

К 90-летию

Моисея Исааковича

Каганова

В.В.Ульянов

Приложение к книге

А.М.Ермолаева и В.В.Ульянова

«М.И.КАГАНОВ В ХГУ»

**Фотографии и  
документы из  
разных источников**

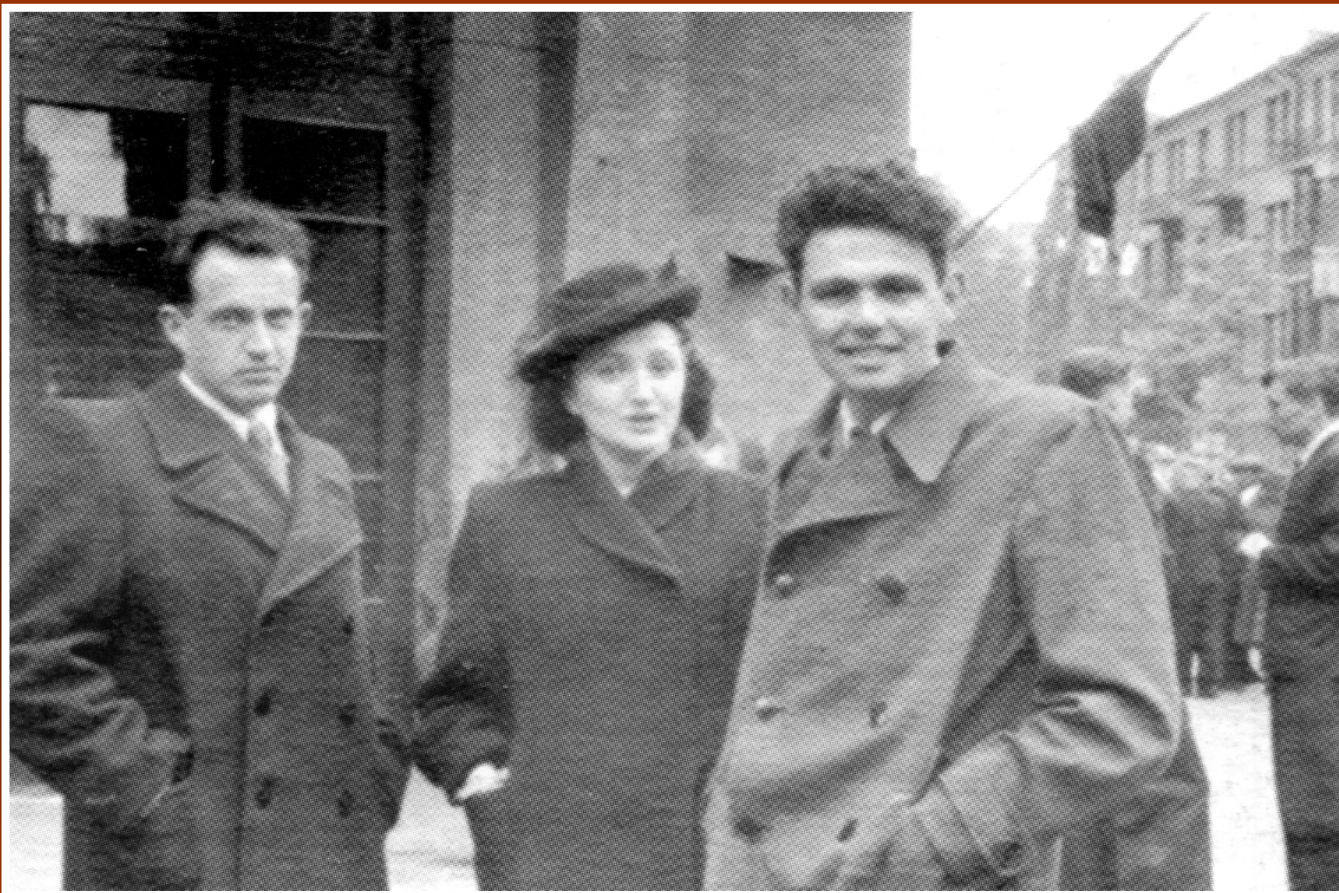


М.Каганов с родителями Исааком Яковлевичем  
и Диной Давидовной и сестрой Зоей. Туапсе. 1940 г.





М.Каганов среди сокурсников (В.Шестопапов, В.Цукерник, А.Терещенко, А.Ситенко, Г.Таранова и др.) и преподавателей (Л.М.Пятигорский, А.И.Ахиезер и И.М.Лифшиц).  
Физмат ХГУ, 1948 год.



Теоротдел УФТИ начала 50-х, руководимый И.М.Лифшицем.

Слева направо: Л.Розенцвейг, П.Найман, М.Каганов.





Заседание теорсеминара Ландау в  
Институте физических проблем  
(середина 50-х).





*Ю. Каган, Л. Д. Ландау, М. И. Каганов, И. М. Лифшиц  
на конференции по физике низких температур.  
Киев, 1955 г.*





*В. Г. Песчанский, М. И. Каганов, Я. А. Смородинский, Л. Д. Ландау  
в кулуарах конференции по физике низких температур.  
Киев, 1955 г.*





Фотография  
из альбома  
выпускников  
физмата ХГУ  
1955 года





В выпускном альбоме физмата ХГУ 1957 года В.В.Ульянова поместили рядом с любимым педагогом Моисеем Исааковичем

"Свободные" электроны имеют волн-функцию с  $\vec{r}$ .  
 Электрон находится в период, но неоднородно и поле  
 разнотон. Волн-ф. в таком поле не однородна.

У э-на все сохр. некат. волн-функция.  
 Волна существует, но э-н имеет волн-ф. с  
 энергией  $E$  в соответствии с волн-функцией  $\vec{r}$   
 $E = E(\vec{r})$  (вс. в рамках от гравитации)  
 для свободного э-на было бы  $E = \frac{p^2}{2m}$ .

Считаем, что э-ны проводят и кин. энергию  
 $E$  (энергия свободного э-на), волн-функцию  $\vec{r}$  и  
 энергию  $E = E(\vec{r})$ . Считаем  $\frac{1}{2}$ . Да подмешивает.  
 Формулы.

Делим э-ны формулой на квант, разбег  $E$  (излучает  
 газ).

$$E = E_{\min} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{m} \right)_{ik} p_i p_k \quad (\text{из условия минимума})$$

Теперь <sup>свободных</sup> энергетических масс  $\left( \frac{1}{m} \right)_{ik}$ .

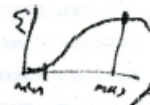
В приближении расчета  $\left( \frac{1}{m} \right)_{ik} = \frac{\delta_{ik}}{m^*}$  (усреднен по массе).

$$E = E_{\min} + \frac{p^2}{2m^*}$$

$m^*$  - энергетическая масса  $> 0$ , ибо  
 разнотон и разнотон минимума.

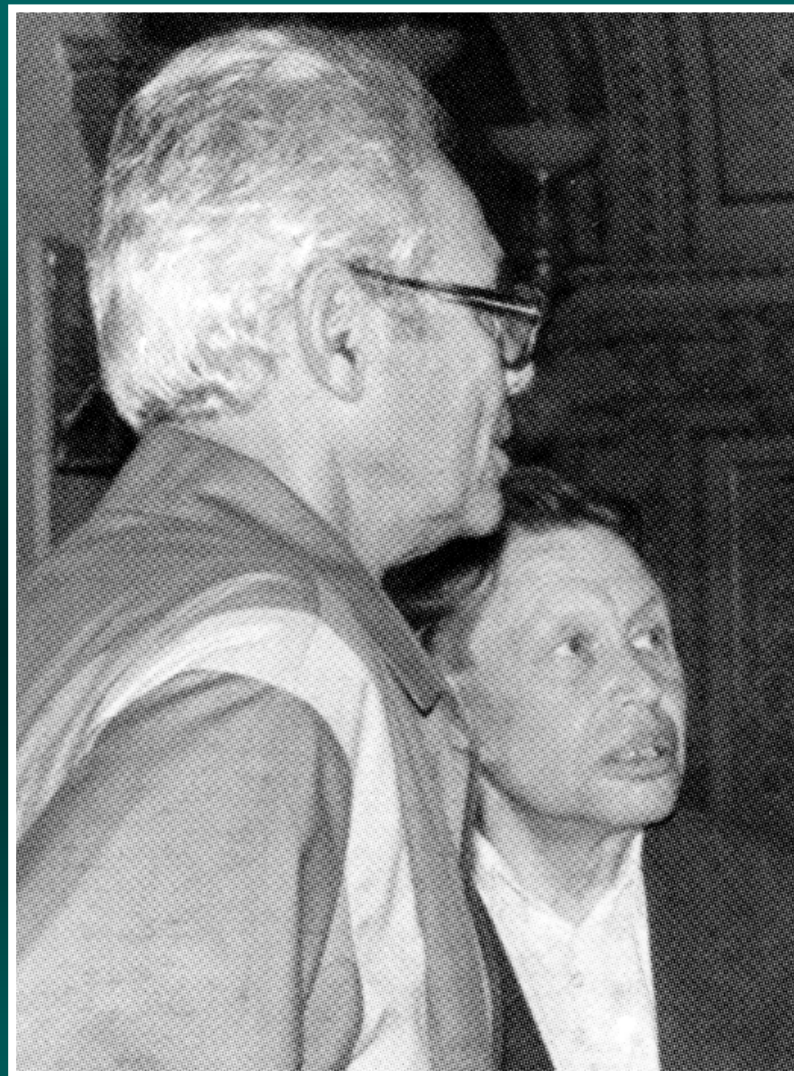
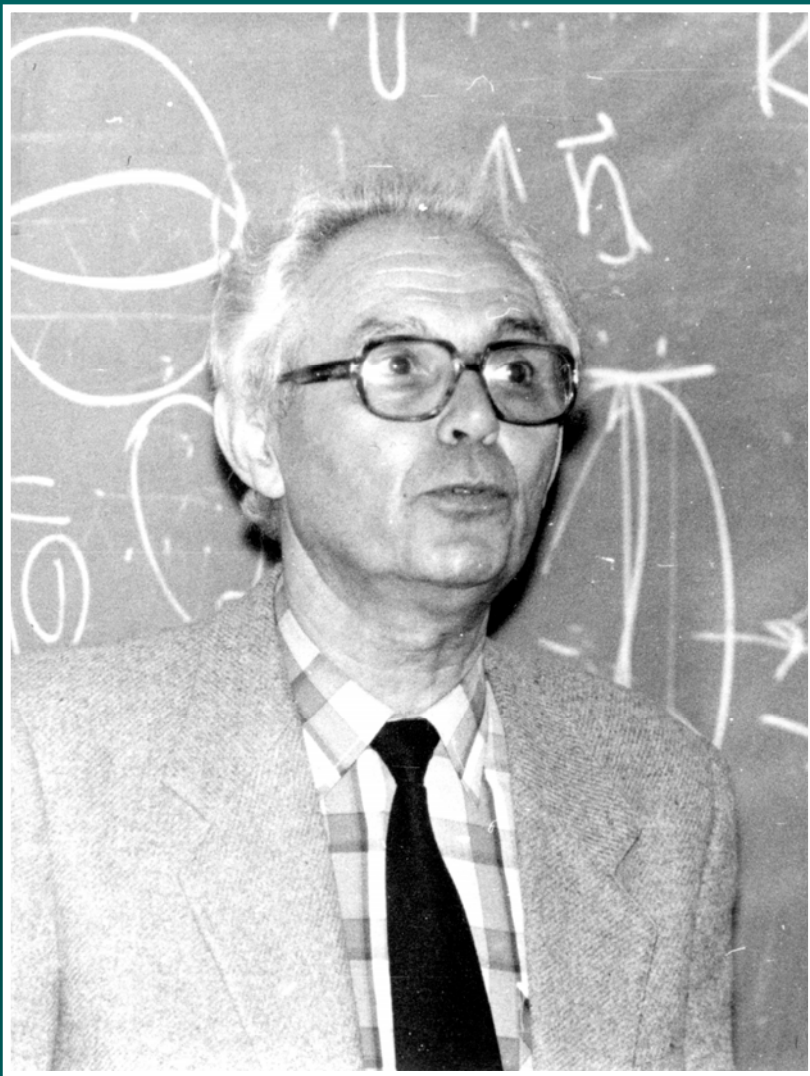
Выводим в разнотон минимума:

$$E = E_{\min} - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{m} \right)_{ik} p_i p_k$$



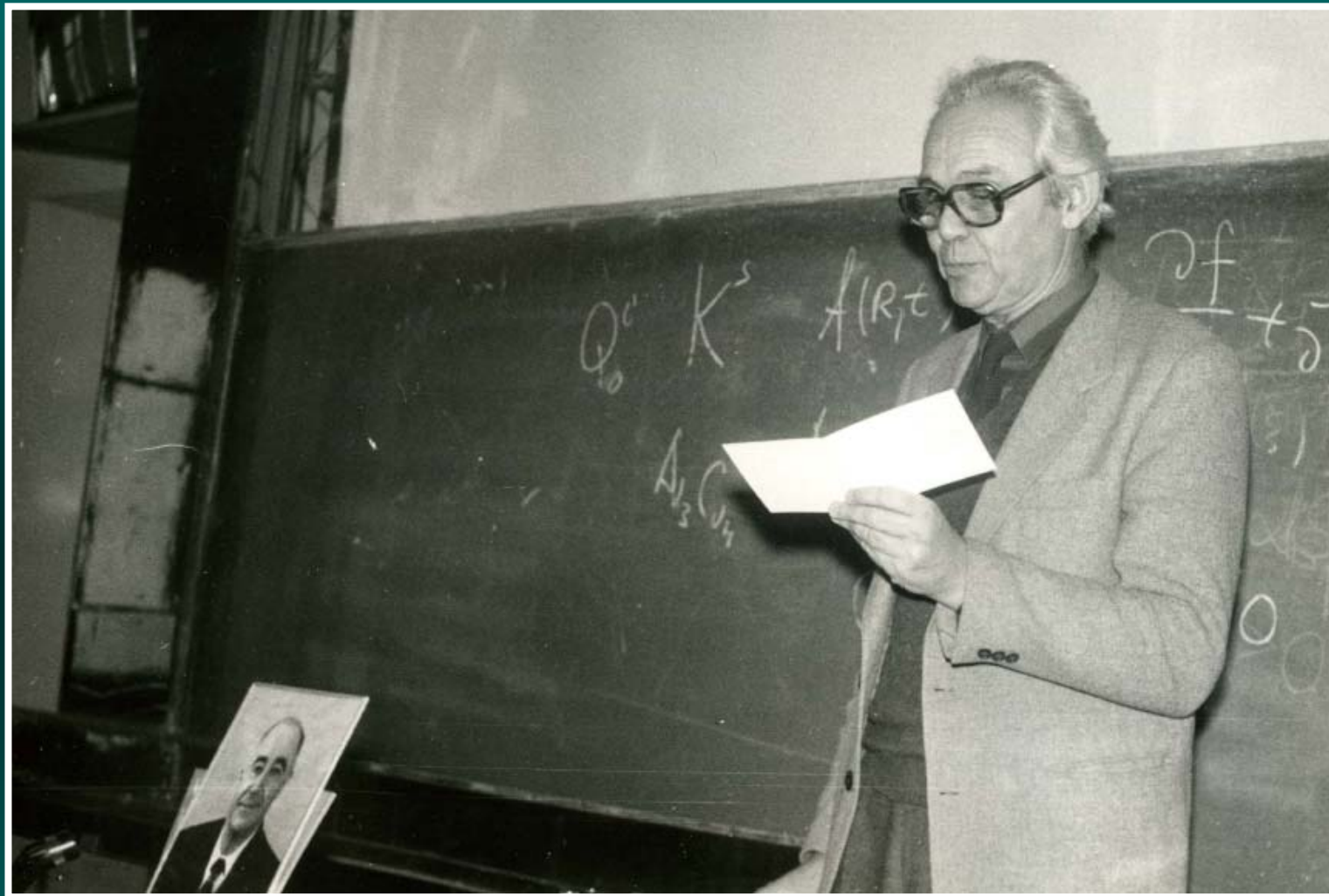
$p_i$  и  $p_k$  - откл. от разнотона

Из конспекта В.В.Ульянова, слушавшего в  
 1956 году лекции по квантовой теории  
 металлов, которые читал Моисей Исаакович

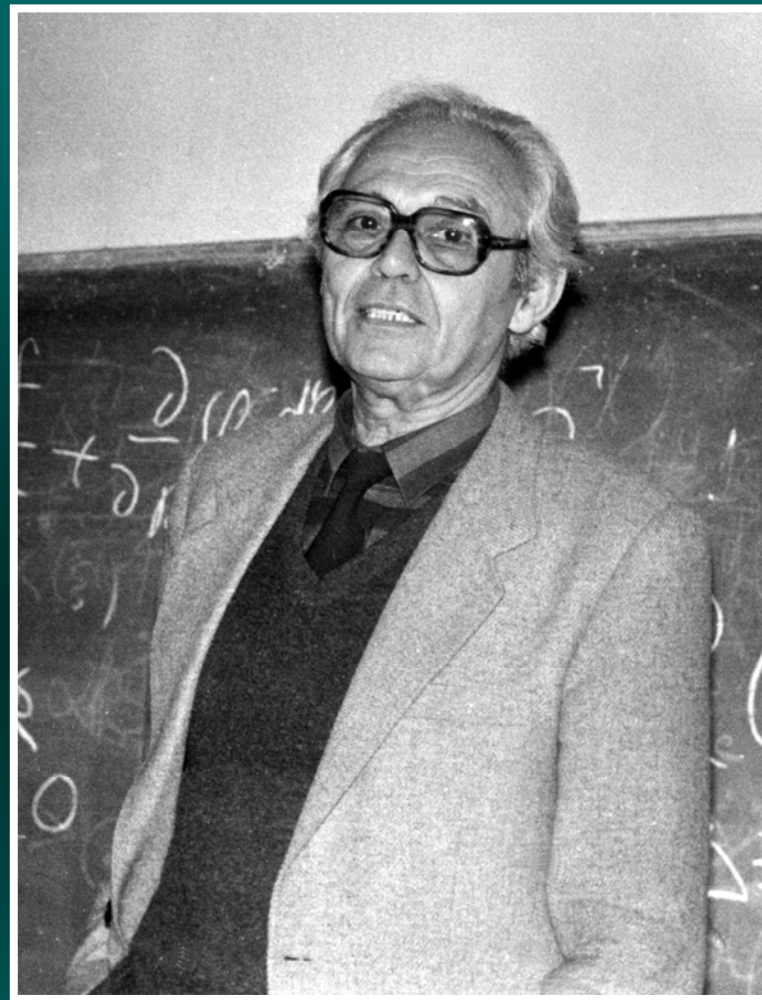


М.И. 5 апреля 1985 г. М.И.Каганов и В.М.Цукерник



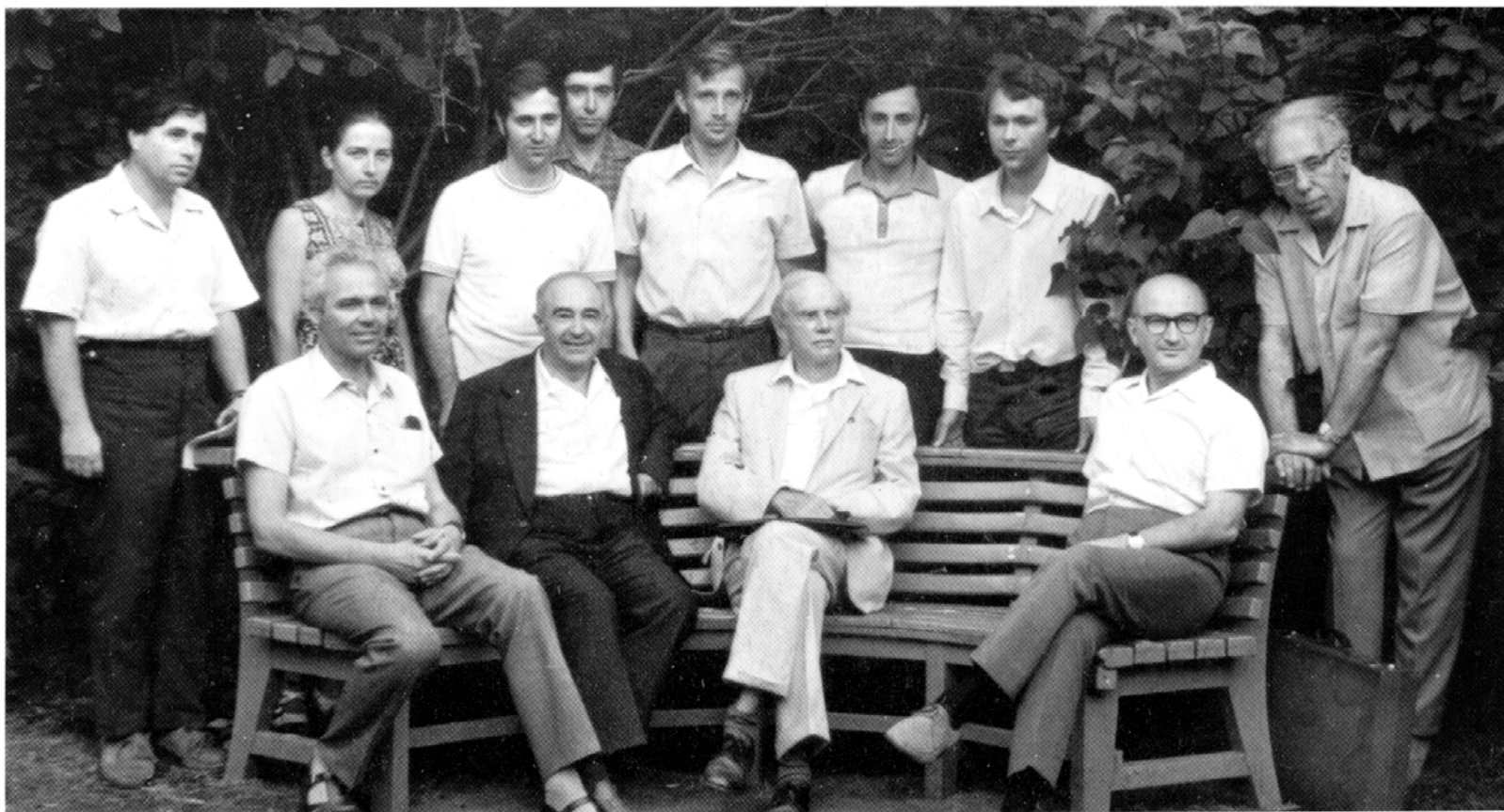


13 января 1987 года. Физфак ХГУ.  
Семинар памяти И.М.Лифшица.



Л.В.Танатаров, А.А.Слуцкий и  
М.И.Каганов                      Январь 1987 года





П.А.М.Дирак у теоретиков Института физических проблем (1973). Рядом с Дираком (в центре) сидят: слева — М.И.Каганов и руководитель теоретического отдела И.М.Лифшиц, справа — Е.М.Лифшиц. Стоят (слева направо): Л.Питаевский, Т.Сахарова, Б.Меерович, А.Меерович, А.Андреев, М.Либерман, Д.Компанеев, писатель Д.С.Данин.



# МУСИК



Моисей Каганов - доктор физико-математических наук, профессор, doctor honoris causa Вроцлавского технологического университета. Родился 4 августа 1921 года в Украине. Участник Отечествен-

ной войны. В 1949 году окончил Харьковский государственный университет. С 1949 г. по 1970 г. работал в Украинском физико-технологическом институте АН УССР (Харьков), с 1970 г. и до выхода на пенсию

в 1994 г. - в Институте физических проблем (Москва). Преподавал в харьковском и московском университетах. В настоящее время живет в США. Так аннотирована книга М.И. Каганова «Школа Ландау», только что вышедшая в подмосковном издательстве «Тривант».

Он - мой очень давний и очень близкий друг, я зову его Мусик, как испокон принято всеми друзьями и родственниками Моисея Исааковича. В свое время стараниями Мусика (в ответ на изгнание меня из военной академии) я был принят в аспирантуру УФТИ, учеба в которой завершилась нашей совместной книгой «Поверхности Ферми», изданной союзным «Знанием» и переведенной на несколько иностранных языков за рубежом. Не могу этим не похвастаться.

«Школа Ландау» - книга блистательная. Впрочем, Мусик всегда и во всем - блистательный человек. Его по-бабьи любят женщины и по-мужичьи уважают мужчины. В этом он выше себя во всех своих ипостасях. А как ученого его ценил Лев Ландау, и тут добавлять нечего.

За бугор Мусик перебрался в старости, в конкретном смысле ничего экстраординарного не произошло, в общем - требует осмысления, а не оценок. В Харькове он не забыт просто потому, что такие люди не забываются. Даже воспоминания о беседах и пикниках с ним составляют счастливую радость, которая много больше сопутствующей ей грусти.

Дай ему, Господи, всего, что он хочет.

Арк. ФИЛАТОВ ●

Статья  
Аркадия  
Филатова  
в газете  
«Вечерний  
Харьков»



Моисей Исаакович среди участников 1-й конференции  
«Теория конденсированного состояния» 24 мая 1994 г.  
Харьков, ХГУ, аудитория имени К.Д.Синельникова.





США

Бельмонт  
Осень 1994 г.

Дорогой Володя!

Велмонт  
31.12.95  
18<sup>00</sup>

Естественно,

С НОВЫМ ГОДОМ!

Но, кроме того, мне хочется чтобы Вы подклин  
ились" к подготовке 80-летия Папы Михайловича.

~~Мне~~ Буду рад получить от Вас письмо!

Целение Вам  
Мужик.

Фрагменты первого письма Ульянову  
от Моисея Исааковича из Штатов.  
31 декабря 1995 года.

Дорогие  
Виктор, Саша, сотрудники  
родной кафедры!

*With the old wish  
that is ever new -  
Merry Christmas*

*and a  
Happy New Year, too!*

Belmont  
24 дек. 97г.

Всегда Ваш  
М. Качанов

Из новогодней открытки  
24 декабря 1997 года.



Моисей Исаакович – doctor honoris causa.  
Вроцлав. 8-10 октября 1998 года.



# Публикации

в Харьковском университете

о М.И.Каганове

К 200-летию Харьковского университета  
Серия воспоминаний об ученых-физиках

Выпуск 2-й

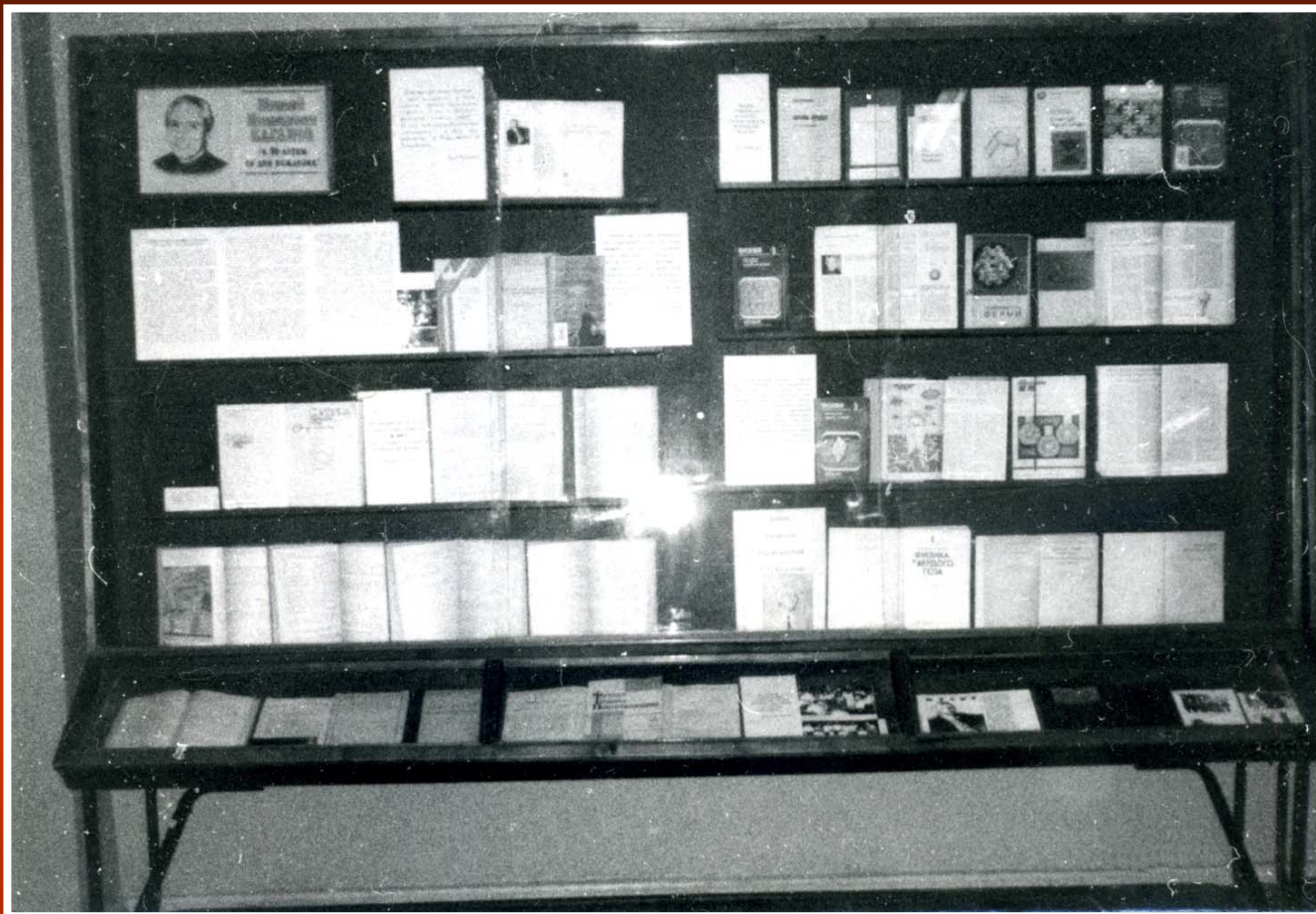
А.М.Ермолаев и В.В.Ульянов

МОИСЕЙ ИСААКОВИЧ КАГАНОВ

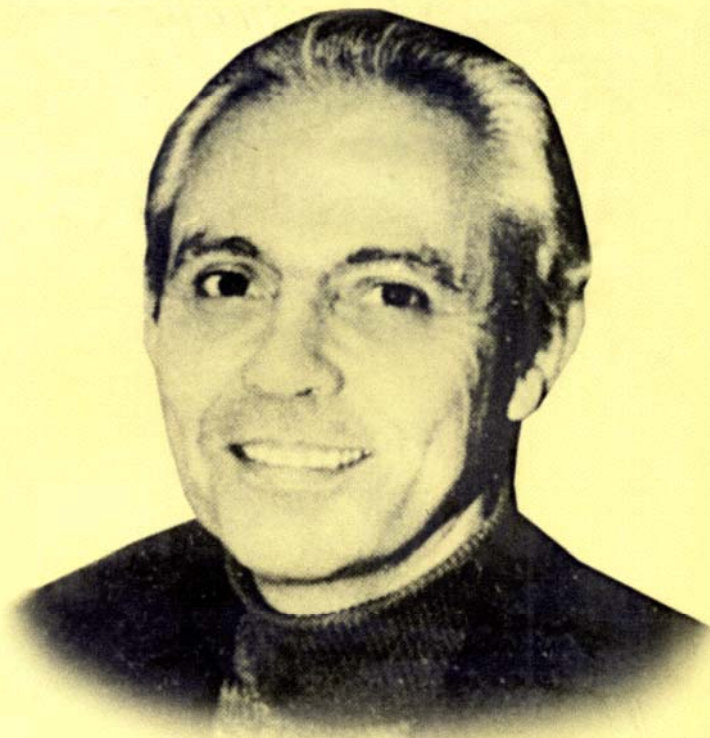
Харьков 2001

# Обложка первого издания книжки о М.И.Каганове

## 2001 год



Стенд к 80-летию М.И.Каганова.  
Физфак Харьковского национального университета  
имени В.Н.Каразина, 2001 год.



---

**Моисей  
Исаакавич  
КАГАНОВ**

**/к 80-летию  
со дня рождения/**

---

Фрагменты стенда к 80-летию М.И.Каганова.





Фрагменты стенда к 80-летию М.И.Каганова.

К 200-летию Харьковского университета и  
60-летию кафедры теоретической физики

А. М. Ермолаев, В. В. Ульянов

## К ИСТОРИИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА И КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ



ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Харьков – 2004

## МОИСЕЙ ИСААКОВИЧ КАГАНОВ (К 80-летию со дня рождения)

4 июня 2001 года исполнилось 80 лет со дня рождения выдающегося физика-теоретика профессора Каганова Моисея Исааковича. Он родился в Харькове в семье известного филолога Каганова Исаака Яковлевича, который много лет работал в Харьковском университете.

В 1939 году Моисей Исаакович поступил на физико-математический факультет Харьковского университета, но в том же году был призван в армию. Служил на Черноморском флоте, участвовал в Великой Отечественной войне. Награжден орденами “Красная Звезда” и “Отечественной войны” и медалями. В 1946 году демобилизовался и вернулся в университет, который окончил в 1949 году.

С 1949 по 1970 год Моисей Исаакович работал в теоретическом отделе УФИ (сейчас – ННЦ ХФТИ) под руководством академика Лифшица И.М.

С 1952 по 1970 год преподавал на кафедре статистической физики и термодинамики (с 1979 г. – кафедра теоретической физики) Харьковского университета. Много лет он читал студентам курсы “Квантовая теория металлов”, “Атомная и ядерная физика”. В 1970 году по предложению И.М.Лифшица и П.Л.Капицы он переезжает в Москву и занимает должность старшего научного сотрудника теоретического отдела Института физических проблем АН СССР, руководителем которого после смерти Л.Д.Ландау стал И.М.Лифшиц. Параллельно Моисей Исаакович работал профессором МГУ.

Основное направление научной деятельности Моисея Исааковича – квантовая теория твердого тела, в частности теория металлов и теория низкотемпературного магнетизма. Вместе с И.М.Лифшицем и его учениками Моисей Исаакович выполнил ряд классических работ по электронной теории металлов. В этих работах заложены основы современной теории металлов, в теории твердого тела создана идеология, которую сейчас называют “фермиологией”. Результаты этих исследований подытожены в монографии И.М.Лифшица, М.Я.Азбеля, М.И.Каганова “Электронная теория металлов”, которая на протяжении многих лет является настольной книгой физиков-твердотельщиков. М.И.Каганов – блестящий популяризатор физики. Он автор нескольких научно-популярных книг, множества популярных статей в журнале “Природа”. Моисей Исаакович воспитал несколько поколений учеников. За заслуги в научной и педагогической деятельности Вроцлавский технологический



Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет  
імені В.Н.Каразіна

До 200-річчя Харківського університету

**О.М.Єрмолаєв, В.В.Ульянов**

## **СТИСЛИЙ НАРИС ІСТОРІЇ КАФЕДРИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ІМЕНІ АКАДЕМІКА І.М.ЛІФШИЦЯ**



Харків 2005

### **МОЙСЕЙ ІСААКОВИЧ КАГАНОВ**

Не часто так трапляється, щоб у людини було два дні народження. З видатним фізиком-теоретиком професором Кагановим Мойсеєм Ісааковичем це сталося. Він народився 4 червня 1921 року в Харкові. Проте батьки, як він сам пише в своїй книзі "Школа Ландау: что я о ней думаю", забули вчасно його зареєструвати. Реєстрація відбулася лише два місяці згодом у м. Лубни Полтавської області.

У 1939 році Мойсей Ісаакович вступив до фізико-математичного факультету Харківського університету, але в тому ж році був призваний до армії. Служив на Чорноморському флоті, брав участь у Великій Вітчизняній війні. Нагороджений орденами "Червона Зірка" та "Вітчизняної війни" і медалями. В 1946 році він демобілізувався й повернувся в університет, який закінчив у 1949 році.

З 1949 по 1970 рік Мойсей Ісаакович працював у теоретичному відділі УФТІ (зараз – ННЦ ХФТІ) під керівництвом академіка Ліфшиця І.М. У 1970 році за пропозицією І.М.Ліфшиця й П.Л.Капиці він переїжджає до Москви і займає посаду старшого наукового співробітника теоретичного відділу ІФП АН СРСР, керівником якого після смерті Л.Д.Ландау став І.М.Ліфшиць. Паралельно Мойсей Ісаакович працював професором МДУ, проте він не втратив зв'язків з харківськими фізиками, з Харківським університетом. Кожного разу, відвідуючи Харків, він виступав з лекціями в університеті.

Основний напрямок наукової діяльності Мойсея Ісааковича – квантова теорія твердого тіла, зокрема теорія металів і теорія низькотемпературного магнетизму. У книзі М.І.Каганова і В.Я.Френкеля "Вехи истории физики твердого тела" міститься "Таблица основных событий в физике твердого тела". З неї випливає, що в 1956-1960 роках у Харкові І.М.Ліфшицем, М.Я.Азбелем, М.І.Кагановим, В.Г.Піщанським була виконана серія класичних робіт, в яких теоретично встановлено зв'язок компонент тензора електроопору металів у магнітному полі зі структурою електронного енергетичного спектра металів. У цих роботах М.І.Каганова та інших харківських фізиків закладені основи сучасної теорії металів, у теорії твердого тіла створена ідеологія, яку зараз називають "ферміологією".

Мойсей Ісаакович опублікував понад 200 робіт у престижних вітчизняних і зарубіжних журналах. Він є співавтором монографії "Электронная теория металлов", яка написана разом із І.М.Ліфшицем і М.Я.Азбелем. Ось вже декілька десятиліть вона є настільною книгою фізиків-твердотільників. Величезну роль відіграють статті й огляди

*К 200-летию Харьковского университета  
Серия воспоминаний об ученых-физиках*

*Выпуск 19-й*

**В.В.Ульянов**

# **ВОСПОМИНАНИЯ ФИЗИКА-ТЕОРЕТИКА**

Часть первая



Харьков 2008



*К 200-летию Харьковского университета  
Серия воспоминаний об ученых-физиках*

*Выпуск 18-й*

**А.М.Ермолаев**

# **МОИ УНИВЕРСИТЕТСКИЕ УЧИТЕЛЯ**

Часть четвертая



Харьков 2008





К 200-летию Харьковского университета

# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ  
ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



ХАРЬКОВ 2009

## Моисей Исаакович Каганов

Даты жизни и особенности личности,  
связь с кафедрой теорфизики и  
физическим факультетом, научная и  
педагогическая деятельность, главные  
труды

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолаев А.М., Ульянов В.В. Моисей Исаакович Каганов. – Харьков: ХНУ имени В.Н.Каразина, 2001. – 36 с.
2. Ермолаев А.М. Мои университетские учителя. Ч. 4. – Х.: ХНУ имени В.Н.Каразина, 2008. – 64 с.
3. Ульянов В.В. Воспоминания физика-теоретика. Ч.1. – Харьков: ХНУ им. В.Н.Каразина, 2008. – 120 с. (+DVD)
4. Ермолаев А.М., Ульянов В.В. К истории физического факультета и кафедры теоретической физики. Ч. 3. – Х.: ХНУ имени В.Н.Каразина, 2004. – 80 с.
5. Ермолаев О.М., Ульянов В.В. Стислий нарис історії кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця. – Х.:ХНУ ім. В.Н.Каразіна, 2008. – 64 с.
6. Каганов М.И. Эпизоды из жизни физика-теоретика. – Х.: ХНУ имени В.Н.Каразина, 2003. – 78 с.
7. Каганов М.И. Школа Ландау: что я о ней думаю. – Троицк: Тривант, 1998. – 368 с.

Некоторые издания

М.И.Каганова

И.М.ЛИФШИЦ  
М.Я.АЗБЕЛЬ  
М.И.КАГАНОВ



изоэнергетической поверхности содержится в другой; часть внешней поверхности вырезана.

Открытые поверхности могут быть самыми разнообразными — односвязными и многосвязными. Некоторые примеры открытых поверхностей изображены на рис. 2 и 4.

Топология изоэнергетических поверхностей, точнее, характер кривых, образующихся сечением этих поверхностей плоскостью,

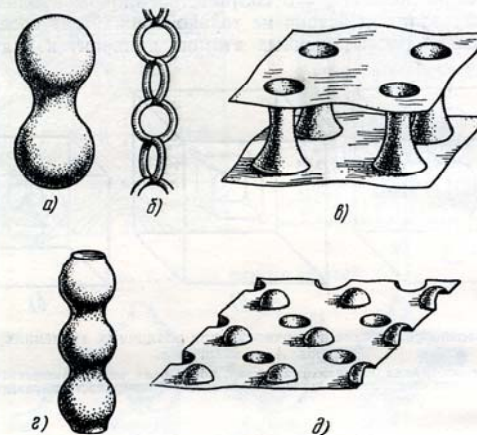


Рис. 4. Различные типы изоэнергетических поверхностей.

определяет, как будет показано, динамику электрона в магнитном поле. Поэтому изоэнергетические поверхности удобно классифицировать не только по тому принципу, замкнуты они или открыты, но и по характеру плоских кривых на них.

Итак:

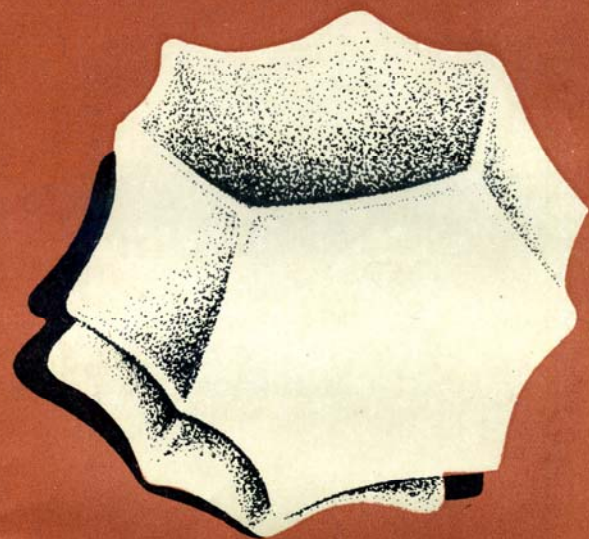
**1. Замкнутые непересекающиеся поверхности.**

а) Замкнутые поверхности, не содержащие плоских самопересекающихся кривых. Простым примером подобной поверхности является сфера.

б) Замкнутые поверхности, содержащие плоские самопересекающиеся кривые (см. рис. 4, а).

**2. Замкнутые самопересекающиеся поверхности.** (Забегая вперед, отметим, что в общем случае самопересечение возможно только в точке.)



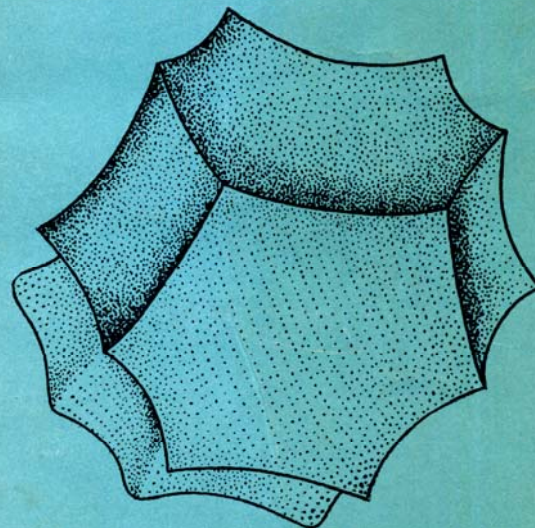


М.И.КАГАНОВ  
И.М.ЛИФШИЦ

# КВАЗИЧАСТИЦЫ

М. И. Каганов  
И. М. Лифшиц

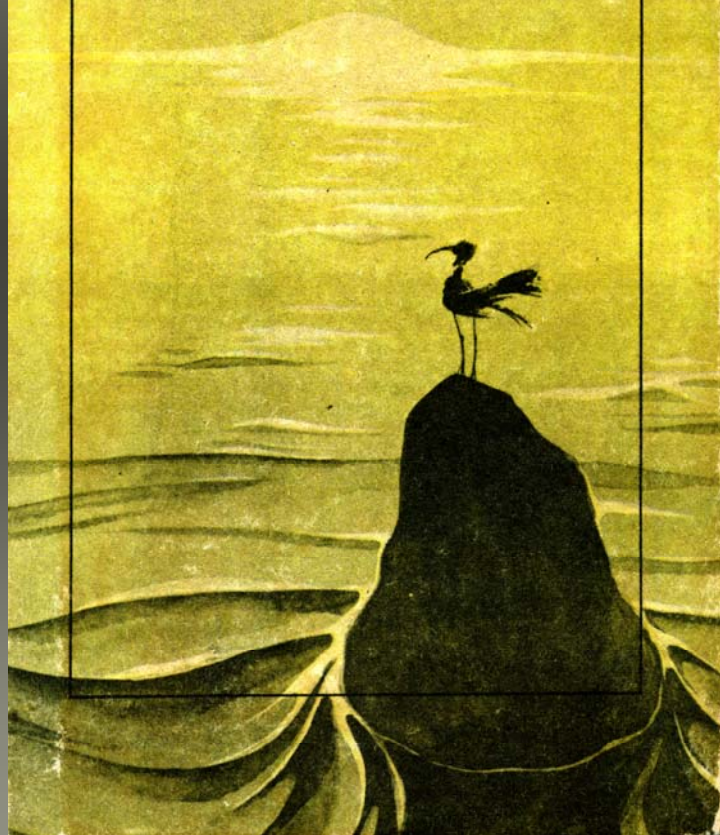
# Квази- частицы





М.И. Каганов

# ЭЛЕКТРОНЫ ФОНОНЫ МАГНОНЫ



НАУКУ —  
ВСЕМ!

М. И. Каганов

МОСКВА

# ЭЛЕКТРОНЫ • ФОНОНЫ • МАГНОНЫ

ШЕДЕВРЫ  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ





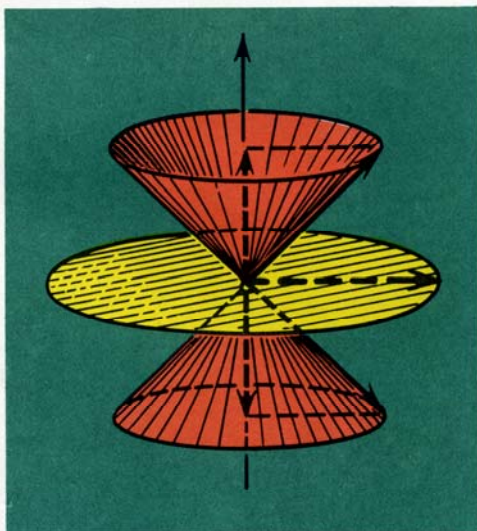


БИБЛИОТЕЧКА • КВАНТ •

выпуск 16

М. И. КАГАНОВ  
В. М. ЦУКЕРНИК

# ПРИРОДА МАГНЕТИЗМА





2. Лифшиц	34 д	23. Веденко	55
3. Ахиезер	35 (к)	24. Максимов	55
4. Померанский	35	25. Писаковский	55
5. Мисса	35	26. Садовский	55
6. Левин	37 эк	27. Беккерлинг	55
7. Берестовский	39 д	28. Ильясов	56
8. Спиродинский	39	29. Долгов	57
9. Халатников	41 д	30. Шаповал	58
10. Хуцзинский	41	31. Фальковский	59
11. Тер-Мартirosian	47 д	32. Аносов	59
12. Абрикосов	47 д	33. Конраденко	59
13. Цорфе	49 д	34. Русин	59
14. Харков	50 к	35. Марин	60
15. Липидус	50 к	36. Берков	60
16. Судачков	51 к	37. Мелик-Беркудский	60
17. Каган	51 к.	38. Мокеев	61
18. Черный	52 к.	39. Чинатов	61
19. Горшков	53 д	40. Будко	61
20. Деминский	53 к	41. Манко	61
21. Арапов	54 к	42. Малкин	61

М. И. КАГАНОВ

ШКОЛА ЛАНДАУ

ЧТО Я О НЕЙ ДУМАЮ



М. И. КАГАНОВ,  
В. В. РЖЕВСКИЙ

Введение  
в квантовую  
теорию  
твёрдого  
тела

Издательство Московского университета • 1987



# ЭПИЗОДЫ ИЗ ЖИЗНИ ФИЗИКА-ТЕОРЕТИКА

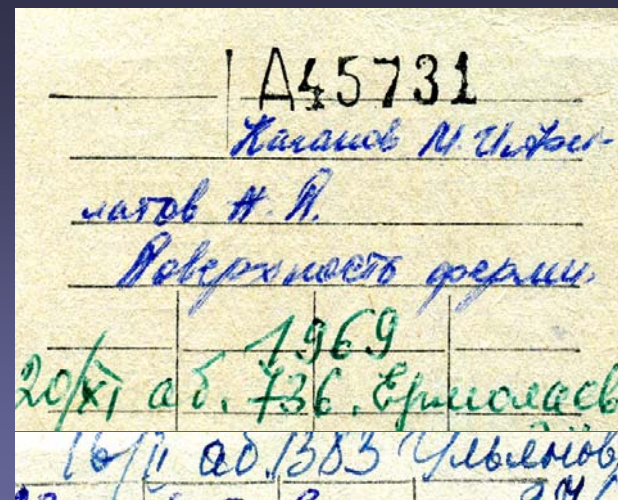


М.И. КАГАНОВ, Г.Я. ЛЮБАРСКИЙ

# АБСТРАКЦИЯ В МАТЕМАТИКЕ И ФИЗИКЕ





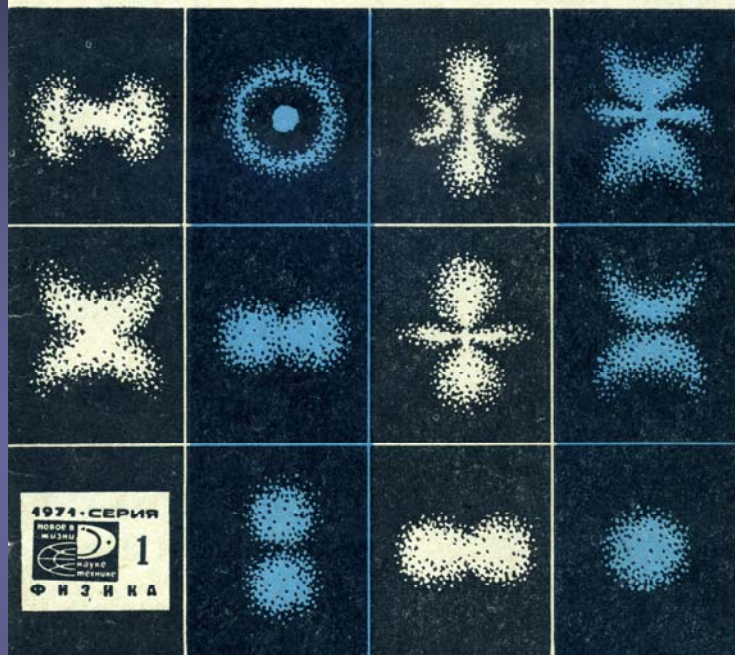


Любопытно, что ее первым читателем в ЦНБ ХГУ оказался А.М.Ермолаев, червертым – В.В.Ульянов

Первая книга М.И.Каганова



**М.И.КАГАНОВ, А.М.ЕРМОЛАЕВ**



**АТОМНАЯ  
ФИЗИКА  
И СЕГОДНЯШНЯЯ  
КАРТИНА МИРА**

НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

**ЗНАНИЕ**



1/1973  
СЕРИЯ  
ФИЗИКА

М. И. Каганов  
**МАГНОНЫ  
И ПЛАЗМОНЫ**



НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ



М. И. Каганов  
В. Д. Нацик

ЭЛЕКТРОНЫ,  
ДИСЛОКАЦИИ,  
ЗВУК

5/1977

СЕРИЯ  
ФИЗИКА

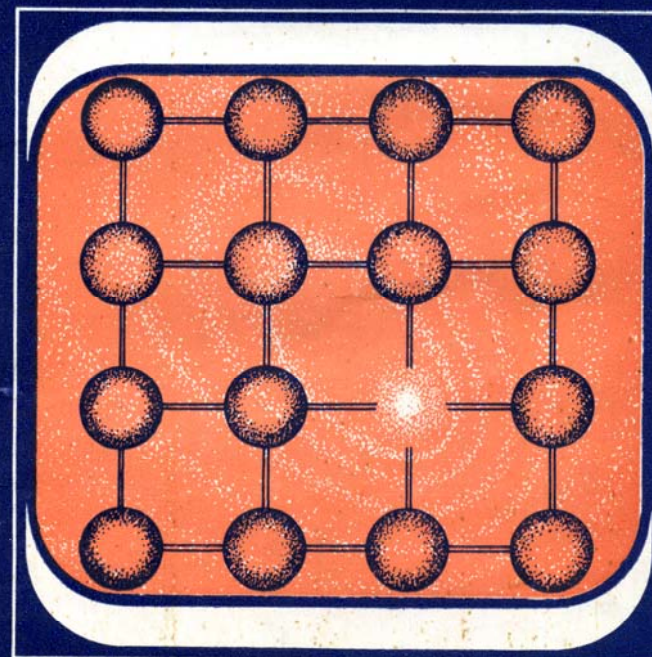
ЗНАНИЕ

НОВОЕ  
В ЖИЗНИ,  
НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

СЕРИЯ  
ФИЗИКА

7'81

М. И. Каганов  
В. Я. Френкель  
ВЕХИ ИСТОРИИ  
ФИЗИКИ  
ТВЕРДОГО ТЕЛА





# ФИЗИКА

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1985/9

М.И. Каганов

А.А. Слуцкий

МАГНИТНЫЙ ПРОБОЙ



**ЗНАНИЕ**

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

# ФИЗИКА

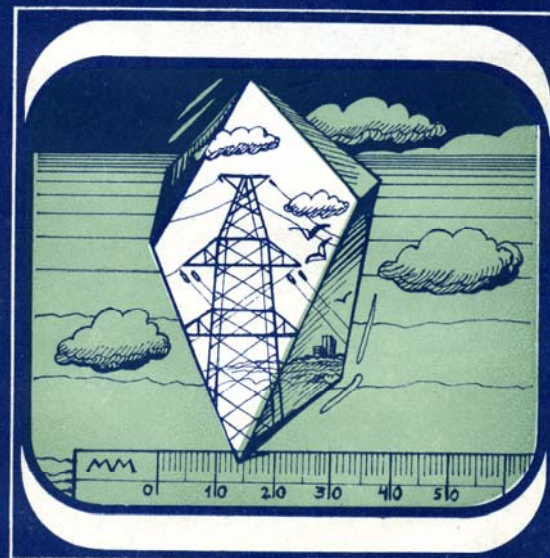
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1986/2

М.И. Каганов

МИКРО... И МАКРО...



**ЗНАНИЕ**

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ



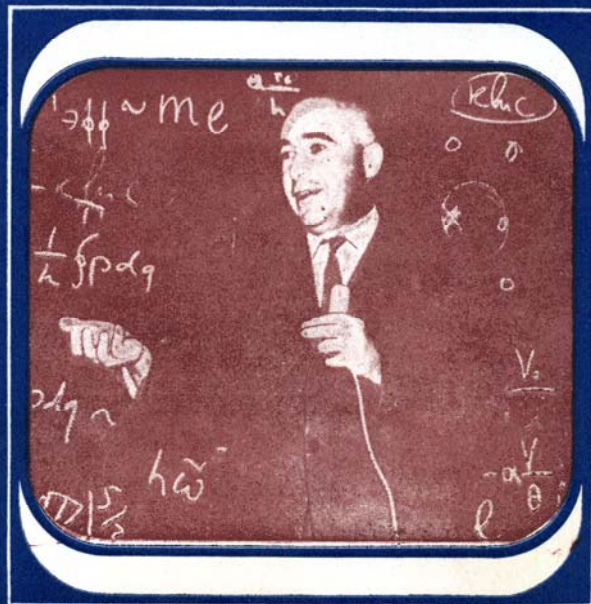
# ФИЗИКА

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1987/10

АКАДЕМИК  
ИЛЬЯ МИХАЙЛОВИЧ  
ЛИФШИЦ



**ЗНАНИЕ**

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

М. И. КАГАНОВ

## К ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ МЕТАЛЛОВ (УФТИ\*, 50-е ГОДЫ)

**Обстановка и люди.** Глядя на обложки современных учебников по физике твердого тела, украшенных вычурными изображениями поверхностей Ферми металлов, очень трудно представить себе время, когда слова «поверхность Ферми» отпугивали большинство физиков, а удивление первооткрывателей сложных геометрических конструкций проявилось в том, что одна из таких конструкций получила прозвище «монстр» — чудовище — и под таким названием вошла в современную электронную теорию металлов. Понятия «давно» и «недавно», конечно, относительны. Для бурно развивающихся областей физики двадцать — тридцать лет тому назад — *plusquamperfectum*, давно прошедшее время. Физика твердого тела при взгляде извне — сравнительно консервативная наука, исторические этапы развития которой продолжают десятки, а иногда и более сотни лет. Но и для физики твердого тела последние тридцать лет — период общепризнанных успехов. Период качественных изменений, особенно для теории металлов!

Наверное, у каждого человека есть ощущение главного периода своей жизни. У научного работника этот период выделяется либо собственным взлетом, получением лучшего результата, либо тем, что «его наука», то, чем он занимается, оказывается модной, попадает в центр внимания научной общественности... В 50-е годы была модна физика металлов. Одним из центров, где она создавалась, был Харьков, точнее, УФТИ (как тогда говорили). В 1949 г., окончив Харьковский университет и защитив дипломную работу под руководством И. М. Лифшица, я был принят к нему в отдел.

Первая работа по электронной теории металлов, выполненная с моим участием, вышла из печати в 1953 г.; конечно, главную роль в этой работе сыграл Илья Михайлович Лифшиц. С тех пор — много лет подряд — моя научная жизнь связана с электронной теорией металлов. Пятидесятые годы я считаю главным периодом

\* Физико-технический институт АН УССР.



## Электроны на поверхности Ферми

М. И. Каганов



Моисей Исаакович Каганов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры квантовой теории физического факультета МГУ, старший научный сотрудник теоретического отдела Института физических проблем АН СССР. Основные работы — в области квантовой теории твердого тела и физики низких температур. Автор ряда научно-популярных книг и статей в «Природе».

Все электроны одинаковы. Электрон, прилетающий на Землю из глубин космического пространства, тождествен электрону, входящему в молекулу воды — одну из миллиардов в нашем организме.

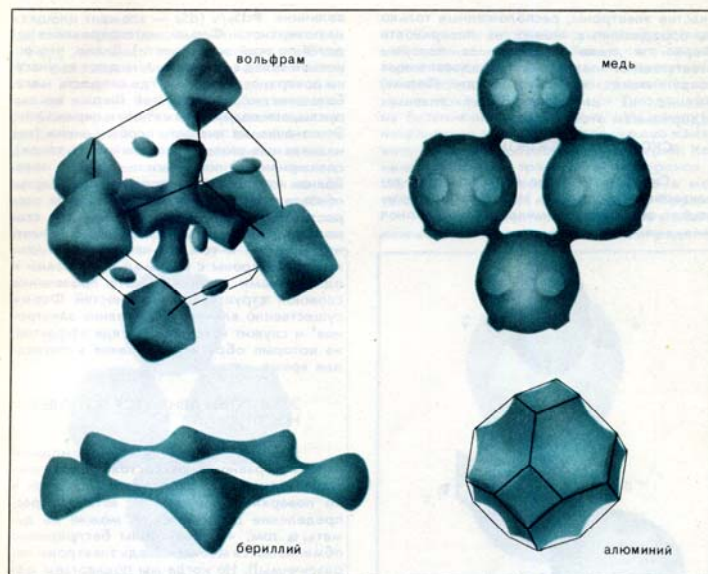
Принцип неразличимости частиц — один из фундаментальных принципов квантовой физики. Следствия из него многочисленны: от разделения частиц на бозоны и фермионы — основы квантовой статистики — до объяснения ферро- и антиферромагнетизма с помощью обменного взаимодействия. Неразличимость электронов не противоречит тому хорошо известному факту, что в разных условиях электроны ведут себя по-разному. Электрон, летящий со скоростью, близкой к скорости света, больше напоминает пулю, чем электрон, «размазанный» в виде облачка вокруг протона в атоме водорода.

В газе все частицы находятся в равных условиях. Газ электронов — не слишком привычное для непосвященного словосочетание. Привычнее: кислород, водород, азот, угарный газ — газы, состоящие из молекул. Но газ электронов, или, как принято говорить, электронный газ, встречается не реже, чем газы, входящие в состав воздуха. Любой кусок металла содержит электронный газ. Это поняли в начале нашего века, сразу после открытия элементарного электрического

заряда. П. Друде и Х. Лоренц, «населив» металл свободными электронами, объяснили способность металла пропускать электрический ток (закон Ома), универсальное соотношение между электро- и теплопроводностью (закон Видемана — Франца), металлический блеск и другие специфические свойства металлов.

Однако электронный газ в металле, в существовании которого не было возможности сомневаться (он был необходим для объяснения свойств металлов), не наблюдался непосредственно. Казалось бы, самое непосредственное наблюдение газа — измерение теплоемкости металла. Статистическая физика утверждала вполне определенно: вклад каждого атома кристаллической решетки в теплоемкость равен  $3k_B$ , а каждой частицы газа  $\frac{3}{2}k_B$

( $k_B = 1,4 \cdot 10^{-16} \frac{\text{эрг}}{\text{град}}$  — постоянная Больцмана). Заметим, что сорт частицы, в частности ее масса, не играет роли. Вклад свободного электрона и тяжелой (по атомным масштабам) молекулы в теплоемкость газа одинаковы. Для объяснения металлических свойств необходимо было считать, что электронов в металле много — не меньше, чем атомов (иначе они попросту не нужны). И, следовательно, теплоемкость металла должна быть существенно больше



Поверхности Ферми различных металлов. Во всех случаях, кроме меди, изображены те части поверхности, которые помещаются в ячейке периодичности  $\mathcal{P}$ -пространства. Поверхность Ферми меди — пример открытой поверхности.

электрического тока и т. д.), то окажется, что все они имеют общую структуру в виде интеграла по поверхности Ферми. Надо подчеркнуть: в каждом эффекте роль различных участков поверхности Ферми различна. Это заставляет изучать поведение электронов не глобально, а дифференцированно, ставить вопрос о том, как ведут себя не вообще электроны данного металла и даже не электроны на поверхности Ферми, а как ведут себя электроны с определенной области поверхности Ферми.

Лет двадцать назад центр интересов в физике металла был в определении топологии и размеров поверхности Ферми. В настоящее время, когда поверхности Ферми большинства металлов достаточно

хорошо известны, происходит накопление сведений об электронах с разных участков на поверхности Ферми: их скорости, длине пробега, эффективной массе и т. п. Поверхность Ферми каждого металла постепенно становится похожей на карту местности, на которую наносятся высота гор, полезные ископаемые, плотность населения и другие сведения, известные о данной местности.

Мы постараемся пояснить, почему металлы с различными поверхностями Ферми обладают разными свойствами и чем электроны с разных участков одной и той же поверхности не похожи друг на друга.

Поверхности Ферми не вытаскишь из кристалла. Единственная возможность ее изучения — это исследование свойств металла. Невозможно было бы изучать электроны с отдельных участков на поверхности Ферми, если бы не существовало явлений, которые определяются не всеми электронами металла, а только избран-

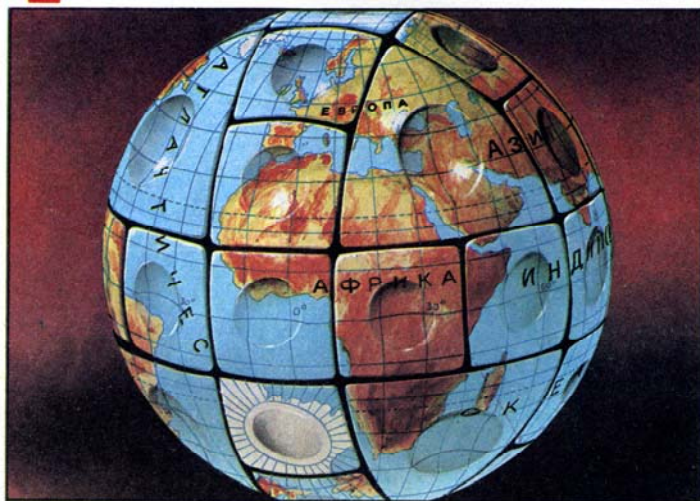


# Квант

Научно-популярный  
физико-математический журнал

ISSN 0130-2221

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



1988

В этом номере мы публикуем статью известного физика-теоретика, специалиста по физике твердого тела, профессора М. И. Каганова. В ней автор на простых примерах знакомит читателя с тонким, граничащим с интуицией искусством оценок, без которого невозможна работа серьезного физика-теоретика на его пути к неизвестному. Статья написана в системе единиц СГС (сантиметр — грамм — секунда). В школе эту

систему уже давно не изучают, однако профессиональные физики обычно пользуются именно ею (а не знакомой школьникам СИ). Дело в том, что при написании формул в этой системе единиц появляющиеся в них коэффициенты имеют ясный физический смысл. Подумав, редакция не решилась переводить формулы статьи в СИ, так как при этом аромат настоящей физики, веющей от нее, был бы безвозвратно утерян.

## МНОГО ИЛИ МАЛО?

(Рассуждения физика-теоретика о числах)

Доктор физико-математических наук  
М. И. КАГАНОВ

Однажды я задумался, сколько книг человек может прочитать за жизнь. Оценил я это число так. Скажем, человек читает 60 лет. В году 52 недели. Пусть в неделю человек прочитывает две книги. Значит, около 100 в год. Итого примерно 6000 книг за жизнь. Это число, не обсуждая, как оно получилось, я назвал разным людям. «Так мало!» — сказали одни. «Неужели так много?!» — удивились другие. И я подумал: в нас нет запрограммированной чувственной оценки чисел. Только сравнивая одно число с другим, только придавая числу определенный смысл, мы ощущаем его величину. Число прочитанных книг, конечно, имеет вполне определенный смысл (это не просто безымянные 6000), но ощутить его (оценить, сказать — много это или мало) может только тот, кто сумеет подобрать сравнение, например, задумавшись: «А сколько книг в неделю (месяц, год,...) читаю я?»...

Физика имеет дело с именованными величинами. Любая физическая величина имеет размерность. Существует специальный раздел физики, изучающий принципы размерности, системы единиц, эталоны этих единиц и т. д. Должен признаться, всегда этот раздел физики мне казался достаточно скучным. Может быть, из-за того, что из него много фактов надо держать в голове: как связаны между собой джоуль и эрг, чем отли-

чается эрстед от гаусса, сколько кулонов в единице заряда по системе СГС и т. д., и т. п. Но, как ни грустно, без этого обойтись нельзя. Приходится, переходя от одних значений к другим, выражать их в определенных единицах и притом в одинаковых. Сравнивая магнитное поле, созданное сверхпроводящим соленоидом, с магнитным полем Земли, оба поля надо выразить в одних единицах: в гауссах или в теслах — безразлично, отношение полей от этого не зависит. А ведь именно отношения физических величин нам, как правило, и важны, так как именно они (безразмерные отношения) определяют то, что физики любят называть «физикой явления». Эту мысль мы разовьем ниже, а сейчас еще несколько слов о размерных величинах.

Задумывались ли вы о том, почему все физические величины могут быть выражены через единицы длины (сантиметр), времени (секунду) и массы (грамм)? Это относится и к электрическому, и к магнитным величинам, и к тепловым, и к оптическим.\* В физике нет величин, которые нель-

\* Например, размерность тока —  $[I] = [Q]/[t]$ , а размерность заряда  $Q$  можно найти, воспользовавшись законом Кулона:  $[Q]^2/[R]^2 = [F]$ , где  $F$  — сила. Так как  $[F] = \text{г} \cdot \text{см}/\text{с}^2$ , то  $[Q] = \text{г}^{1/2} \cdot \text{см}^{3/2}/\text{с}$ . Отсюда  $[I] = \text{г}^{1/2} \cdot \text{см}^{3/2}/\text{с}^2$ . Так размерность всех электрических величин можно выразить через грамм, сантиметр и секунду.



В прошлом году наши читатели могли познакомиться со статьей известного физика-теоретика, специалиста по физике твердого тела, профессора М. И. Казанова, которая называлась «Много или мало? Рассуждения физика-теоретика о числах» (см. «Квант» № 1, 1988). Сегодня мы предлагаем читателям статью М. И. Казанова, которую можно, в каком-то смысле, считать продолжением предыдущей и которую можно было бы назвать «Раз-

мышления физика-теоретика о смысле чисел в физике». Как и первая, эта статья написана в системе единиц СГСЗ (сантиметр — грамм — секунда, а Э — от «электричества»). Профессиональные физики обычно пользуются именно ею (а не знакомой школьникам СИ). В этой системе некоторые формулы выглядят не совсем так, как в привычной для нашего читателя СИ.

## ВЗГЛЯНУВ НА ТЕРМОМЕТР...

Доктор физико-математических наук  
М. И. КАЗАНОВ

Однажды утром я почувствовал, что в квартире холоднее, чем обычно. Взглянув на термометр, увидел: действительно, вместо привычных 20 °C было 19 °C. Посетовав на нестабильность коммунальных служб, собрался и пошел на работу. В метро мысль вернулась к показанию термометра, и возникло ощущение, что что-то тут не так...

Температура — мера теплового движения молекул. Средняя энергия теплового движения молекулы (скажем, газа в воздухе, наполняющем комнату) равна  $\frac{3}{2} kT$ , где  $k \approx 1,4 \times 10^{-16}$  эрг/град — постоянная Больцмана, а температуру, правда, надо измерять не в градусах Цельсия, а по абсолютной шкале — шкале Кельвина, сдвинутой относительно шкалы Цельсия на  $-273,16^\circ$ . Другими словами, температура в моей квартире была около 300 К. И я почувствовал изменение температуры  $\Delta T$  порядка  $\frac{1}{300} T$ , т. е. ощутил, что энергия теплового движения молекул изменилась на 0,3%! Более того, без каких-либо сложных приборов, с помощью простого настенного термометра я проверил свое ощущение — измерил факт изменения на 0,3% энергии теплового движения молекул... У меня даже мелькнула гордая мысль об эволюции, создавшей столь чувствительные механизмы ощущения температуры. Хорошо известно, каким важным параметром для живых ор-

ганизмов является температура: изменение температуры тела человека на 1 градус — признак болезни, а интервал допустимого изменения температуры тела — менее 10 градусов. Естественно, ощущать температуру живому организму необходимо очень точно... Но каким образом?

Подсказкой мне послужил все тот же настенный термометр. Поэтому разберемся сначала с ним. Как нам удастся измерить изменение температуры на 1 градус? а медицинским термометром — на 0,1 градуса? Измерителем служит изменение объема жидкости (для определенности — ртути). При повышении или понижении температуры ее объем  $V$  изменяется на  $\Delta V$ , причем

$$\frac{\Delta V}{V} = \alpha \cdot \Delta T.$$

Множитель  $\alpha$  носит название коэффициента теплового расширения. По порядку величины он составляет  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  К $^{-1}$ . «Увидеть»  $\Delta V/V \sim 10^{-4}$  удастся только с помощью простого приема — «загнав» ртуть в тонкий капилляр. Тогда  $\Delta V = s \cdot \Delta l$ , где  $s$  — площадь сечения капилляра, а

$$\Delta l = \frac{V}{s} \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

— изменение высоты столбика ртути. Сделав  $s$  достаточно малым, можно добиться необходимого разрешения. Капилляр служит усилителем. Если  $V \sim 1$  см $^3$ , то для того, чтобы при  $\alpha \cdot \Delta T \sim 10^{-4}$  получить  $\Delta l \sim 1$  мм = 0,1 см, надо иметь капилляр с пло-

## ПИСЬМА О ФИЗИКЕ

Редакция получает массу писем с самыми разными вопросами. Мы стараемся отвечать каждому нашему читателю. Но есть такие, можно сказать, глобальные вопросы, на которые трудно ответить в индивидуальном письме: в каких физиках развивается современная физика? чем занимаются ученые в физических институтах? как стать физиком?..

В ответ на такие письма мы начинаем сегодня новый цикл публикаций, который можно условно назвать «Письма о физике». Сколько будет этих писем — покажет будущее. Физика необыкновенно многолика, и почти не существует ученых, одинаково хорошо разбирающихся во всех ее областях. А возможно, их и вовсе нет. Физик, случайно заглянувший на «не свою» конференцию, как правило, не много понимает. Поэтому письма нашим читателям будут писать разные авторы. И мы постараемся привлечь настоящих профессионалов, чтобы мы получали ответы, что называется, из первых рук.

Автор первого письма — известный физик-теоретик, крупный специалист в области физики твердого тела, доктор физико-математических наук, профессор Моисей Исаакович Казанов. Предоставляю ему слово.

Дорогой коллега!

Думаю, я могу так обратиться к читателю. Журнал «Квант», как правило, читают те, кто решил стать физиком или математиком. Я обращаюсь к тем, кто в будущем видит себя физиком.

Не знаю, занимался ли кто-нибудь анализом выбора специальности. Конечно, каждый взрослый человек помнит, как складывалась его жизнь и почему он стал физиком, или инженером, или рабочим... Помню и я. В нашей семье не было представителей точных наук. Но было много книг. И я рано начал читать научно-популярную литературу по физике. Теперь мне ясно: понимал я мало (особенно при первом знакомстве с новой — тогда — квантовой физикой). Но было ощущение какого-то удивительного приключения, участие в котором принимают Резерфорд, Бор, Эйнштейн, Гейзенберг, Шредингер... — переживание отводило особое место «суперзвездам», актеры второго ряда уже не оставляли следа. И если в приключенческом фильме восхи-

щает умение вскочить на коня с места или, мгновенно вытащив пистолет, метко поразить противника, то в научных приключениях меня восхищала удивительная сила ума, способность выйти за рамки старых теорий, построить новую систему представлений, адекватную новым экспериментальным данным. Надо думать, книги, которые я читал, были хорошо написаны, потому что я понял (а возможно, мне сегодня кажется, что я тогда понял): замена фундаментальной теории, прекрасно описывающей огромную совокупность фактов, новой теорией — только потому, что старая с чем-то не справляется, — мучительно трудное дело. Ведь в наследство остаются все ранее известные факты, и они по-прежнему требуют объяснения...

Вот какие проблемы волновали меня, когда я принимал решение стать физиком.

Что такое физика, чем реально занимаются физики — об этом в книгах, которые я читал, ничего не говорилось. Иногда упоминались названия научных учреждений, в которых работали «суперзвезды»: Мондовская лаборатория в Кембридже, созданный для Бора институт в Копенгагене... Конечно, я знал, что в Советском Союзе есть научные институты, в ко-

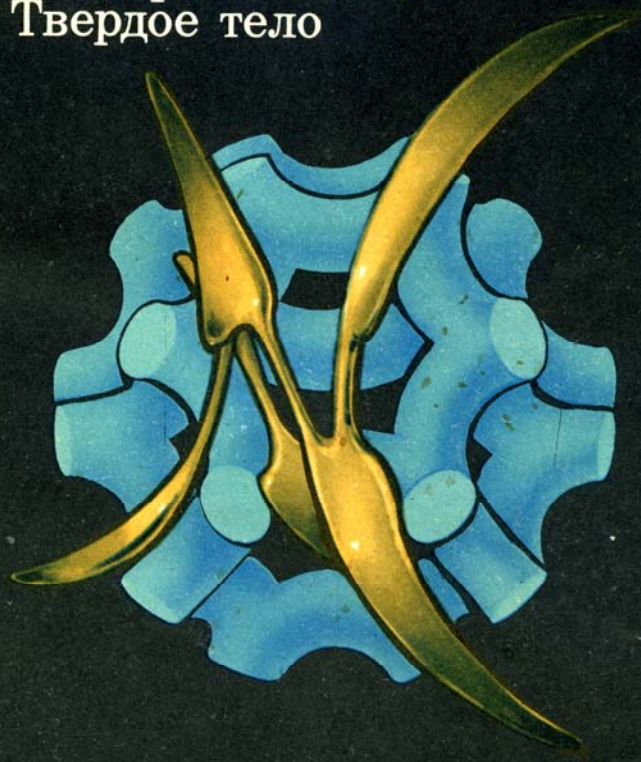


На выставке современной скульптуры.



# ШКОЛЬНИКАМ О СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

## Электромагнетизм Твердое тело



М. И. Каганов

## ПРИРОДА СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

ЧАСТЬ I

ПРОВОДИМОСТЬ

**Закон Ома.** Способность металлов проводить электрический ток привлекала физиков давно. Уже к началу XIX в. было установлено, что между приложенной к металлическому проводнику разностью потенциалов  $U$  и силой тока  $I$ , протекающего за счет этого в проводнике, существует прямая пропорциональность (закон Ома):

$$I = \frac{U}{R}.$$

Величину  $R$  называют сопротивлением. Сопротивление прямо пропорционально длине  $L$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$  проводника:

$$R = \rho \frac{L}{S},$$

$\rho$  — коэффициент пропорциональности. Он зависит только от сорта проводника и от того, в каких условиях этот проводник находится (какова, например, его температура);  $\rho$  называют удельным сопротивлением, а  $1/\rho$  — удельной электропроводностью, ее обозначают часто буквой  $\sigma$ . Если ввести теперь плотность тока  $j = I/S$  и напряженность электрического поля  $E = U/L$ , то закон Ома можно переписать в обозначениях, не связанных с размерами проводника:

$$j = \sigma E. \quad (1)$$

Последнее соотношение называется законом Ома в дифференциальной форме. Подчеркнем: удельная электропроводность  $\sigma$  не зависит от напряженности электрического поля  $E$ .

При комнатной температуре ( $T \approx 300$  К) у некоторых металлов удельная электропроводность  $\sigma \approx 10^{16} - 10^{17}$  1/с\*. Она воз-

\* В наиболее часто употребляемой на практике системе единиц СИ удельная электропроводность имеет размерность Ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup>. Часто пользуются другой системой единиц — СГСЭ, особенно удобной в атомной физике. Основными единицами в этой системе являются: сантиметр (см) — единица длины, грамм (г) — единица массы, секунда (с) — единица времени.

В системе СГСЭ размерность  $\sigma = \frac{1}{\text{секунда}} (\text{с}^{-1})$ .





ISSN 0132-6414 (Print)  
ISSN 1816-0328 (Online)

# Физика низких температур

Том 32  
Приложение  
2006

Low  
Temperature  
Physics

www.ilt.kharkov.ua



Л.В. Шубников  
(1901–1945)



В.Л. де Гааз  
(1878–1960)



П.М. ван Альфен  
(1906–1967)



Р.Е. Пайерлс  
(1907–1995)



Л.Д. Ландау  
(1908–1968)



Л. Онзагер  
(1903–1976)



А.М. Косенич  
(1928–2006)



И.М. Лифшиц  
(1917–1982)



Д. Шенберг  
(1911–2004)

## Непростая история

М.И. Каганов

7 Agassiz Ave., #1, Belmont, MA 02478, USA  
E-mail: MKaganov@compuserve.com

Статья поступила в редакцию 3 ноября 2005 г.

К 75-летию работы Л.Д. Ландау  
«Диамагнетизм электронного газа»

К 50-летию работы И.М. Лифшица и А.М. Косенича  
«К теории магнитной осцилляционности  
металлов при низких температурах»

### СОДЕРЖАНИЕ

Введение	1
Уровни Ландау?	3
Предсказание осцилляционных явлений	5
Эффект де Газа – ван Альфена у электронов с квадратичными законами дисперсии	8
Уровни Лифшица – Онзагера	9
Диамагнетизм электронного газа	11
Геометризация электронной теории металлов	12
Замечание об эффекте Шубникова – де Газа	16
Геометризация электронной теории металлов (продолжение)	16
Для осцилляций магнитное поле не обязательно	19
Теория ферри-жидкости Ландау и ферромагнетизма	19
Магнитный пробой	20
Заключительные слова	22
Литература и примечания	22

PACS: 72.15.Gd

### ВВЕДЕНИЕ

Работа Льва Давидовича Ландау [1], вышедшая в 1930 году, сыграла выдающуюся роль в истории электронной физики металлов. С этой работы начинается теоретическое исследование специфических магнитных свойств электронов проводимости.

В те годы физика металлов начала приобретать современные черты. Всего за несколько лет до 1930 года были сформулированы руководящие принципы, на которых основана квантовая теория металлов: в конце 20-х годов Арнольд Зоннерфельд показал, что электроны металла – вырожденный газ и, используя квантовую статистику, обосновал теорию Друде – Лоренца от противоречий. Приблизительно тогда же Феликс Блох и Леон Бриллион заложили основы зонной теории. Зонная теория объяснила

«свободу» электронов проводимости, показав, что волновая функция электрона в периодическом поле ионов решетки – волна Блоха – модулированная плоская волна с определенным квазиимпульсом  $\mathbf{p}$  – вектором, напоминающим импульс. Давая возможность, используя модели, вычислять энергетический спектр электронов (периодическую зависимость энергии электрона  $\epsilon$  от квазиимпульса  $\mathbf{p}$ ), зонная теория не отменяла, а, скорее, обосновала представление об электронной проводимости (о «свободных» электронах) как о газе свободно перемещающихся по металлу частиц, длина пробега которых заметно превышает размер ячейки кристалла. Следствие зонной теории – зависимость  $\epsilon = \epsilon(\mathbf{p}) \neq \mathbf{p}^2/2m$ , где  $m$  – масса электрона, изменила количественные результаты теоретических расчетов в сравнении с расчетами по теории Друде – Лоренца – Зон-

© М.И. Каганов, 2006

# «Непростая история» – большой обзор

# Вісник Харківського Національного Університету імені В. Н. Каразіна

№ 783

Харків 2007

К 100-летию дня рождения Льва Давидовича Ландау  
(Заметки, основанные на личных воспоминаниях)

М.И. Каганов

Belmont, MA, USA

22 января 2008 года исполнится сто лет со дня рождения Ландау.

100 лет со дня рождения, 40 лет со дня смерти. Не астрономические, но исторические интервалы времени. Отнюдь не все сохранила память, но все, что сохранила, свежо. Никогда не «дела давно минувших лет».

Легко переносишь в десятилетие между 1952 и 1962 годами. Тогда я, живя и работая в Харькове, нередко бывал в Москве в командировке. Как правило, прямо с поезда спешил в Институт физических проблем и оказывался в гуще физиков-теоретиков, оживающих начала семинара в холле второго этажа. О начале семинара Лев Давидович Ландау подавал сигнал с неизменной точностью. Семинары, хождение Ландау по холлу с очередным собеседником помнятся очень отчетливо.

Большинство работ Ландау не потеряли своего значения до сих пор, многие его результаты вошли в монографии, учебники, энциклопедии. Курс теоретической физики, знаменитый «Ландау и Лифшиц» позволяет выпускнику университета кратчайшим путем достичь уровня, когда можно самостоятельно решать новые задачи. Под влиянием Ландау у многих физиков-теоретиков, во всяком случае, у тех, кого можно объединить понятием Школа Ландау, выработался определенный стиль теоретических работ. Несомненно, они призывали его своим ученикам, а те – своим. Стиль Ландау и его учеников характерен прежде всего конкретностью. В каждой публикуемой работе должна быть решена вполне определенная задача. Работа должна завершаться получением ответа. Рассуждения на тему о возможных подходах к решению задач не воспринимаются законченной работой, достойной публикации. Такой подход условно можно назвать прагматическим.

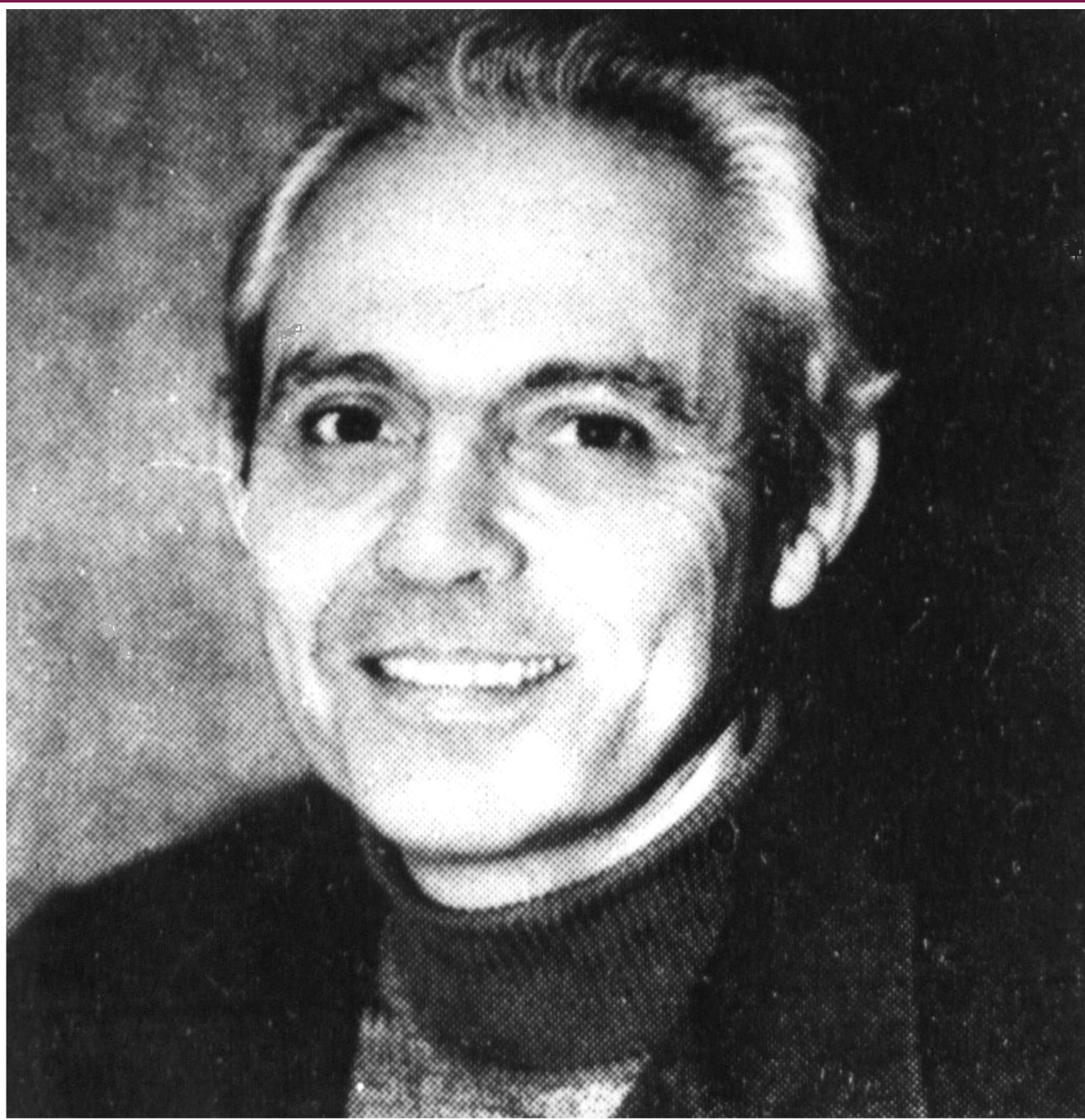
Вспоминается такой эпизод. Он произошел в 50-х годах прошлого века на одной из первых послевоенных конференций по теории твердого тела. Участники конференции – физики-теоретики, принадлежавшие разным школам и приехавшие из разных городов Советского Союза. Для меня конференция была одной из первых, в которой я участвовал. Старался держаться рядом со своим учителем Ильей Михайловичем Лифшицем, а к нему, хорошо известному физику-теоретику, многие тянулись. После одного из заседаний группа молодежи (аспиранты, возможно, студенты старших курсов) провожала нас к гостинице. Кто-то спрашивает: «Почему в ваших докладах в конце всегда есть ответ, а в других даже трудно понять, что доклад закончен?» Не буду уточнять, что спрашивающий вкладывал в слова ваших и других. Мы его поняли. На семинарах Ландау, на семинарах в Харькове, руководимых Ильей Михайловичем Лифшицем и Александром Ильичем Ахиезером, часто слышалось: «Что вы вычисляете? Зависимость от чего?» Или: «Каков полученный результат? Потом разберемся, как он получен!»

Следует подчеркнуть: исповедуемый в Школе Ландау прагматизм ни в коей мере не был утилитарным. Полезность в смысле инженерных применений в оценке работы играла второстепенную роль. Что-то не припомню ни одного случая, чтобы прикладная важность работы выплывала при докладе на семинаре Ландау.

В науке немаловажную роль играет мода. В этом утверждении нет осуждения. Интерес научного содружества изменчив: он переходит от одной области к другой. Всегда в физиках-теоретиках ценилось умение входить в новую область. Но характерной чертой Ландау, как главы Школы, был интерес ко всей физике. Без преувеличения можно сказать, что ценилось все, что вносило ясность в вопрос, на который не было ответа до того, как была сделана оцениваемая работа. Такой подход к теоретической физике, усвоенный многими, основан на восприятии ее как единой науки. Отчетливо подобное мировоззрение



Фотографии взяты из книги  
М.И.Каганова «Школа Ландау»,  
а также из архивов О.И.Любимова,  
А.М.Ермолаева и В.В.Ульянова.





КОНЕЦ