

USC Idyllwild Workshop  
— 「超低温物理の新しい問題」に参加して —

京大・理学部 水崎隆雄  
大見哲巨

(1981年10月24日受理)

三年に一度開かれる低温物理の国際会議 (LT-16) が、今年の夏米国、ロスアンゼルスのカリフォルニア大学で開かれましたが、それを機会にいくつかの関連分野の小会議が計画されました。LT-16 に出席したあと、それらの会議の1つである、USCのBozlerさんなどの企画で開かれた「超低温物理の新しい問題」と題するworkshopに参加して来ました。workshopの会期は8月26日から30日までの5日間で、会場はロスアンゼルスから100マイル程東に入ったUSCのアイデルワイルド分校でした。LT-16は聞くところによると1,500人程も参加者があったそうですが、LTのような大会議を補足するという意味もあって、workshopは約100人程(その内日本人は15人程度)に参加者を制限し、プログラムや会議の進行も自由に、インフォーマルな討議を主にしたものでした。アイデルワイルドは海拔約2,000m、相当高い所に位置しているのですが、下界はなにしろ連日40°C近くも気温が上るカリフォルニア砂漠の真中で、昼間は結構暑く、会議は日中全部お休みでした。

LT-16終了後のこととて、別に特筆するような新しい話題は出ませんでした。比較的小人数の会議でしたので、色々な人と話しをする機会があり大変楽しいworkshopでした。会議の進行もがっちりしたプログラムがあったわけではなく、会議の少し前にみんなが集まって決める訳で、あとは座長が適当にやっていました。講演時間が、レビューをする人で10分程度、あとは3~5分程度の発表が続々と続くという具合であまりまとまった話しはありませんでした。

以下にプログラムを示します。所々順番や時間は変更されました。(カッコ内は座長)

USC Idyllwild Workshop

New Problems in Ultra-low Temperature Physics

Aug. 26

2:30 - 3:30 p.m.

Organization

MIZUSAKI, Takao

OHMI, Tetsuo

水崎隆雄・大見哲巨

4:00 – 6:00 p.m.  $^3\text{He}$  Temperature Scale (Nosanow)

8:00 – 9:30 p.m. Techniques (Soulen)

Aug. 27

9:00 – 10:30 a.m. Highly Polarized Systems (Rasmussen)

10:45 – 12 noon Kapitza Resistance and Surface Magnetism  
(Brewer)

7:30 – 9:00 p.m. Solid  $^3\text{He}$  (Osheroff)

Aug. 28

7:30 – 9:00 p.m. Liquid  $^3\text{He}$  #1 (Fetter)

Aug. 29

9:00 – 10:30 a.m. Liquid  $^3\text{He}$  #2 (Reppy)

10:45 – 12 noon Superconductivity (Falco)

5:00 – 6:00 p.m. Techniques (Aug. 26 の続き)

7:30 – 9:00 p.m. Quantum Wigner Crystals (Madhukar)

Aug. 30

9:00 – 10:30 a.m. Classical Wigner and Solid State (Dahm)

10:45 – 12 noon Nuclear Ordering (Lounasmaa)

次に各セッションごとの話しの内容の概略を紹介します。超低温物理でも、実験の方は、研究者が単独で研究を行うことは少なくなり、グループによる研究が多くなっています。講演者の名前のあとに出来るだけグループ名を入れ、どこの実験であるかわかるようにしました。また各セッション毎に、わかっている時は関連文献を付け補足しました。

### $^3\text{He}$ Temperature Scale

超低温ではまだ絶対温度の標準が確立されておらず、しばしば問題となっていた。Helsinki のグループが1~10 mk の超低温のノーマル相の液体  $^3\text{He}$  の比熱を測定した結果<sup>a)</sup>、従来最も信頼されていた La Jola のグループのデータ<sup>b)</sup>と異なり、 $m^*/m$  にして 30 %もの大きな相異が生じた。それらのことが動機となって、最近いくつかの超低温グループで超低温の温度スケールの相互比較と検討が行なわれている。LTでも大論争があり会議終了が1時間ものびたと聞いているが、今度の Workshop でもその続きがくり返された。

Wheatley<sup>b)</sup>(La Jola, Los Alamos), Saunders<sup>c)</sup>(Cornell), Manninen<sup>a)</sup>(Helsinki), Soulen<sup>d)</sup>(NBC), Varoquax (Orsay) や Hoyt<sup>e)</sup>(Ohio) 等が立って互の結果を報告した。

USC Idyllwild Workshop - 「超低温物理の新しい問題」に参加して - Cornell, Helsinki と NBS の間での温度スケールの一致は良いようであるが、この三つのグループは共同研究などで研究者が共通している場合が多いことが気になります。Ohio は La Jola の結果に近いようである<sup>e)</sup>。

問題点として、比熱の相異ははたして温度スケールだけの問題なのかという疑問も出された。例えば CMN の中につめ込まれた  $^3\text{He}$  の問題や、焼結銀がある場合の影響などである。又 Osheroff, Edward や Bozler は、Pt NMR 温度計によく用いられる IT 社製の NMR 装置の欠陥についてコメントした。

- a) Phys. Rev. Lett. 44, (1980) 1076.
- b) Rev. Mod. Phys. 47, (1975) 415.
- c) LT-16 P 1213.
- d) LT-16 P337, Phys. Rev. Lett. 47, (1981) 590.
- e) Phys. Rev. Lett. 47, (1981) 428.

### Techniques

#### (A) 核断熱消磁法における時間に依存した熱リークの原因

上記のテーマは LT でも Pobell (Jülich) が総合講演で議論していたが、核断熱消磁冷却で最も困っている問題である。Lounasmaa (Helsinki), Mueller (Jülich), Varoquaux (Orsay), Pickett (Lancaster), Bradler (Lancaster), Halperin (Northwestern), Soulen (NBS), Osheroff (Bell), Thoulouze (Grenoble) 等が短いコメントをした。大なり小なり全ての核断熱消磁冷凍機でこの問題が発生している。原因は冷却時の熱的ひずみが 1 週間程の時定数で時間依存する熱リークを出しているというのが大勢の意見であった。熱膨張率が異なるものを接触させた場合などに大きくなるように思われるが、純金属のみでも相当大きな熱的ひずみが生じるようであり、今後材料の研究を行なう必要があるようだ。

#### (B) 新しい冷却法

Hebral (Cornell, Grenoble) は混合固体  $^3\text{He}-^4\text{He}$  の相分離を利用した冷却法を提案した。超低温における混合固体の相分離の相図は文献<sup>a)</sup>に示されている。文献中で定義されている  $P^*$  より大きな圧力の下で混合固体を冷却してゆくと相分離が起り hcp の固体  $^4\text{He}$  と液体  $^3\text{He}$  が共存する。その状態より出発して固体の圧力をゆっくりと減圧してゆき  $P^*$  より小さくすると上記の二相に加えて数%  $^3\text{He}$  の液体  $^4\text{He}$  の相が出来はじめる。従って希釈冷却器と同じ原理で温度が下るとというのが Hebral のアイデアである。摩擦熱のロスなしに固体 He の圧力ぬけ

るかな？

a) Phys. Rev. Lett. 46, (1981) 42.

### Highly Polarized Systems

R. Cleine ( M. I. T. ) と F. Rasmussen ( Copenhagen ) がそれぞれ偏極 H と  $^3\text{He}$  のレビューを行った。Cleine の方は歴史的な話から始まって、まだボーズ、アイシュタイン凝縮までは行っていない現状の解説と密度をあげる時ネックになっている再結合の問題を論じたきちっとまとまったレビューだった。それに対して Rasmussen は Nozieres—Castaing 融解のレビューとその実験について述べたが「 $^3\text{He}\uparrow$ , Why, How, What, and Why Not」 という講演の題名が示すように少し構えた感じの話し方だった。

A. Leggett ( Sussex ) は  $D\downarrow$  系で  $s$ -波のペアーリングが起こるとしてその超流動状態への転移温度を評価してみせた。

### Kapitza Resistance and Surface Magnetism

Harrison ( Queen's Univ. ) は、焼結金属と液体  $^3\text{He}$  の間の超低温における  $R_k$  の異常の原因について議論した。超低温では、 $R_k \propto T^{-1}$  で、かつ大きさはあまり焼結金属の種類によらない。この辺の温度ではフォノンの波長や平均自由行程等は焼結金属の粒子サイズより十分に長くなるので、フォノンは焼結金属全体の弾性的な性質を見ることになり、それは元の金属よりも一般には非常にやわらかい。このことを反映して高温では見られなかったフォノンの新しいソフト・モードが低温で存在し、 $R_k$  の異常の原因となっていると指摘した。

Shigi<sup>a)</sup> ( Osaka City Univ. ) は CPS と液体  $^3\text{He}$  の  $R_k$  を主として  $T_c$  以下の温度で求め、磁気的な  $R_k$  との関連を議論した。Mills ( US, Irvine ) は Osaka City Univ. の実験に理論的コメントを行ない、磁気的な  $R_k$  を支持した。

Beal Monod ( Orsay ) は Surface Magnetism に対する理論的なレビューを行なった。

Richardson<sup>b)</sup> ( Cornell ) は直径 2000 Å のテフロンボールの  $F^{19}$  の NMR の  $T_1$  を測定した。 $T \simeq 1\text{K}$  では、スピンの表面への拡散時間は非常に短く、 $T_1$  はスピンの表面での緩和時間で決まる。表面緩和機構を調べる目的で、 $^3\text{He}$  ガスを加えてゆくと  $^3\text{He}$  はテフロン・ボールの表面に吸着されるので  $T_1$  は変化し、 $^3\text{He}$  のある量の所で  $T_1$  は最小値をとる。Landesman と Chapellier ( Saclay ) は Richardson の実験にコメントし、ボールの表面の静電気の影響などを問題にした。

USC Idyllwild Workshop - 「超低温物理の新しい問題」に参加して—  
 Bozler<sup>c)</sup> (USC) はグラフォイルをつめた液体  $^3\text{He}$  の表面磁性のNMRの結果を報告した。  
 転移温度よりも十分に低い温度まで  $\chi(T)$ , 周波数シフトの温度と磁場の角度依存性や  $T_2(T)$   
 などを測定し, 準2次元強磁性のオーダーを決論づけている。

- a) LT-16 P 921, 日本物理学会 1981年秋 2P-NF-1.
- b) LT-16 P 837.
- c) LT-16 P 835.

### Solid $^3\text{He}$

#### A. $T_1$ process

Adams<sup>a)</sup> (Florida) はポメラランチューク・セルを用いて低温, 高磁場中でパルス的に液体  
 $^3\text{He}$  を加圧して固体を作った時の固体の磁化の時間的変化を調べた。  $T < T_{A2}$  ではYu-Anderson  
 模型に従って磁化は急速に大きくなる。  $T > T_{A2}$  では, 磁化の変化は液体又は固体で観測され  
 るどの緩和時間より速く変化する。この原因として固体と液体の境界面での異常緩和機構が存  
 在することを指摘した。

Chapellier (Orsay) は分子容  $V_m$  の大きい固体  $^3\text{He}$  の  $T_1$  を温度の関数として測定し, 最  
 も  $V_m$  の大きな固体の Exchange-Vacancy 間の  $T_1$  が異常に短いことから, 融解点近くの  $V_m$  の  
 大きな固体の Vacancy に異常がある可能性を主張した。

Greenberg と Sullivan (Orsay) は  $V_m$  の大きな固体  $^3\text{He}$  の  $T_1$  を高磁場中で測定し従来の  
 Exchange Plateau と考えられている領域での  $T_1$  のNMRの周波数  $\omega$ , 温度依存性は  $\omega \ll J$   
 の場合  $T_1 T \approx 0.6 (\omega/J)^2$  であると報告した。理論的に, 多体交換相互作用が存在する時に  
 Ground State Vacancy (GSV) を計算し GSV の濃度は  $x_0 = 5 \times 10^{-13} J \approx 10^{-6}$ , GSV による  
 $T_1$  は  $T_1 T = 4 (\frac{\omega}{J})^2$  で与えられることを示し, 実験結果を説明した。

#### B. Susceptibility of Solid $^3\text{He}$ above $T_N$

Kirk (Texas A&M Univ.) による “High precision measurement of Solid  $^3\text{He}$   
 susceptibility” の測定方法に関する報告があった。

#### C. Nuclear Ordering in Solid $^3\text{He}$ : 実験

Shigi<sup>b)</sup> (Osaka City Univ.) はいくつかの  $V_m$  で固体  $^3\text{He}$  の磁化を測定し,  $T_N \propto V_m^{17}$ ,  
 $T_N$  での磁化のとびを  $\Delta M$  とすると  $\Delta M/M_{\max}$  は  $V_m$  によらず一定であることを報告した。

Mamiya<sup>c)</sup> (Nagoya) はいくつかの  $V_m$  で固体の圧力を測定した。  $T > T_N$  では  $P = P_0 + A/T + B/T^2$   
 で整理して  $A \propto V_m^{41}$ ,  $B \propto V_m^{62}$  又  $T_N \propto V_m^{18.8}$ ,  $T_N$  での圧力のとび  $\Delta P$  は  $\Delta P \propto V_m^{19}$

水崎隆雄・大見哲巨

$T < T_N$  では  $P \simeq P_0 - CT^4$  で温度変化はスピン波理論によく合う。圧力が熱平衡になる時間より固体  $^3\text{He}$  と焼結銀との間の  $R_k$  を求め報告した。

Richardson (Cornell) は Nagoya グループと同じ測定を行なっている。予備的な段階であるが、体積一定のもとでの固体の圧力変化を求められるように改良されている。

Rufin (Grenoble) は固体 He の中性子散乱の結果を報告した。焼結金属 (銅又は銀) の中に作られた固体 He の試料も、比較的簡単なアニールで全体が単結晶になるという信じられない結果を紹介した。単結晶固体  $^3\text{He}$  の中性子散乱のデータも  $T_N$  近くまでとれているので、核整列状態の中性子散乱実験まであと一歩である。

#### D. Nuclear Ordering in Solid $^3\text{He}$ : 理論

Masuda<sup>d)</sup> (Nagoya) による Spin Wave in Solid  $^3\text{He}$ , Kumar (Florida) による Nuclear Ordering Phase Transition, Delrieu (Saclay) による Origins of multiple exchange の話があった。

- a) LT-16 P 197.
- b) LT-16 P 201.
- c) LT-16 P 847.
- d) LT-16 P 853.

### Liquid $^3\text{He}$ # 1

#### A. Hydrodynamics

M. Liu が回転 He II から始まって回転  $^3\text{He}$ -A についての“ゲイジ、ホイール”の話が出てくる彼等の理論のレビューをした。

R. Combescot は  $A_1$  相での流体力学を簡単に紹介した。  $A_1$  相では磁場をかけると噴水効果があらわれ、したがって逆に圧力をかけて、  $^3\text{He}$  を偏極できるという話しが印象に残った。

H. Hall (Manchester Univ.) は C の字の形をした容器の壁面に  $^3\text{He}$ -A の薄膜を付け、それを回転させることにより Cooper ペアの持つ intrinsic な角運動量が観測できるかも知れないということについて述べた。

N. D. Mermin (Cornell) は「An A-phase puzzle for theorists」という話しをした。intrinsic な角運動量が cooper ペアの大きさとペアー間の距離の大小で  $N\hbar$  のオーダーに出るかもっと小さくなるかがきまるということを示した彼等の話しについて述べていたが、残

念ながら何がパズルなのかわからなかった。

### B. Texture

$^3\text{He-B}$ の臨界速度について M. Manninen ( Helsinki ) R. Packard<sup>a)</sup> ( Berkeley ) そして D. Brewer<sup>b)</sup> ( Sussex ) がそれぞれのグループの実験を紹介した。 まだはっきりしたことが言える段階にまで実験がっていないが、 $^3\text{He}$  は  $^4\text{He}$  に比較して非常に散逸的であるというのが一致した結論であった。

A. Leggett ( Sussex ) は十分低温の  $^3\text{He-A}$  でバリステックな準粒子が  $l$  ベクトルの織目構造の中でどのように運動するか論じ、そしてそれが熱流にどのように表われるかを述べた。

G. Ihas<sup>c)</sup> ( Florida ) は円筒の中に入れた  $^3\text{He-B}$  において軸方向に磁場がかかった時の  $n$  ベクトルの織目構造が温度とともにどのように変化するかを N.M.R. を用いて観測しその結果を報告した。

### C. Normal Fluid

D. Vollhardt<sup>d)</sup> ( Max-Planck ) は双極子相互作用を擾動として常流動  $^3\text{He}$  での  $T_1$  を計算しそれが動的構造因子を用いて表わされるという話しをした。

- a) LT-16 P 793.
- b) LT-16 P 1159.
- c) LT-16 P 289.
- d) LT-16 P 1055, Phys. Rev. Lett. 47, (1981) 190.

### Liquid $^3\text{He}$ #2

#### A. Sound

$^3\text{He-B}$  のエネルギー・ギャップの中にあられるクエシング・モード等のエネルギー準位が磁場によってどのように分裂するかという問題を W. Halperin ( Northwestern ) が実験家の立場から、L. Tewordt<sup>a)</sup> ( Hamburg ) が理論家の立場からレビューした。

T. Dombre と J. Sauls はそれぞれ  $J=2$  のモードと  $J=4$  のモードについてコメントをした。

M. Lee<sup>b)</sup> ( Cornell ) は光学的媒質の中で観測されている self-induced transparency という非線形効果が本質的な現象が、 $^3\text{He-B}$  においても超音波を用いて実現されることを報告した。それに対して実験および理論のコメントを E. Varoquax<sup>c)</sup> ( Orsay ) と J. Sauls<sup>d)</sup> ( Princeton ) が行った。

## B. Viscosity

Y. Ono<sup>e)</sup> ( Case Western ) が  $^3\text{He-B}$  の粘性係数について行われた、球粘度計、第1音波の減衰、振動針金そしてねじれ振動の実験結果を一つのビュー・グラフにまとめて、それを彼等の理論の結果と比較しながら報告した。

H. Hall は上の報告で振動針金の実験データが他のデータからずれているのは、針金の半径が準粒子の衝突距離より短いことによるという簡単なコメントを行った。

- a) LT-16 P 691.
- b) LT-16 P 687, Phys. Rev. Lett. 46, (1981) 1588.
- c) LT-16 P 689.
- d) Phys. Rev. Lett. 47, (1981) 530.
- e) LT-16 P 45.

## Superconductivity

C. M. Falco ( Argonne ) は超低温で興味深い超伝導の問題として、1) S波超伝導体で低い  $T_c$  を持つもの ( Au, Cu,  $\text{Pd}_x\text{As}_{1-x}$  ) 2) P波超伝導体 ( Pd,  $\text{ZrZn}_2$ ,  $\text{TiBe}_2$ , Rh ) 3) 有機物で準一元導体  $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$  など 4) 低濃度キャリアでエキシトン・メカニズムによる超伝導などを挙げた。

R. F. Hoyt<sup>a)</sup> ( Ohio ) は貴金属類の超伝導について述べ、特に Au の超伝導観測上の問題点を整理し、温度の問題、磁場シールド、過冷却の問題、試料の熱接触など具体的に挙げ、最後に試料の純度の問題が重要とした。

R. Soulen ( NBS ) は、 $\text{Pd}_x\text{Ag}_{1-x}$  の超伝導を探しているという報告をした。Gyorffy ( 1979 ) 以来いくつものグループで超低温で調べられている。パラマグノンによる Cooper ペアブレーキングの問題が興味あるところであるが彼がこの超伝導体を Frustrated Supercon とよんでいたのはどういう意味か？

L. J. Buchholtz はP波超伝導体観測手段としてタンネリングの実験を考えた。タンネリングの状態密度を計算し、S波との違いを示し、観測可能であるとした。

A. J. Leggett ( Sussex ) はA相P波超伝導のマイスナー電流による  $\mathbf{l}$  ベクトルのベンディングの計算を報告した。

R. Packard ( Berkeley ) は Bi の超伝導を探したが見つからなかったと報告した。

J. P. Harrison ( Queen's Univ ) は焼結金属の超伝導の問題を述べ、低温では、Kapitza

USC Idyllwild Workshop – 「超低温物理の新しい問題」に参加して – Res のセクションで彼が主張していたソフト・フォノン・モードと電子の結合が重要になり、これが超伝導にどのように効くか調べるのは興味あると指摘した。

a) Phys. Lett. **84A**, (1981) 145.

### Techniques ( 続き )

このセッションは超低温の実験技術上の特殊な問題ですので題目を挙げるにとどめておきます。内一部はポスターにて掲示。

D. Edwards : Uniform Solenoid

C. Van Degrift : *P* Standards

R. Rosenbaum : Multiple Mixing chamber

G. Ihas : NQR thermometry

H. Ishimoto : Nuclear Orientation Thermometry

G. Eska : Nuclear Orientation Thermometry

E. D. Adams : High field Thermometry

W. J. Gully : Experiment on the osmotic pressure of  $^3\text{He}$  in  $^4\text{He}$

### Solid State # 1

A. Madhukar ( U. S. C. ) は超低温で興味ある 2次元電子系の例として MOS と AIAs | GaAs | AIAs について簡単な紹介をした。

D. C. Tsui ( Bell ) は、 2次元電子系の低温での輸送現象特に磁場がかかった時の電気伝導度について、磁場が弱い時 ( $\omega_c \tau \ll 1$ )、磁場が強い時、その中間と三つの場合に分けて報告した。

H. Fukuyama ( Tokyo Univ ) は  $^4\text{He}$  上の 2次元電子系にあらわれる秩序相, Wigner 固体, 反強磁性相そして短距離秩序相について述べた。

A. J. Leggett ( Sussex ) は巨視的な量が量子力学的に遷移する現象に興味を持ち、十分低温の SQUID において磁束が量子力学的にトンネリングする現象を論じた。

### Solid State # 2

A. J. Dahm ( Case Western ) は  $^4\text{He}$  上の 2次元電子 Wigner 固体の融解について報告した。融解が起こる時の運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの比,  $\Gamma$  について実験結果と

水崎隆雄・大見哲巨

モレキュラー，ダイナミックス，モンテカルロの計算，そして Kosterlitz-Thouless 理論の結果との比較しながら話しをした。

Gould ( USC ) は Spaghetti ( 物質はなにか知りません ) の抵抗を 100 K ~ 1 mK 以下まで測定し 10 mK 以下での抵抗の増加を Anderson Localization と結びつけた。又 1 次元有機伝導体である quinolinium ( TCNQ )<sub>2</sub> の ESR を 20 mK 以下で測定した。中性子照射した時の  $\chi$ ，周波数シフトや共鳴線巾の変化などから random exchange Heisenberg Antiferromag. Chain のモデルが 1 mK 以上で良く成り立ち，それ以下ではそれからずれることを報告した。

Graebner ( Bell ) はガラスの超低温での余分な比熱や熱伝導度又誘電率の  $\log T$  的な変化の原因として，ガラスに含まれる不純物の 2 レベル・トンネリング機構によって説明し，フォノン・エコーの実験を報告した。

Thoulouze ( Grenoble ) は種々のガラスの  $\epsilon$  の測定について報告した。

### Nuclear Ordering

O. V. Lounasmaa<sup>a)</sup>: Experimental Evidence for Nuclear Antiferromagnetism in Copper

P. Kumar<sup>b)</sup>: Review of theoretical work on Nuclear Ordering in Copper

J. K. Soini<sup>c)</sup>: Experimental Comparison of longitudinal and transverse susceptibility in Copper

以上は Helsinki で精力的に研究されている銅のオーダーの実験的・理論的報告。

M. Kubota<sup>d)</sup>: ( Jülich ): Nuclear Ordering in Pr Ni<sub>5</sub> LT での報告にコメントして， $\chi(\omega)$  の測定より緩和時間を議論した。

M. Chapellier : Nuclear Ordering in Insulators

D. Roubeau : Experimental Set-up for investigating Nuclear Ordering in Li H by Neutron diffraction

上記の 2 つはよく知られた Saclay の Abragam グループが行っている Dynamic Polarization の方法と回転系での断熱消磁を組み合わせた独特な方法による核整列の実験の話で，新しい結果はない。

T. Ohtsuka<sup>e)</sup> ( Tohoku ): Hyperfine enhanced Nuclear Ordering in insulators

東北大で行なっている上記の系統の一連の磁性物質の実験結果の報告で，学会でもよく発表されておりますのでみなさまよく御存知と思います。

N. Sullivan<sup>f)</sup> ( Saclay ) : Nuclear-Dipolar spin glass

- a) J. Low Temp. phys. **39**, ( 1980 ) 417.
- b) P. R. L. **44**, ( 1980 ) 493, P.R. **B23**, ( 1981 ) 2051.
- c) LT-16, P 1095.
- d) LT-16, P 1093.
- e) LT-16, P 563.
- f) LT-16, P 189.