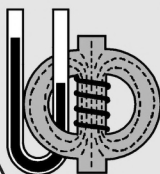


ISSN 2307-5457

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

*Primum
inter pares*



**УЧЕБНАЯ
ФИЗИКА**

Материалы XXIX Всероссийской
научно-практической конференции

Апрель - июнь 2024 №2

„Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения“

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер	ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС:
Е. И. Вараксина	ФОРМИРОВАНИЕ НАГЛЯДНОГО ОБРАЗА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА.....3

Старшая школа

В. В. Майер	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
Е. И. Вараксина	ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ 16

Высшая школа

С. А. Герасимов	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТИ,
Т. М. Седов	МАГНИТ С ПАРУСОМ И ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ МОМЕНТ САМОДЕЙСТВИЯ 32

И. В. Гребенев	ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
П. В. Казарин	ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ СТОЯЧИХ
Е. В. Чупрунов	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН 40

С. В. Барышников	ЗНАКОМСТВО СТУДЕНТОВ С ИДЕЯМИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ 52
------------------	--

Исследования

А. С. Куимов	ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ
П. В. Зув	ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 58

Науковедение

Ю. А. Сауров	КОНСТАНТИН КОХАНОВ: ДВИЖЕНИЕ ВПЕРЕД 66
--------------	--

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	72
----------------------	----

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

И. В. Гребенев д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев д.п.н., профессор, Екатеринбург
О. В. Лебедева д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев д.п.н., профессор, Екатеринбург

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков д.п.н., профессор, Тамбов
Г. Г. Никифоров к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ф. А. Сидоренко д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская–Назарова к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: krop@bk.ru, uch-fiz@mail.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77–69506.

Подписной индекс: 79876.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 03.06.24. Подписано в печать 17.06.24.

Дата выхода в свет: 24.06.24.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 164. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Отремонтированная электрофорная машина (Майер В. В., Вараксина Е. И., Васильев И. А., Корнев Ю. А. Ремонт школьной электрофорной машины как средство развития инженерной компетенции // Учебная физика. — 2023. — № 2. — С. 14–37).

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 378

С. В. Барышников

ЗНАКОМСТВО СТУДЕНТОВ С ИДЕЯМИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ

Нанотехнологии — это область науки и техники, включающая теоретическое рассмотрение и практическое применение объектов с размерами менее ста нанометров. Развитие нанотехнологий невозможно без подготовки специалистов в этой области. В данной работе рассматривается, как на занятиях по физике в педагогическом университете можно ознакомить будущих учителей с основами нанотехнологий.

Ключевые слова: педагогическое образование, методика преподавания физики, размерные эффекты, нанотехнологии.

S. V. Baryshnikov

INTRODUCING STUDENTS TO THE IDEAS OF NANOTECHNOLOGY IN PHYSICS CLASSES

Nanotechnology is a field of science and technology that includes the theoretical consideration and practical application of objects with dimensions of less than one hundred nanometers. The development of nanotechnology is not possible without training specialists in this field. This paper examines how prospective teachers can be introduced to the basic ideas of nanophysics in physics classes at a pedagogical university.

Keywords: teacher education, methods of teaching physics, size effects, nanotechnology

Введение

Первые теоретические работы об исследовании влияния размера частиц на их физические свойства появились в 1930-х годах. Однако на практическом уровне физики вернулись к этой теме только в конце 20 века, когда размеры элементов электронных микросхем уменьшились до нанометровых. К настоящему времени множество теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на малых частицах, выявили значительные изменения их физических

характеристик при уменьшении размеров. Термин «нанотехнология» был введен японским физиком Норио Танигути в 1974 году.

Нанотехнологии — это область науки и техники, включающая теоретические обоснования, практические исследования, методы получения и применения объектов с размерами менее 100 нм.

Развитие нанотехнологий невозможно без обширной подготовки специалистов в этой области. Для достижения этой цели необходимы два условия. Во-первых, необходимо подготовить высококвалифицированных специалистов в различных областях естественных наук с уклоном в физику, уделяя особое внимание физическим характеристикам малых частиц. Во-вторых, важно развивать и совершенствовать материальную базу университетов, обеспечивая их лаборатории необходимым оборудованием.

Без сомнения, необходимо пересмотреть учебные программы в педагогических университетах, чтобы будущие учителя физики могли ознакомить школьников с основными идеями нанофизики. В данной работе рассматривается, как при подготовке учителей физики можно осветить вопросы, связанные с размерными эффектами.

Ознакомление будущих учителей физики с основами нанотехнологий

Программы педагогических университетов, основанные на действующих государственных стандартах, ориентированы на изучение объемных веществ с характерными размерами больше 1 мкм. Изучение свойств материалов тел, размеры которых меньше 0,1 мкм, программами не предусмотрено. Хотя для нанотехнологий это характерные размеры.

Анализ содержания рабочих программ по общей и теоретической физике действующих стандартов позволяет сделать вывод о том, что наиболее удобные возможности для представления сведений о зависимости свойств вещества от их размеров имеются в разделах термодинамики, статистической физики, квантовой механики и физики твердого тела.

В этих курсах возможно ознакомить студентов с размерными эффектами, наблюдаемыми при переходе к телам нанометрового размера. В частности, это можно сделать при рассмотрении границ применимости физических законов, описывающих различные процессы.

В термодинамике и статистической физике уменьшение размера частиц до нанометрового диапазона приводят к изменению теплоемкости, теплового расширения вещества, поверхностного натяжения в жидкостях и температур фазовых переходов в кристаллах.

Теплоемкость твердых тел

В рамках термодинамики теплоемкость твердых тел описывается теорией Дебая, которая учитывает энергию колебаний только атомов, принадлежащих объему. Однако при уменьшении размера

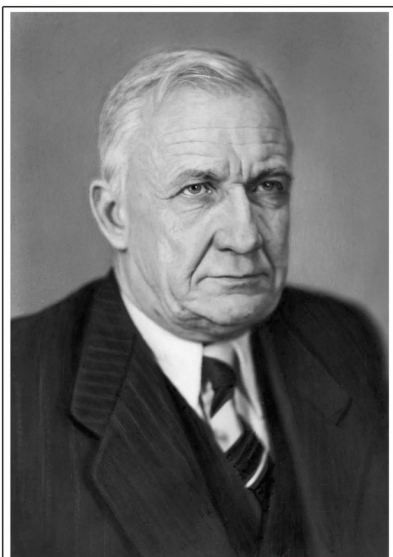
частиц число объемных атомов уменьшается пропорционально r^3 , а число поверхностных атомов — пропорционально r^2 . Это приводит к тому, что при размерах частиц меньше 10 нм число объемных и поверхностных частиц имеют один порядок. В этом случае при рассмотрении всех физических процессов, определяемых через внутреннюю энергию, необходимо учитывать колебательную энергию поверхностных атомов. Учет поверхностных колебаний приводит к изменению фононного спектра и, как следствие, температуры Дебая T_D . А учет различных типов колебаний (акустических, оптических, продольных и поперечных) и граничных условий приводит к тому, что теплоемкость будет зависеть не только от размера, но и от формы частиц.

Электронная теплоемкость

В металлах и полупроводниках вклад в теплоемкость дают и свободные электроны. Электронная теплоемкость определяется через плотность состояний, т. е. число уровней, приходящихся на интервал энергии. Но так как число энергетических уровней в зоне определяется числом атомов в кристалле, при уменьшении размера частиц уменьшается и плотность состояний. Это приводит к тому, что электронная теплоемкость для малых частиц может отличаться от соответствующей теплоемкости для тел макроскопических размеров. Причем электронная и решеточная теплоемкости в зависимости от температуры ведут себя по-разному.

Таммовские электроны

Принципиальное различие физических условий для атомов в объеме и на поверхности кристалла также приводит к различию энергетических спектров электронов, находящихся на поверхности и внутри кристалла. И. Е. Тамм еще в 1932 году, рассматривая модель полубесконечного кристалла, пришел к выводу о существовании поверхностных уровней [1], которые впоследствии получили названия таммовских электронов. В трехмерном кристалле каждому атому должно соответствовать одно состояние, концентрация которого составляет $\sim 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Концентрация поверхностных состояний Тамма должна быть равна поверхностной концентрации атомов, то есть порядка 10^{15} см^{-2} . Таким об-



Академик Тамм Игорь Евгеньевич (1895–1971)

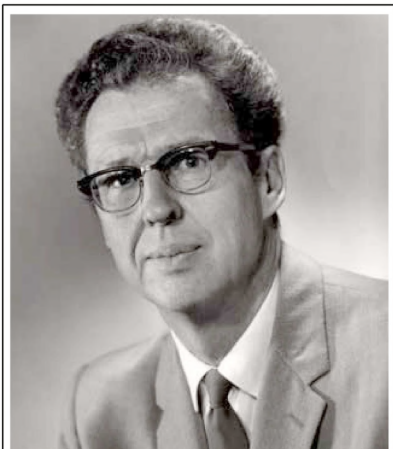
разом, для макроскопического кристалла концентрация поверхностных уровней много меньше объемных и ими можно пренебречь. Однако для наночастиц эти концентрации имеют один порядок, и они дают существенный вклад в электронные свойства наночастиц.

Поверхностное натяжение

При изучении явлений на поверхности, в частности, поверхностного натяжения следует показать различия этих явлений для макроскопических тел и малых частиц. Поверхностное натяжение для объемных тел определяется как удельная поверхностная энергия, то есть: $\sigma = U/S$. Однако более строгий расчет показывает, что

$$U = \frac{d(\sigma S)}{dS} = \sigma S + S \frac{d\sigma}{dS}.$$

И если для жидкостей, где σ не зависит от поверхности, соотношение $U = \sigma S$, справедливо, то для твердых тел, где σ включает вклад поверхностных напряжений, которые зависят от кривизны поверхности частиц, это приводит к увеличению σ в 1,5–3 раза.



Terrell Leslie Hill (1917–2014)
[A Biographical Memoir by Ralph V. Chamberlin with a personal recollection by William A. Eaton. — URL: <https://nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/hill-terrell.pdf>]

Для наночастиц, не имеющих однородности физических свойств, понятие поверхностного натяжения неприменимо. Из-за того, что поверхностное натяжение входит в граничные условия двух фаз, возникают сложности с оценкой условий фазового равновесия и температур фазовых переходов для наночастиц жидкостей. Для наночастиц твердых тел поверхностные напряжения могут привести к изменению параметров кристаллической решетки и, как следствие, к изменению коэффициента теплового расширения и изменению температур фазовых переходов.

Метод Хилла

Роль поверхности можно рассматривать и через количество дисперсных частиц или количество молекул в частице дисперсной фазы.

В этой связи в термодинамике существуют альтернативные методы описания малых частиц, которые не используют понятия поверхностной энергии. В частности, такой метод был предложен Т. Хиллом [2], который опирается на модификацию основного урав-

нения термодинамики:

$$d(nU) = Td(nS) - Pd(nV) + \sum_i \mu_i d(nN_i) + Wdn,$$

где n — число малых частиц, каждая из которых содержит N_i молекул или атомов i -го сорта; W — потенциал дробления, который показывает, как меняется энергия системы при изменении размера частиц; U , S и V — энергия, энтропия и объем каждой частицы; T — температура; P — давление; μ_i — химический потенциал i -компонента, отнесенного к одной частице. Из этого уравнения можно получить другое уравнение:

$$dW = -SdT + PdV - \sum_i N_i d\mu_i.$$

Приведенное уравнение лежит в основе описания малых объектов по Хиллу. Этот способ описания свойств частиц малых размеров тоже может быть рассмотрен при обсуждении основного уравнения термодинамики.

Фазовые переходы

Интересной особенностью малых частиц является изменение характера фазового перехода в наночастицах. Например, при переходе малых частиц (~ 10 нм) металлов в сверхпроводящее состояние отсутствуют эффекты «переохлаждения» и «перегрева» в отношении критического поля \tilde{H}_c , характерные для массивных образцов, когда сверхпроводящая или нормальная фаза возникают на отдельных центрах и отделяются друг от друга переходящим слоем толщиной в ~ 1 мкм. Экспериментальные данные указывают на то, что малые частицы переходят в сверхпроводящее состояние сразу по всему объему.

Намагниченность наночастиц

Аналогичная ситуация имеет место при намагничивании ферромагнитных наночастиц, которые могут быть только однодоменными. Порядок экспериментальных оценок критического параметра D_c однодоменных частиц по разным источникам составляет для железа $D_c \approx 12$ – 20 нм, для никеля $D_c \approx 60$ нм. На возможность такой ситуации для ферромагнитных наночастиц впервые указали Френкель и Дорфман [3]. Это объясняется тем, что когда размеры частицы уменьшаются, энергия магнитного поля частицы убывает пропорционально D^3 , то есть быстрее, чем энергия границ между доменами, которая пропорциональна D^2 , и поэтому равновесное значение намагничивания будет определяться в первую очередь минимумом поверхностной энергии, который достигается при переходе в однодоменное состояние. Заслуживает упоминания явление так называемого «супермагнетизма», когда при температуре ниже точки Кюри под

влиянием тепловых флуктуаций может быть преодолен некоторый энергетический потенциальный барьер, обусловленный обменными силами, удерживающими магнитные моменты атомов параллельно друг другу, и оказывается возможным изменение магнитного момента \vec{P}_e частицы [4].

Намагниченность системы из N малых частиц $\vec{J} = N\vec{p}_e$, существующая в магнитном поле, после выключения этого поля стремится к нулю по закону $J = J_0 \exp(-t/\tau)$, где τ — время релаксации. Таким образом, совокупность наночастиц ведет себя как система парамагнитных атомов, обладающих значительным магнитным моментом.

Заключение

Таким образом, несмотря на отсутствие темы нанотехнологии в рабочих программах курсов физики педвузов основные представления нанوفизики можно изложить в разделах как общей, так и теоретической физики. Идеи, описанные в данной статье, могут внести определенный вклад в подготовку будущих учителей физики в контексте современных представлений о нанотехнологиях и размерных эффектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tamm I. E. // Phys. Zs. Sowjetunion. — 1932. — V.1. — P. 733; см. также: Тамм И. Е. // Коллекция научных статей. — М.: Наука, 1975. — С. 216–226.
2. Hill T. L. Thermodynamics of Small Systems. — Vols. I, II. — Benjamin, New York: 1963, 1964.
3. Frenkel J., Dorfman J. Spontaneous and induced magnetisation in ferromagnetic bodies // Nature. — 1930. — V. 126. — P. 274–275.
4. Néel L. Théorie du trainage magnétique des ferromagnétiques en grains fin avec application aux terres cuites // Ann. Géophys. — 1949. — V. 5. — P. 99–136.

Благовещенский государственный
педагогический университет

Поступила в редакцию 31.01.24.