € t S M o Ò v ^
) F x þ Ä ¢ ú í q ` o w þ Ä › L h ` o M ” {
y \ w ‘ O t Ä Š o m . s % › s b ÷ .) F t S M o z 7 Û z ¢ ž é ´ £ ¢ ¢ p w ü ä M U « è ^
• o M ” { ¢ ž é ´ £ ¢ q x ³ æ § 4 J 0 › j % q ` h ä 1 Ý w { . p K ” U z ‡ x t ý µ S w ,
Q ú í p K ” { Û « é s q Ô T ‘ _ ” q ³ æ § U / Ý É ¿ Ä è ” ‹ › s ` z ó v s Ñ á « » ¢ Ĩ ›
Ë m Ä U C E ‘ • o M ” { \ w ¢ ž é ´ £ ¢ ¢) F w Ò v ^ Ý 6 › ; M h î g x 1 P S U P B O E 1 B S Q J B
t ‘ l o s Š o æ s ~ • z m . s ÷ .) F p w A L t z , o Ò v ^ 8 9 S U ÿ X s ” \ q U C
^ • h { \ w 8 9 S w H M x z) F U 1 þ w « ” í ” 0 › R b ” h Š z Æ m ú „ Z t “ ” 0 u
© L t ‘ l o \ a ” q ß Q ‘ • o M ” { î M z ” C S J L P T P W B O E (P S L P W w g æ › ; M o 4 þ Ò ; ‹
. t S Z ” Ó Q Æ m ú „ Z q % 7 w ^ æ › æ s l h Ô ù z Ò v ^ 8 9 S q Æ m ú „ Z t “ ” ù
É x æ q w › { Š ” \ q U p V ” { \ w T ‘ ~ ‘ • ” ù É x æ x z 2 ? ¶ \$ t
° A ^ • ” É x æ q % S t s ” {
y 7 Û / P S U I X F T U F S O G ¶ w ~ ¢ ” Ó t “ ” ¢ ž é ´ £ ¢ ¢) F p w Ò ; þ u) w î g A L ‹ †
C ^ • h { \ w C p x z ¢ ž é ´ £ ¢ U Æ m ú w þ Ä › L h ` o M ” q ¥ ~ • ” t † T T ~ ‘
c z u) w ^ 0 ‹ x m . s % w Ô ù q K ‡ “ § ~ s M ‹ w q s l o M ” { ` T ` u) w 9 S ‘ Q

¿ aG¶ĭ ï ù J ¶ æ D A š g % \$ z H è
ĭ ¿ aG¶ĭ ù * ¶ • æ
y ± „ C ^ Ô • á D Ô z ¶ • ~ Ô • á D Ô

xzm.s%p_.'ü"ãMqxÿs“z <N,>Ž<wÿ9¬px„...° pz <NL> ST
'n—'z : <N,>ŽÍwô9¬px6|° w<qslom”{ ‡hÒv^ìpxm.s%p
^•”ÿ,íáÿ”»wB,-l|l¼b”u)Ð”«<0 utl¼b”u)Ð”«< ^•
sTlh{
y`hUloŠZ€wè\$xz •¹\$QÔT'‡žé'£ç‡)FwÒ;þw;ûqu)›βo`z
xv^izÒv^it~hlo‡žé'£çwÆmú@L›ì'Ttb”\qtK”{
y‡cz xv^itSMoÆmú@L›•¹\$gæt “Ö•”hŠtβQÇX\qxz #PMU[NBOO
M Üw¿¥òtÆmú„Zwò›ÇZCQ”\qpK”{ Æmú„Zxj{ „Zqÿs“z „
Zw²™p)Fwá^”-`sMhŠtz ;þw;ûtPOv›n0^d”@L›)Q”{ \
w@Lx‡xtGVXz 2?¶\$t°A^•” Éx æ ›;Mo-%b”qz u)w<xm.s
)FwÔùtz,:ì ts”{ `T`z ‡žé'£ç‡w)Fp ^•hu)xm.s%p w<
q% SpK”qMOÄîT'z Æmú„Z›èxt{Oizpxz îgqxGîTÿs”ALts
”ÄUì'Tqslh{\wðJ›r>b”hŠzŠZ€px¿¥òtSMo„Z.pK”‡žé
'£çwá^` “Ö•z \›‡žé'£çwá^M ÜqÈq^d”\qt'lo;þw;û›
Ð,zìgAL›'X6qb”AL›~h{‡žé'£çU)Fq°yt^XDóQxbpt!
^•oM”Uz•¹\$sqÔT'fw;î›ì'Tt`hwXŠZ€UsŠopK” <{
yítz Òv^ìp;ûb”;pxz µSw3'Wq«”í”0wĩ 3'WUAùb”hŠz fw
‡M›àOžAUK”{ m.s)F%pxzæ» Üwüì :›;M”MOU¬q`oM”Uz Æ
mú„Z@L›Y`X “Ö•”txÉ:UK”{ `hUloŠZ€px ,FMEZTI Üp{T•h
(SFFO :gæt,nX1þÒv^..w¼ ÆÛ«µw Ü=qfwrs›æMzÆmú„Zt
`ox·çÑ¬ĩ³µÄîÄ 5 NBUSJY ÙÄt0 b”¼ ž¬áÜ›β€`oz 0 b”ì”Ä¿
«µ4Yw°A›æsmz ¶owB,-lwX S› “Ö•hgæ›ìR`h{ \t“z Òv
^itSZ”Ò;þu)w9S' Q” ”\$t‡ìb”\qUDótslh{
Šæ xŽ<w'Otĩ ^•”{

H ·y,æ

y7Ü«è^•oM”‡žé'£ç‡)FwQí›°p`z%òityX“÷.)F›Z€b”
^q`o;M'•h;þwígtmMo°p›ælh{ ‡hz7ÜC ^•h‡žé'£ç‡)Fp
wÒ;þu)wíg›<qtzŠZ€pæsOÆmú) %÷.)F‡;ûb”;þw^æwè
\$Q™[\,h{

H ·y÷. ³He

y÷.)Fwxv^z Òv^S'|‡žé'£ç‡)FwQítmMo“`h{ ‡cz -BOEBV t
'” 'FSNJ ÷.gæw“A›\,zít1þ~OòwÒv^t b”°`=^•h#\$4gæt m
Mo ,z7™tz‡žé'£çwQíqÜâw‡žé'£ç)Ft b”Z€tmMo~•h{

H · ÷ . ³He tSZ";þ

y ÷ .)F ꝑ;ûb";þtmMowHRwgæqîgALtmMo“`h{ ꝑcz ÷ .)F x
v^it`oxz m.s%tSZ”H;þqH;þz S’|#þw;ûtmMo\,z /PSUI
XFTUF SO w-ç”Ót’loæs~·hzæžé’Éçꝑ)F xv^ipw7ÛwNþwC t
`o~·h{ÍtÒv^it`oxzsŠt«”í”0w! tPOB,-l) #8 Ý6S’
|”#. Ý6tmMo^p`z\·’wB,-lU;þt)Q”è^tmMo^pælh{þhz
7ÛC ^·h#ipw#þw tmMo<^p`h{

H · y Landau-Boltzmann ùgæ

y ꝑžé’Éç › °7tÛí`hÆmúw„Z.qq’QzÆmú„Z› “Ö·h -BOEBV
#PMU[NBOO gæt,nMÐSUIXFTUF SO -ç”Ót’loæs~·hîgwrs>ælh{ 7
4\$tz)F qꝑžé’ÉçU¿¥›p`o—>t...KMsU’^yt^X \$PMMJTJPO ESBH ®L
) “Ö·”\qꝑzîgALU ”\$t<6q^·”\q>Ô`h{

H · y Keldysh ÛtSZ”-æ”i :gæ

yÆmú › % Òv^Ý6þw;þ>gæ\$tG\b”hŠtzìl zþ ç%w^ætSMo
'FZONBO ¼ ž-âÛw O>-Q” ,FMEZTI Ût”jy/\$-æ”i :wMO>;M
o Û=>ælh{Æmú„Z>ßob”tph“zŠZ€px·çÑ~i³µÂïÄy5 .BUSJY
ÛÂt,nX·^2%>æOq%òtÆmú › % %þwç t^æ`oM”hŠz \wqV
“æi 'FZONBO ¼ ž-âÛwÄltmMoÄ`X†ì`h{

H · ym.s Òv^ ³He-A ìtSZ”#þ

yH · p Û=`hMOt,nVz fwgæw ;«q`om.s”#. Ý6>Ý`z é.\$t
#þw;ûtmMo^æ>æslh{” ipx ð Ò«Äçw Ot“zxC\$t àQwÝMQ
U\aoM”hŠz !”¼”íâÝ”»wB,-lwx S< “Ö·h^ætSMoxz ŽæÓÔ
sUÁXo<zÝMQUq·”{\·t“z#þwüÄM²U ð Ò«Äçq æT(ÚTt’l
o; w\$MU\az #þw;ûqžtÛÄÖ«ÄçUæ±”’á\$ ›³X\qU84^·z AL
q`oÓÔsUÁXo<;¹ 'BSBEBZ ®LU\”a”DóQ>Ô`h{

H · yÆmú › % Òv^ ³He- ìtSZ”Nþ

yH · p Û=`hMOt,nMozÆmú › % #8 Ý6>Ý`Nþw;ûtmMo^æ>
æslh{þcsŠtzì”Ä¿«µw4Yò>#8 Ý6>Ý`o Û\$~h™zB,-lW
è¹< “Ö·h pé.\$t t :>~h{ 74\$tx;þw;ûtmMoz Æmú®LS’|
B,-lW®L>¶o%òtß€`h; w~Û>~oz ;þwu)wü^:’ QS’|9S’
Qw^æ>æslh{ALq`ozu)x\$Xü^:’ Q>Ô`zꝑžé’Éçꝑ)F Òv^i
tSZ”Ò;þu)wîgp ^·oM”’Otz 9Swÿ<qžtu)UoÐtn—b”ü^:
->U Ob”\q>Ô`h{

H ·y‡qŠqβo

yŠZ€pxz/PSUIXFTUFSO ñç"Ót'"æžé'£çπwNp;ûwîgALt«è`zÆ
 mú› %xv^)FS'j|Òv^)Fπ›;ûb";ptmMofwgæ\$°A›æslh{
 y‡czxv^itSZ"u)w°Ax -BOEBV #PMU[NBOO gæt,nVz·'1\$sqÔT',,
 Z›β€`oz Æmúw3•bs~j \$PMMJTJPO %SBH ®L› "Ö•"\qt'"Ò;pu)w9
 S' ±›'X6qb"AL›~h{
 yítz Òv^itSZ"Ò;pu)w°Ax,FMEZTI ÜtSZ"jy/\$-æ"i :wMO
 ›;MoæMzÆmút0`o5 .BUSJY ÛÂt,nMh2%›;M"\qpÆmú@Lw°A›
 ælh{\•t'"zæžé'£çπ)F #itSZ"u)w9S' Q› "\$t‡ìb"AL
 ›~h{
 y^oz xv^itSMoîgAL›6qb" Éx æ xz Òv^8 9SsT'_u‹'•"
 Éx æ qz,o: -^s‹qslh{ Éx æ w_u‹"xz fw wîgT'w_u
 ‹"tSMo‹z f•g•Uÿs"ALqsloS"z °•`h_rx~'•oS'cz ™w]J
 q`o‹U|UžApK" {‡hzÒv^Ý6tSZ"^ætSMoz\$PMMJTJPO %SBH ®L› "
 Ö•h^æxæsloS'cz ™w]Jq`oÒv^ipw \$PMMJTJPO %SBH ®L› "Ö•h
 Ü=›æsoŽAUK" {

€β Y

[1] J.V. Porto and J.M. Papia, Phys. Rev. Lett. **74** (1995) 4667
 [2] R. Nomura, G. Gervais, T.M. Haard, Y. Lee, N. Mulders and W. P. Halperin, Phys. Rev. Lett. **87** (2000) 4325
 [3] T. Ichikawa, M. Yamamoto, S. Higashitani and K. Nagai, J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 3483