


Серыя

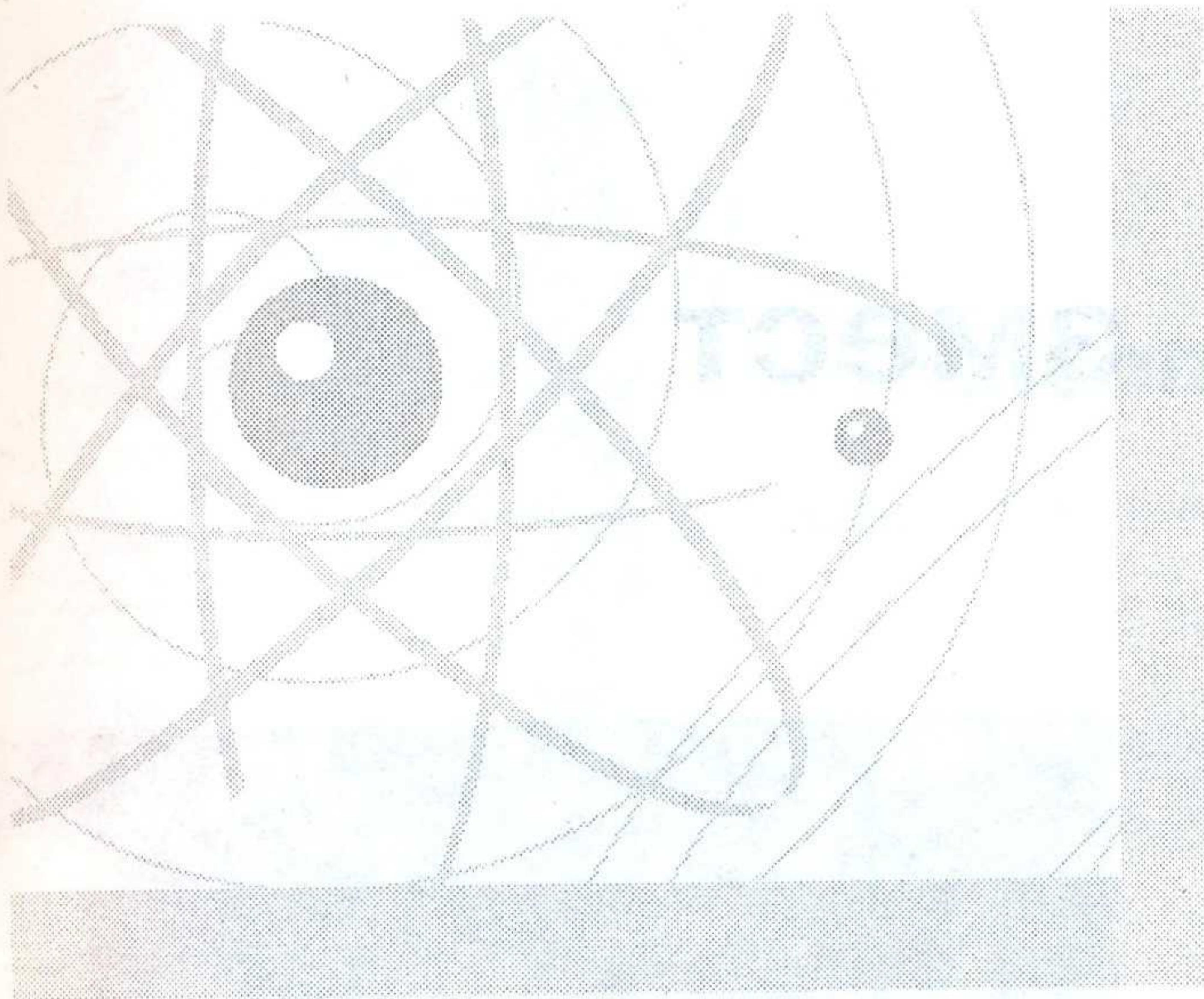
"У дапамогу педагогу"



ФІЗІКА

ПРАБЛЕМЫ ВЫКЛАДАННЯ

6 2005



Навукова-метадычны часопіс
Выдаецца з IV квартала 1995 года
Рэгістрацыйны № 433
Выходзіць 6 разоў у год

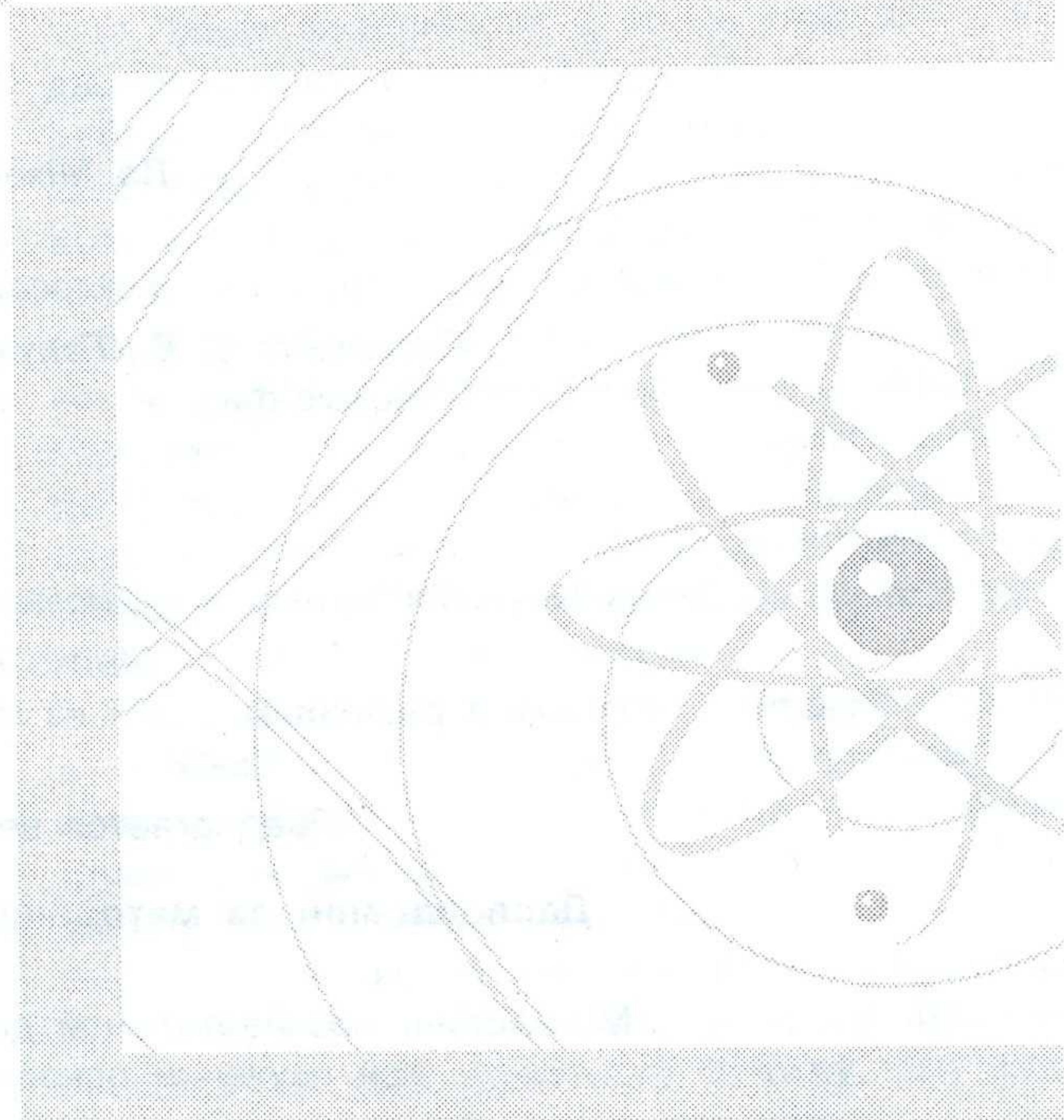
Фізіка:

проблемы выкладання

6(47) · 2005

Рэдакцыйная калегія

М. И. ЗАПРУДСКІ — галоўны рэдактар,
кандыдат педагогічных навук, дацэнт
Н. П. ГАРАВАЯ — нам. галоўнага рэдактара
Г. І. КАШЭҮНІКАВА — адказны сакратар
У. А. ГОЛУБЕЎ, дацэнт
Л. А. ІСАЧАНКАВА, кандыдат
фізіка-матэматычных навук, дацэнт
А. А. ЛУЦЭВІЧ, кандыдат педагогічных
навук, дацэнт
У. М. ПАДДУБСКІ
А. І. СЛАБАДЗЯНЮК, кандыдат
фізіка-матэматычных навук, дацэнт



Серыя «У дапамогу педагогу» заснавана ў
1995 годзе па ініцыятыве У.П. Пархоменкі

Заснавальнік і выдавец – Установа
“Выдавецтва “Адукацыя і выхаванне”

220004, г. Мінск,
вул. Карава, 16;
тэл.: 200-02-59 (адк. сакратар),
200-10-73 (аддзел маркетынгу),
факс: 200-54-10,
<http://www.aiv.by>,
e-mail:aiv@aiv.by

Рэдакцыйная рада

А. П. КЛІШЧАНКА — старшыня,
доктар фізіка-матэматычных навук,
прафесар
С. А. ГУЦАНОВІЧ, доктар
педагічных навук
І. В. СЕМЧАНКА, доктар
фізіка-матэматычных навук, прафесар
А. П. СМАНЦЭР, доктар педагогічных
навук, прафесар, акадэмік Беларускай
акадэміі адукацыі
В. В. ШАПЯЛЕВІЧ, доктар
фізіка-матэматычных навук, прафесар

220040, г. Мінск,
вул. Нікрасава, 20;
тэл.: 285-78-33,
e-mail:mick@academy.edu.by

Змест

Часопісу — 10 гадоў

Да Міжнароднага года фізікі

Апанасевич П. А.

Конгрэс физиков Беларуси

Позойскій С. В., Галузо И. В., Шмідт М. П.

Учены-физики — урожэнцы Віцебшчыны

Кансультатыў

Петраков В. Н.

Экранные изображения и аудиозапись на уроках физики

Жилко В. В., Маркович Л. Г.

Ответы и указания к решениям задач из сборника для X класса

Кац П. Б.

Предлагается верное решение задачи

Даследаванні па методыцы выкладання фізікі

Погуляева А. Г.

Моніторинг познавательной деятельности учащихся

при изучении основных законов динамики

Вырошчаем таленты

Слабодянюк А. И., Маркович Л. Г.

XVIII Міжнародны турнір юных фізиков

Астраномія

Галузо И. В., Голубев В. А.

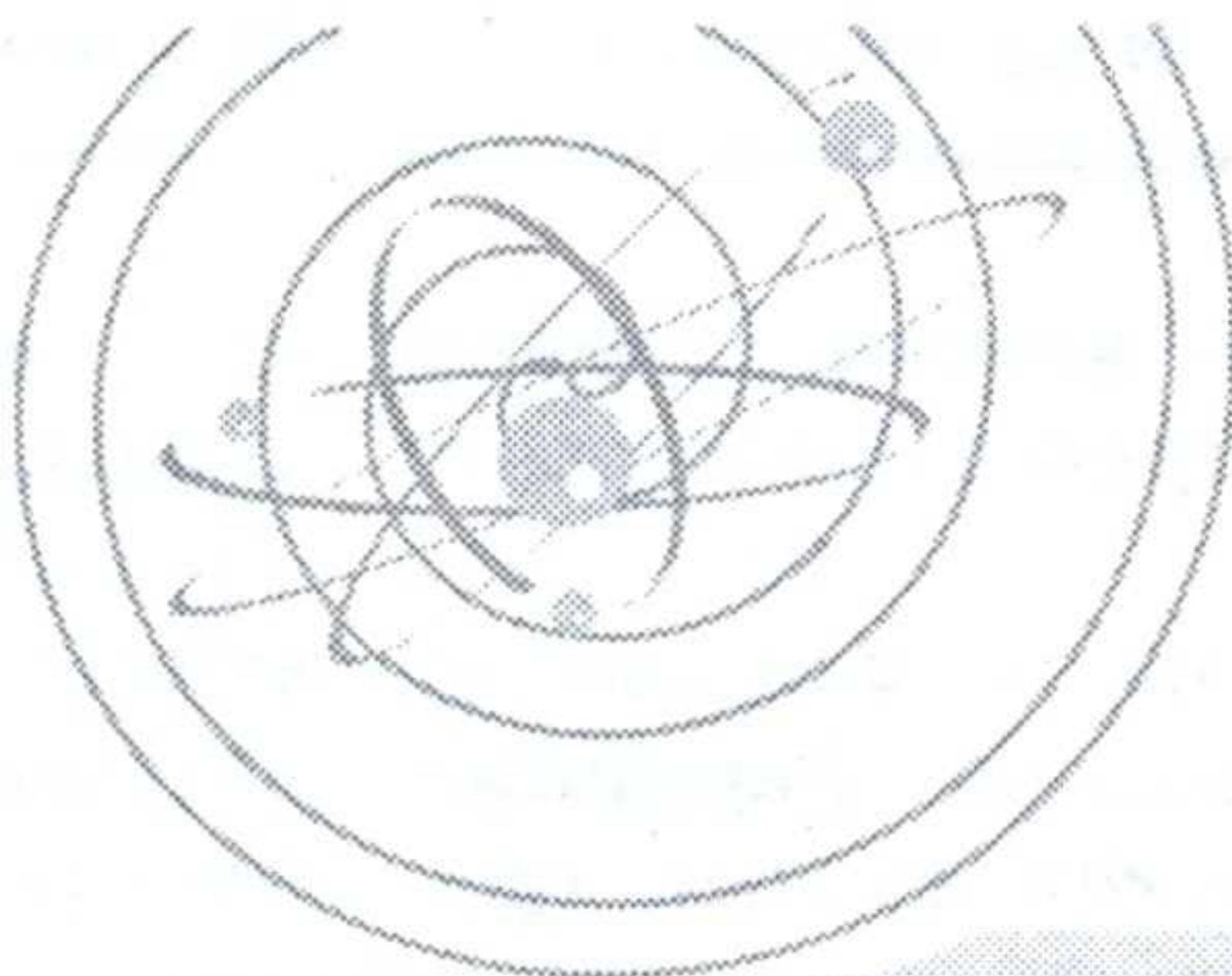
Памятные даты из истории астрономии на 2006 год

Голубев В. А., Галузо И. В.

Астрономические наблюдения в 2006 году

Змест часопіса «Фізіка: праблемы выкладання» за 2005 г.

Нашы аўтары



Вырошчаем таланты



XVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТУРНИР ЮНЫХ ФИЗИКОВ

(14—21 июля 2005 г., г. Винтертур (Швейцария))



А. И. Слободянюк, Л. Г. Маркович

XVIII Международный турнир юных физиков (International Young Physicists Tournament (IYPT)) принимал город Винтертур, расположенный в равнинной части Швейцарии в получасе езды на бесшумной электричке от Цюриха.

На «командный чемпионат мира» по физике съехалось 25 славных дружин из 23 стран мира и со всех континентов (разумеется, пока за исключением Антарктиды). На мировую физическую корону (а точнее, переходящий приз-символ победителя) претендовали школьники из Австралии, Австрии, Беларуси, Болгарии, Бразилии, Великобритании, Венгрии, Германии, Голландии, Грузии, Индонезии, Кении, Новой Зеландии, Польши, России (2 команды), Словакии, США, Украины, Хорватии, Чешской республики, Швейцарии (2 команды), Швеции, Южной Кореи. Интересно, что по правилам международного турнира 2 команды может выставлять только страна-организатор и Россия как страна, где в 1979 году родилось турнирное движение.

Согласно положению о Республиканском турнире юных физиков наша международная команда была сформирована по итогам подготовительных сборов, проходивших на базе физического факультета Белгосуниверситета в мае—июне 2005 года. На сборы были приглашены две лучшие команды из числа финалистов XIII Республиканского

турнира юных физиков, прошедшего в феврале—марте 2005 года на базе лицея № 2 г. Минска.

Пользуясь случаем, от лица всех участников республиканского турнира хочется выразить сердечную благодарность коллективу лицея № 2 (директор — Г. Н. Богословова) и особенно кафедре физики лицея за теплый прием и нелегкий труд по организации турнира.

В XIII Республиканском турнире юных физиков приняло участие 18 команд из различных регионов Беларуси. Финальные результаты выглядели следующим образом:

№	Команда	Результат
1	Лицей БГУ – XI кл.	293,7
2	СШ № 51 – X кл.	289,1
3	СШ № 51 – IX кл.	269,4

Таким образом, Беларусь на XVIII Международном турнире юных физиков в Швейцарии представляла сборная команда школьников в следующем составе:

1. Глебов Артем (XI кл., лицей БГУ)
2. Соколов Евгений (капитан)
(XI кл., лицей БГУ)
3. Анищенко Иван (XI кл., лицей БГУ)
4. Ермольчик Виталий (XI кл., лицей БГУ)
5. Петров Алексей (X кл., СШ № 51
г. Минска)

Руководители команды: А. И. Слободянюк, Л. Г. Маркович (БГУ).

По традиции на торжественном открытии XVIII IYPT участников приветствовал своей яркой лекцией Нобелевский лауреат американский физик Ричард Эрнст.

Согласно правилам международного турнира все команды приняли участие в пяти отборочных физбоях, по результатам которых определялись финалисты.

Учитывая жесткую конкуренцию на турнире, тренерский штаб не без оснований, но с замиранием сердца ждал итогов боев. И ребята не подвели. После первого отборочного боя мы были десятыми (проба пера, т.е. языка!), после второго — пятыми (зной наших!), после третьего и далее до пятого — только вторыми (понравилось!).

К моменту определения финалистов (после 5 отборочных боев) верхняя часть итоговой таблицы XVIII IYPT выглядела следующим образом:

№	Страна	Результат
1	Германия	249,2
2	Беларусь	234,2
3	США	232,5
4	Австралия	232,4
5	Польша	232,1
6	Болгария	229,5
7	Бразилия	229,0
8	Новая Зеландия	228,4
9	Южная Корея	225,2
10	Словакия	224,7
11	Великобритания	221,0

Как видим, белорусские «рыцари» пропустили вперед всего одну команду — Германии.

Следует подчеркнуть, что в отборочных физбоях проявились не только высокий профессиональный уровень и прекрасный английский наших ребят, но и такие важные игровые качества настоящей команды, как сплоченность, взаимовыручка и взаимопонимание. Они дрались, как мушкетеры, под девизом «Один — за всех, а все — за одного!», с той лишь разницей, что шлаг у них было не четыре, а пять. Особенно отличились в физбоях Артем Глебов, Евгений Соколов, Иван Анищенко. Их взвешенные, доброжелательные, но в то же время критичные и предельно профессиональные выступления не раз заставляли

жюри поднимать высшие оценки, что, заметим, на турнирах такого ранга большая редкость.

Таким образом, в финале встретились три лучшие команды: Германии, Беларуси и США. Поскольку все они свободно говорили на английском языке, то настал момент истины, «физической истины», что, на наш взгляд, и должно превалировать в финале чемпионата мира. Все ждали настоящей, большой и красивой физики, достойной и бескомпромиссной борьбы, как это и положено рыцарским турнирам! Финал состоялся 20 июля в заполненном «под завязку» главном зале университета Цюриха.

Наша команда выбрала для финала насыщенный и зрелищный доклад Артема Глебова по задаче «Гидравлический прыжок». И здесь мы не прогадали — из всех докладов финала он был лучшим: по докладам американцы («Препятствие в трубе») отстали существенно, а немцы («Вращение мяча») совсем немного...

Наши нервы звенели, как струны, поскольку мы хорошо понимали, что немцы традиционно сильны в дискуссионных секторах турнира, т.е. в оппонировании и рецензировании по докладам. Они также отчаянно боролись за победу, не желая отпускать «птицу удачи» не меньше нашего.

После последней оценки стало ясно, что победителя определит какая-нибудь десятая доля балла. Судите сами:

№	Команда	Доклад	Оппонирование	Рецензирование	Σ
1	Германия	27,0	17,3	9,1	53,4
2	Беларусь	27,4	17,3	8,6	53,3
3	США	22,9	17,0	9,0	48,9

В этот раз фортуна улыбнулась Германии, немцы набрали 53,4 балла, а мы — 53,3.

До последнего момента мы надеялись на чудо, ведь уже неоднократно в финале присуждали два первых места, но... чуда не произошло. Диплом I степени и переходящий приз турнира был присужден команде Германии, а дипломы II степени — командам Беларуси и США.

По решению Международного жюри турнира 8 команд, следующих за финалистами, получили дипломы III степени.

Именно поэтому в итоговой таблице оставлено 11 команд — только те, которые отмечены дипломами.

Организаторы турнира позаботились о том, чтобы ребята не только напряженно поработали, но и хорошо отдохнули. Мы побывали на незабываемой экскурсии по швейцарским Альпам, где даже совершили маленькое восхождение на вершину Chli Sternen (1856 м). Прохладное дыхание веков почувствовали мы в старинном монастыре Einsiedeln, расположенном в предгорьях Альп. Он достаточно широко известен в Центральной Европе благодаря своей тщательно хранимой библиотеке, в которой представлены раритетные издания X—XI веков.

Запомнилась всем и пешая экскурсия по чудесному Цюриху, где экскурсоводы провели нас по ленинским местам, показали дорожки, по которым ходил А. Эйнштейн, церковь, которую расписал М. Шагал. Можно сказать, что на этой экскурсии мы прикоснулись к ожившей истории.

Неизгладимое впечатление на всех произвело посещение швейцарского технопарка «Технорама», где на пяти этажах огромного здания сосредоточены действующие демонстрации опытов, явлений, физических эффектов по всем разделам физики. Все это можно (и по замыслу организаторов нужно!) трогать руками, пытаться объяснять, регулировать, не переставая удивляться, удивляться и еще раз удивляться! Мы убедились, что в каждом ребенке или взрослом живет естествоиспытатель, которому здесь не хватило бы даже целого дня для реализации своих смелых замыслов.

Следующий Международный турнир юных физиков пройдет в июле 2006 года в Словакии (г. Братислава). Всех желающих отправиться туда мы приглашаем к участию в XIV Республиканском турнире юных физиков, победитель которого и будет представлять Беларусь на XIX IYPT.

Теперь немного о физике на турнире юных физиков.

По давно сложившейся традиции ежегодно Международный комитет предлагает 17 заданий, которые становятся известны

участникам в сентябре—октябре. Белорусский оргкомитет отбирает из этого списка 12, которые являются заданиями Республиканского турнира юных физиков. Таким образом, претенденты на участие в международном турнире имеют около 10 месяцев для подготовки, т.е. для решения предложенных задач. Уточним: слово «решение» в предыдущем предложении некорректно — эти задания полного и однозначного решения не имеют. С нашей точки зрения, они похожи на громадное поле для исследования, на котором каждый может найти свой «клад».

Работа над выполнением заданий долгая и кропотливая. Обычно мы начинаем с попытки экспериментально воспроизвести изучаемое явление, наглядно увидеть самые интересные, «эффектные» эффекты. Если это не удается (тем более, если удача улыбнется и что-то получается), то далее пытаемся понять, почему не получилось (или получилось), — построить самую простую теоретическую модель. После этого начинается целенаправленная работа над задачей. Обязательным пунктом такой работы является знакомство с литературой по исследуемой теме — не бывает заданий, возникших «на голом месте», по любому из них имеется громадный объем публикаций. В этом году наша команда по каждому заданию имела «твердые» копии не менее 10 работ, не говоря о фундаментальных трудах по соответствующим разделам физики.

Здесь хотим сделать очень существенное замечание: *INTERNET* — замечательная вещь, в этой «паутине» можно найти все что угодно, например, точный подсчет числа чертей, умеющих на острие иглы. Поэтому к данному источнику следует относиться с крайней осторожностью. Лучше пользоваться серьезными источниками (уважаемыми журналами, статьями известных авторов), ни в коем случае не ограничиваться одним источником, осмысливать полученную информацию — по меньшей мере она не должна противоречить законам физики.

В большинстве предлагаемых заданий построить строгую теорию явления не удается по целому ряду причин. Во-первых, математический аппарат участников турни-

ра, мягко говоря, далек от совершенства; во-вторых, не хватает многих исходных данных; в-третьих (и это главное), многие явления настолько сложны, непонятны, неожиданы, что такой теории никто пока построить не может. В такой ситуации приходится ограничиваться качественными рассуждениями или простейшими оценками. Из всех заданий, выполненных нашей командой в этом году, только в четырех была построена достаточно строгая математическая теория.

Отметим, что члены нашей команды достаточно активно пользовались компьютерным пакетом «Mathematic». С нашей точки зрения, этот подход к математике чреват определенными опасностями: часто теряется смысл получаемых результатов, отбиваются навыки самостоятельного выполнения математических выкладок, наконец, не всегда пакеты прикладных программ дают верный результат — а как его проверить?

Таким образом, основным методом выполнения заданий турнира является экспериментальный. Кто использовал этот метод, знает, что проведение экспериментов чрезвычайно сложное дело, особенно в обычном школьном кабинете с его допустимым обустройством. Тем не менее в этом году большинство экспериментов было проделано на высоком уровне: использовалось оборудование лабораторий физического факультета; помог прекрасный набор датчиков, позволяющих автоматизировать компьютерную обработку (этот комплект закуплен лицеем БГУ год назад); широко применялась видеосъемка с последующим покадровым просмотром; ряд приборов и некоторые материалы появились неизвестно откуда (думаем, что без родителей здесь не обошлось). Все же главная причина успеха экспериментальных исследований заключалась в невероятной трудоспособности членов нашей команды: все эксперименты повторялись неоднократно с варьированием условий проведения, максимально возможным диапазоном изменения параметров и т.д. Отметим, что общее число измерений в каждой задаче исчислялось сотнями.

Наконец, непосредственная подготовка докладов также потребовала немало време-

ни. Первая сложность — успеть за 10 минут сказать обо всем, что сделано за полгода, ведь хочется рассказать даже о том, как ничего не получалось. Второе — перевод на английский: несмотря на «хвастовство» по поводу знания языка, думаем мы пока все же на русском. Третье — доклад должен сопровождаться иллюстративным материалом. Ко всем докладам в этом году были подготовлены компьютерные презентации, а это тоже непростая задача. Надо отметить, что наши авторы прекрасно с ней справились, большинство слайдов были просто красивыми, не говоря уже о насыщенном физическом содержании.

Хотим подчеркнуть, что в отличие от прошлых лет основная работа по выполнению заданий и подготовке докладов осуществлялась членами команды самостоятельно (возможно, даже излишне самостоятельно). Роль руководителей чаще всего сводилась к обсуждению постоянно возникающих по ходу работы проблем, помощи в добывании оборудования и учебной литературы, проведению некоторых математических расчетов (когда с ними компьютер не справлялся), подсказкам, что можно безболезненно (но с жалостью) выбросить из доклада, просто к моральной поддержке команды в те моменты, когда ничего не получается и не хватает времени (а его всегда не хватало).

Ниже приведены 17 заданий международного турнира. Конечно, не все они были выполнены — по правилам турнира можно безнаказанно отказаться от решения 3 задач. Но, даже не выполняя задания, все равно с темой надо познакомиться — а вдруг придется ее рецензировать! Провозившись с решениями (или хотя бы с консультациями) почти полгода, возьмем на себя смелость дать к некоторым из них небольшие комментарии. Справедливости ради отметим, что ряд идей, высказанных в этих комментариях, позаимствован нами у других команд и их руководителей. Мы уверены, что сформулированные задания достойны того, чтобы служить темами для самостоятельной научно-исследовательской работы школьников, и надеемся, что наши замечания будут интересны и полезны.

Задания XVIII Международного турнира юных физиков (и комментарии к ним)

1. «Стрекоза». Предложите модель полета стрекозы. Исследуйте основные параметры модели и обоснуйте ее.

В нашей команде, к сожалению, не было представителей политехнической гимназии, поэтому эта инженерная задача оказалась нам не «по зубам». На турнире было представлено несколько моделей стрекоз, одна из них даже махала крыльями. Аэродинамика весьма популярна в заданиях турниров, но она слишком сложна для школьников и их руководителей.

2. «Два шара». Два шара, помещенные в наклонный желоб и касающиеся друг друга, иногда не скатываются вниз. Объясните явление и найдите условия его осуществления.

На первый взгляд это задачка из традиционного сборника, задача среднего уровня — кто не решал задачи про брусков на наклонной плоскости? Правда, здесь не наклонная плоскость, а желоб; не брусков, а шарик, и не один, а два. В остальном же все как обычно. Сделать рисунок, нарисовать все силы, записать уравнения второго закона Ньютона для каждого тела, в проекции на нужные оси, дополнить их неравенствами для силы трения несложно, и даже можно их решить (ответ в виде системы неравенств). Но слишком много варьируемых параметров (очевидные: два угла, два радиуса, две плотности, три коэффициента трения; скрытые — модули Юнга, коэффициенты трения качения и др.); слишком много вариантов (проскальзывает — не проскальзывает) — попробуйте все результаты представить в наглядной форме, а не в виде семимерной поверхности в восемимерном пространстве параметров. Эксперимент также прост (на первый взгляд) — сделал изгибающийся желоб (две деревянные дощечки или из пласти массы), закрепил его в штативе под нужным углом, положил в него два шарика и смотри, катятся или нет! Однако, сколько возможностей: сколько шариков можно найти (футбольный мяч, например, или глобус), а почему бы не использовать стеклянный желоб (мы использовали!), а как измерить

коэффициент трения шарика о шарик, а на всей ли поверхности шарика этот коэффициент постоянен, а есть ли момент силы трения в области соприкосновения и т.д. и т.п. Иными словами, если бы какой-нибудь комитет по науке и технологиям оплачивал — всю жизнь занимались бы этой задачей. Попробуйте, это просто!

3. «Лавина». При каких условиях может сойти лавина? Исследуйте явление экспериментально.

Слишком опасно изучать лавины, сколько людей уже погибло. Да и гор у нас в Беларуси нет, а командировки в Альпы не оплачивают. Попробовали, мука с кухонной разделочной доскисыпается, если ее наклонить, даже на лавину похоже. Но мука — это не снег. Но бывает красиво, можно повозиться!

4. «Гидравлический прыжок». Ровная вертикальная струя воды при попадании на горизонтальную поверхность растекается по ней радиально. При некотором значении радиуса наблюдается резкое увеличение высоты уровня воды. Исследуйте природу этого явления. Что произойдет при использовании жидкости с большей, чем у воды, вязкостью?

Доклад на эту тему звучал в финале турнира лицея БГУ, в модифицированном виде — в финале республиканского турнира, в усовершенствованной форме — в финале международного турнира. Поэтому мы выбрали его в качестве единственного примера выполнения задания. Его сокращенный вариант приведен ниже.

5. «Мираж». Создайте в лаборатории мираж, подобный тому, что можно наблюдать на дороге или в пустыне, и исследуйте его параметры.

Искривить световые лучи несложно (сложнее, чтобы они не искривлялись). На эту тему легкодоступной литературы — горы. Отметим существенные детали, на которые редко обращают внимание. Первое — не обязательно нагревать слишком сильно, для наблюдения эффекта наиболее существенна не разность температур, а ее градиент (скорость ее изменения в

пространстве), поэтому можно нагревать сверху, сбоку, можно и охлаждать. Второе — нельзя ограничиваться рассмотрением только хода лучей, нельзя забывать о формировании изображения с помощью линзы или глаза (хотя это тоже линза). В ряде книг так рисуют искривление хода лучей, что второго изображения не возникает. А почему обязательно исследовать мираж в воздухе? Можно и в воде, лучше всего в оргстекле. А еще показатель преломления зависит от концентрации примесей (например, от того, насколько посолен прозрачный бульон). В любом случае эта задача достойна того, чтобы ею заняться!

6. «Капелька». Капелька воды или другой жидкости, падающая на раскаленную поверхность, производит характерный звук. От каких параметров он зависит?

Звуки бывают разными, мы выделили два основных типа: «пиши...» и «дзинь». Первый есть всегда, а второй — когда сковородка маленькая, тонкая и сильно разогрета. Нам кажется, что в первом случае шипит пар, а во втором — звенит сковородка, этот звук такой же, как при ударе металлическим шариком. По-видимому (или по-слышимому), основную роль играет паровая подушка под капелькой. Можно, конечно, записать звуки, провести их спектральный анализ (мы сделали), но достаточно просто послушать — интересно, когда капелька бьет по сковородке так же, как молоток. Попробуйте!

7. «Живая пробка». Наполните ванну или раковину водой. Достаньте пробку и поместите пластиковый шарик над сливным отверстием. Со временем при вытекании воды шарик начнет колебаться. Исследуйте явление.

Конечно, прежде всего в сосуде должна образоваться воронка — вихрь, который может засасывать легкий теннисный шарик. Тема интересна и актуальна — воронка очень похожа на вихрь торнадо. Правда, торнадо поднимает предметы вверх, а воронка в ванне тянет шарик вниз. Многочисленные наши попытки (в разных сосудах, с разными отверстиями, с разным расходом воды и даже в ваннеджакузи) увидеть устойчивые колебания шарика не увенчались успехом. Положение

равновесия у шарика внутри жидкости есть, но оно неустойчиво, поэтому судорожные дергания шарика трудно назвать колебаниями. К слову, и другие команды не смогли найти такой режим движения. Тем не менее эта задача имеет два достоинства: во-первых, наблюдать завораживающее движение вихря можно часами; во-вторых, после проведения этих экспериментов пол в кабинете физики оказывается вымытым.

8. «Ветряной автомобиль». Сконструируйте автомобиль, движимый исключительно энергией ветра. Ваш автомобиль должен двигаться прямо против ветра. Определите КПД вашего автомобиля.

См. примечание к задаче 1. Но нужный автомобиль мы построили, его КПД, к счастью, оказался меньше 100 % (а может, к сожалению...).

9. «Звук в стакане» Наполните стакан водой. Положите в стакан чайную ложку соли и размешайте ее. Объясните изменение звука, производимого постукиванием ложки по стакану, в течение процесса растворения.

Удивительно, но действительно, стакан звенит, если его ударить металлической ложечкой. Не верите — убедитесь сами! Для того же, чтобы услышать изменение тона при изменении концентрации соли, нужно обладать утонченным музыкальным слухом или... иметь оборудование для измерения спектрального состава звука (микрофон и компьютер с соответствующей программой). Мы пошли по второму пути: после многочисленных «проб и ошибок» нашли стакан, звук которого оказался практически монохроматичным (с одной четко выделяющейся частотой), затем научились «стучать» так, чтобы получать нужный результат. Действительно, частота звучания незначительно изменяется, но не монотонно — сначала падает, затем растет. В ходе работы пришлось поразиться давно знакомому факту: в соленой воде скорость звука больше, чем в пресной (возьмите любой справочник), ведь ее плотность больше, поэтому скорость звука должна быть меньше!? В конце концов мы пришли к выводу, что слышимые изменения возникают из-за газовых пузырьков, появляю-

щихся в процессе растворения, и перешли к изучению звучания бокалов с сильно пузырящейся жидкостью с шампанским! Может, вам удастся найти что-то более интересное?

10. «Интенсивность потока». Приготовьте смесь железного порошка (железных опилок) и растительного масла. Соедините два контейнера пластиковой трубкой и позвольте смеси течь через нее. Создайте внешнее устройство для контроля интенсивности потока смеси.

Кому могла прийти в голову идея насыпать железные опилки в растительное масло? Разве что диверсантам-подпольщикам. Но с физической точки зрения задача оказалась крайне интересной. Указание на железные (не алюминиевые, не медные, не золотые) опилки прозрачно намекает на использование магнитного поля для регулирования (в английском языке слово «контролировать» может означать и «управлять») потоком жидкости. Действительно, если вокруг трубы намотать катушку и пропустить по ней ток, то скорость течения смеси уменьшается, причем при определенном значении силы тока в трубке образуется «пробка» из опилок. Результат неожиданный: если с одной стороны поле разгоняет железные частицы, то с другой их тормозит с такой же силой. Однако нам удалось объяснить наблюдаемые эффекты. Основная идея и ее реализация нам понравилась настолько, что по ее мотивам мы сделали задачу на республиканскую олимпиаду. В этой задаче есть все, что требуется от олимпиадной задачи: очевидные вступительные вопросы, ответы на которые должны дать практически все участники; целый каскад физических законов, необходимых для решения; модельные упрощения, избавляющие от непринципиальных математических трудностей; уравнения, которые решаются только приближенно; учет нелинейности, приводящей к неустойчивости и сингулярности (т. е. к проблеме в сосуде). Как отметил один из членов жюри, в этой задаче появляется «неожиданное нарушение симметрии». Впрочем, об этой и других задачах олимпиады мы собираемся рассказать в одном из ближайших номеров журнала, ведь сейчас мы

комментируем задания турнира. Поэтому наш совет: пилите, пилите железные гири, если жалко масла, то используйте опилки для традиционных демонстраций силовых линий.

11. «Водяные капельки». Если поток водяных капелек падает под малым углом на поверхность воды в сосуде, то капельки могут отскакивать рикошетом от поверхности воды и вращаться вокруг нее до тех пор, пока не сольются с жидкостью в сосуде. В некоторых случаях капельки остаются на поверхности воды значительное время. Они могут даже утонуть перед слиянием. Исследуйте эти явления.

В ходе работы над этим заданием мы выдвинули парадоксальную гипотезу о существовании поверхностного натяжения на границе воды (капельки) с водой (поверхности). Не верите? Нам удалось построить несколько вполне согласующихся между собой оценок коэффициента поверхностного натяжения на этой границе, на основании чего объяснили большинство полученных экспериментальных результатов. Предсказали (а затем подтвердили экспериментально), что поверхностно активные вещества (т. е. моющие средства) значительно увеличивают время жизни капелек на поверхности воды! Существенное обстоятельство — время жизни капельки на поверхности воды является случайной величиной, поэтому для экспериментального определения этой величины пришлось проводить множество измерений. Более того, наши ребята построили гистограммы распределения времени жизни при различных температурах, а для каждой такой диаграммы потребовалось измерить время жизни не менее 500 (пяти сотен!) капелек. Отметим, что все эти измерения были проведены с помощью видеокамеры. Некоторые снимки настолько эффектны, что могут украсить не только доклад, но стены галереи. В целом тема очень интересна.

12. «Вращение мяча». Вращение может использоваться для изменения траектории полета мячей в спорте. Исследуйте движение вращающегося мяча, например, для настольного или большого тенниса, и определите влияние на него существенных параметров.

Влияние вращения на полет мяча обусловлено давно известным и подробно исследованным эффектом Магнуса. Почитать об этом явлении интересно, особенно в применении к футболу, теннису, гольфу... Также легко его продемонстрировать, особенно за теннисным столом. Но провести систематические экспериментальные исследования в школьной лаборатории затруднительно, даже если использовать аэродинамические весы: надо измерять скорость вращения (конечно, сначала шарик надо раскрутить), скорость воздушного потока и диаметр шарика. Мы, как и многие другие команды, сосредоточились также на компьютерном моделировании траекторий движения — это несложно, но каким-то образом их предсказать и даже классифицировать затруднительно. Ну а право выдать набор рекомендаций по использованию данного эффекта в спортивных соревнованиях мы представили команде Германии, которая докладывала эту работу в финале турнира.

13. «Твердый крахмал». Смесь крахмала (кукурузной, рисовой, овсяной муки) и небольшого количества воды имеет некоторые интересные свойства. Исследуйте, как меняется «вязкость» подобной смеси при размешивании, и объясните этот эффект.

В течение последних десяти лет ни один турнир не обходится без изучения так называемых неньютоновских жидкостей. Приведенная задача на эту же тему. Поразительно, но она оказалась самой популярной на турнире, не минула и нашу команду. Все докладчики демонстрировали неожиданные свойства крахмальной «кашицы» (обращаем внимание — не клейстера, нагревать смесь не надо): из нее нетрудно скатать быстрыми движениями рук шарик (колобок), он выглядит да и ведет себя как достаточно твердый, но если оставить его в покое, то он рас текается, как жидкость (настоятельно рекомендуем попробовать). Вторая демонстрация также неожиданна: по кашице в чашечке можно ударять твердым предметом (здесь команды отличились разнообразием — стучали молотком, кулаком, металлической ложкой), при этом крахмал ведет себя как твердое тело, если же на него надавить не сильно, но мед-

ленно, то он слабовольно растекается. Очень важно в этой задаче дать собственное определение вязкости, а измерить ее нетрудно: мы вспомнили об экспериментах Джоуля по размешиванию воды в стакане, но вместо воды стакан заполнили крахмальной кашицей. Неизвестно, как вы оцените эту тему для исследований (она достойна того), а жюри турнира оценило наш доклад достаточно высоко.

14. «Опыт Эйнштейна — де Гааза». Если приложить вертикальное магнитное поле к металлическому цилинду, подвешенному на нити, то он начнет вращаться. Изучите это явление.

Наверно, можно польстить своему самолюбию и заочно выступить соратником самого Альберта Эйнштейна. Опыт описан в любом учебнике физики и, на первый взгляд, повторить его несложно: железный стерженек в магнитном поле действительно может дергаться, дрожать, дребезжать, но вращаться не хочет. Рекомендуем почтить об этом эксперименте (в авторском исполнении), а затем попытайтесь его повторить, только не забудьте избавиться от внешних магнитных полей, хотя бы от поля Земли.

15. «Оптический тунNELНЫЙ ЭФФЕКТ». Возьмите две стеклянные призмы, разделенные маленьким промежутком. Исследуйте, при каких условиях свет, падающий под углом больше критического, не будет полностью отражен внутри призм.

Открывайте учебник оптики в разделе «отражение и преломление света», читайте о формулах Френеля, о существовании поля за границей полного отражения — там все расписано строго и точно, вплоть до конечных формул. Правда, при проведении экспериментов возникает одна проблема: зазор между призмами должен быть меньше длины волны — сильно сжав призмы, такого добиться несложно, но как его изменять и измерять? Мы пошли по другому пути: исследовали явление в микроволновом диапазоне с помощью восковых призм — получилось неплохо. Жюри даже посчитало, что совсем хорошо.

16. «Препятствие в трубе». Сыпучий материал «вытекает» из сосуда наружу через воронку. Исследуйте, возможно ли

увеличение выходного потока сыпучего материала посредством помещения «препятствия» над выходным отверстием.

Несмотря на то, что в финале республиканского турнира «малыши»-девятиклассники представили красивый доклад на эту тему, мы все же отказались от работы над ней, может и зря... Во-первых, препятствие в трубе действительно может увеличить скорость высыпания сыпучего материала. Во-вторых, качественно это явление вполне объяснимо: внутри появляются прочные структуры типа арок и сводов (их изящно продемонстрировала в финале команда США с помощью поляризованного света и «высоких» технологий), а при высыпании образуются зоны застоя (которые были показаны нашими «малышами»). Наконец самое интересное: эта неодушевленная проблема, оказывается, имеет непосредственное отношение к людской толпе в панике — поведение индивидов в такой ситуации подобно поведению крупиц. Поэтому перед узким выходом (в нужном месте) полезно установить препятствие в виде столба. И если вы захотите заняться этой проблемой, то не паникуйте...

17. «Океан “Солярис”». В прозрачный сосуд, наполовину заполненный насыщен-

ным солевым раствором, аккуратно добавляют пресную воду. При этом образуется четкая граница раздела между жидкостями. Исследуйте поведение границы раздела при нагревании нижней жидкости.

Любопытно, что самым сложным дополнительным вопросом по этой теме оказался вопрос о названии задачи — почти никто не читал роман С. Лема и не видел его экранизации. Сама же проблема так же, как и другие, не нова — подобные явления происходят в океане при смешивании теплой (около 4 °C) соленой воды и холодной пресной воды, образующейся при таянии айсбергов. Для воспроизведения этих океанических явлений в стеклянной банке рекомендуем, во-первых, не пересолить ее (слово «насыщенный» в условии явно лишнее), во-вторых, подкрасить соленую воду (например, марганцовкой), в-третьих, лучше добавлять соленую воду в пресную аккуратно с помощью шприца. После этого можно слегка подогревать банку и наблюдать, как граница начинает колебаться, затем на ней появляются всплески, которые сначала поднимаются, а затем опускаются, — красиво. Для того же, чтобы теоретически описать наблюдаемые явления, необходимо совсем немного — построить теорию конвекции...

Глебов Артем. «Гидравлический прыжок»

Доклад команды Беларуси по задаче № 4 (с некоторыми сокращениями)

Условие задачи приведено выше.

По условию требуется изучить природу явления. С нашей точки зрения, это значит: определить причину и условия образования прыжка,

качественно описать его структуру, создать математическую модель явления и предсказать с ее помощью параметры прыжка.

В нашем исследовании мы придерживались экспериментального подхода, поэтому в докладе нашли отражение только те явления, которые непосредственно наблюдались на опыте.

Для постановки опытов мы собрали экспериментальную установку, ключевыми элементами которой являлись насадка с

круглым выходным отверстием, создающая цилиндрическую струю, и горизонтальная стеклянная пластина, размерами 40 на 50 см, на которую эта струя падает. Насадка с помощью шланга подключалась напрямую к водопроводному крану, который позволял регулировать расход жидкости в довольно широких пределах.

В первую очередь мы выяснили, при каких условиях возможно образование гидравлического прыжка. Как оказалось, решающим фактором в этом случае является высота внешнего по отношению к прыжку слоя воды, при этом интервал, в пределах которого может существовать прыжок, ограничен как сверху, так и снизу.

При уменьшении внешней высоты вплоть до нуля радиус увеличивается и стремится к бесконечности, то есть фактически прыжок не образуется.

Напротив, при увеличении высоты слоя прыжок уменьшается в размерах и при достижении некоторого предельного значения высоты смыкается. Используя покадровый анализ экспериментальной видеозаписи, мы смогли построить график зависимости радиуса прыжка от высоты внешнего слоя (рис. 1). Кроме того, мы исследовали зависимость предельного значения внешней высоты от объемного расхода жидкости в струе, что позволило построить диаграмму существования прыжка, где по оси абсцисс откладывался объемный расход, а по оси ординат — соответствующее предельное значение внешней высоты (рис. 2). Определенная комбинация расхода и высоты приводит к образованию прыжка в том случае, если соответствующая ей точка лежит внутри заштрихованной области.

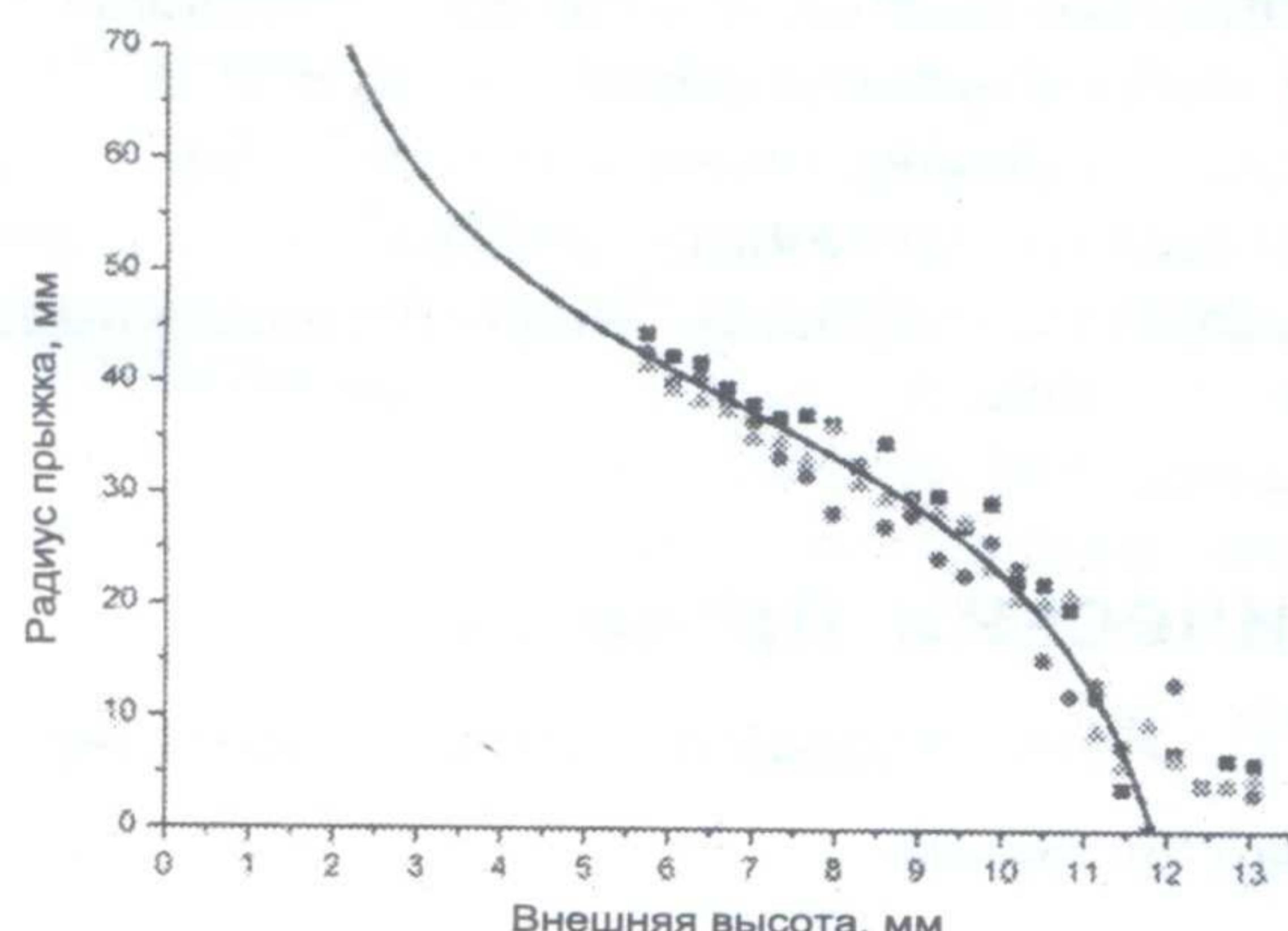


Рис. 1

Какими причинами обусловлено возникновение гидравлического прыжка? Для ответа на этот вопрос необходимо понять, как движется жидкость вблизи прыжковой области. С этой целью мы добавляли в воду марганцовку и по поведению окрашенной жидкости судили о направлении и величине скорости в различных точках течения.

С удивлением мы обнаружили, что, кроме очевидного радиального растекания жидкости от струи, существует и обратное ее движение — к прыжку. В гидродина-

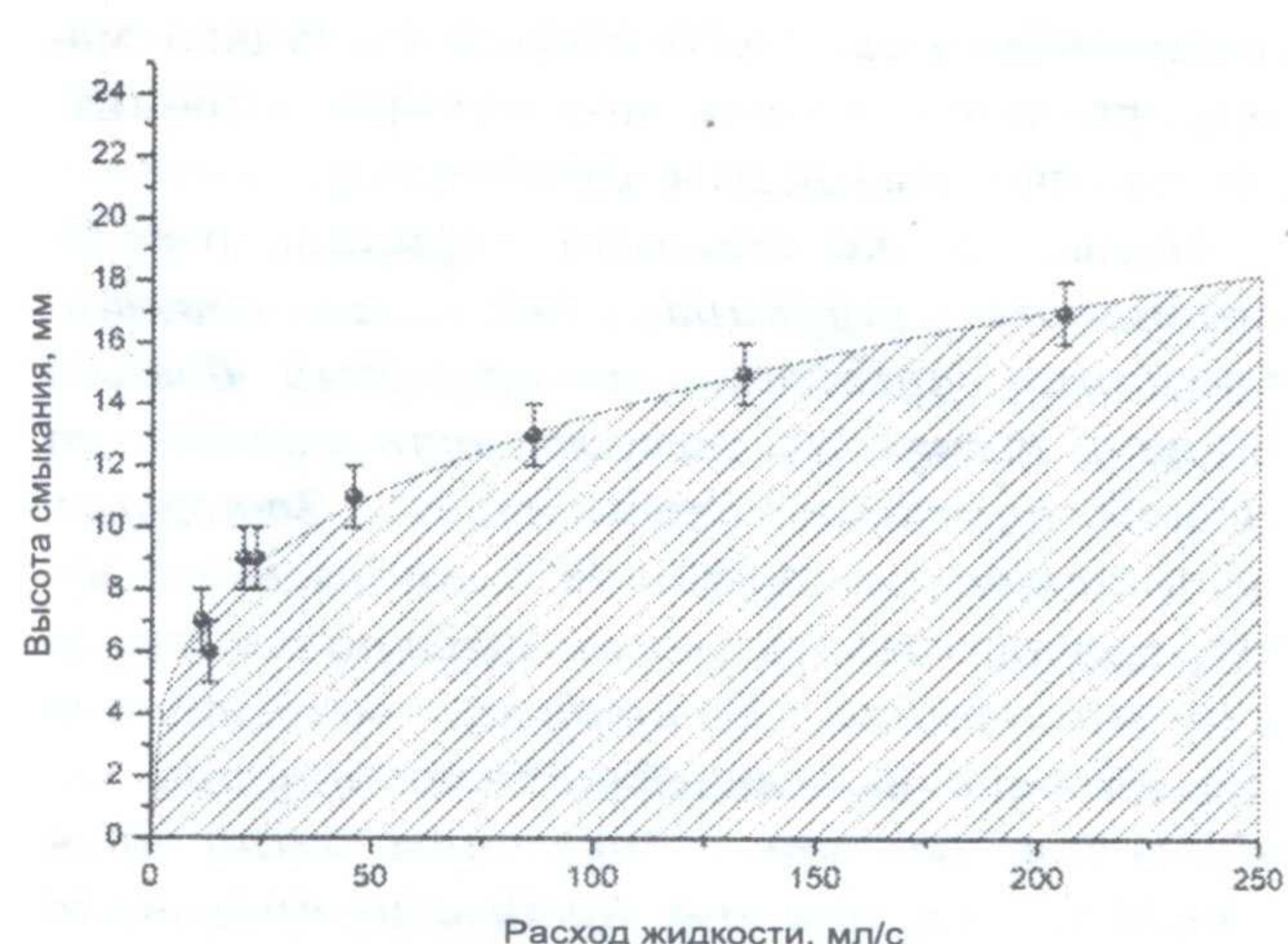


Рис. 2

мике возникновение обратного тока связывается с разделением пограничного слоя и его отрывом. Поэтому мы предположили, что именно пограничные явления будут определяющими в образовании прыжка.

На наш взгляд, механизм его образования следующий. При радиальном растекании по поверхности толщина слоя жидкости убывает по мере удаления от струи. В какой-то момент она достигает критического значения, по порядку величины равного толщине пограничного слоя. При этом резко увеличившееся влияние вязкости приводит к значительному уменьшению скорости потока. Из условия неразрывности потока высота слоя жидкости при этом резко возрастает, и, как следствие, пограничный слой разделяется, образуя обратное течение.

Объяснив причину образования прыжка, мы изучили зависимость основного его параметра — радиуса — от свойств жидкости и параметров струи.

В первую очередь мы сравнили прыжок, возникающий при использовании воды, и прыжок, образующийся с применением более вязкой жидкости. Для этого, конечно, пришлось применить несколько иную установку, в которой шланг с насадкой подключался к резервуару с маслом, высоту которого можно было варьировать. В качестве рабочей жидкости мы избрали подсолнечное масло, измеренная вязкость которого почти на два порядка больше вязкости воды. Результат оказался достаточно предсказуемым. Характерный

радиус масляного прыжка составил 3 мм, в то время как для воды соответствующее значение — около 5 см, т.е. на порядок больше.

Таким образом, при использовании более вязкой, чем вода, жидкости прыжок становится меньше и стабильнее, чем водный.

Далее было проведено исследование явления при различных диаметрах падающей водной струи. Радиус изменялся благодаря применению насадок с различными диаметрами выходных отверстий: от 2 до 10 мм. Прямой зависимости между радиусом прыжка и диаметром струи не наблюдалось, зато четко прослеживалась зависимость радиуса прыжка от расхода жидкости. На графике (рис. 3) вы можете видеть, что зависимость эта одинакова для всех насадок. Для построения данного графика было проведено порядка 600 измерений — по 10 для каждой точки.

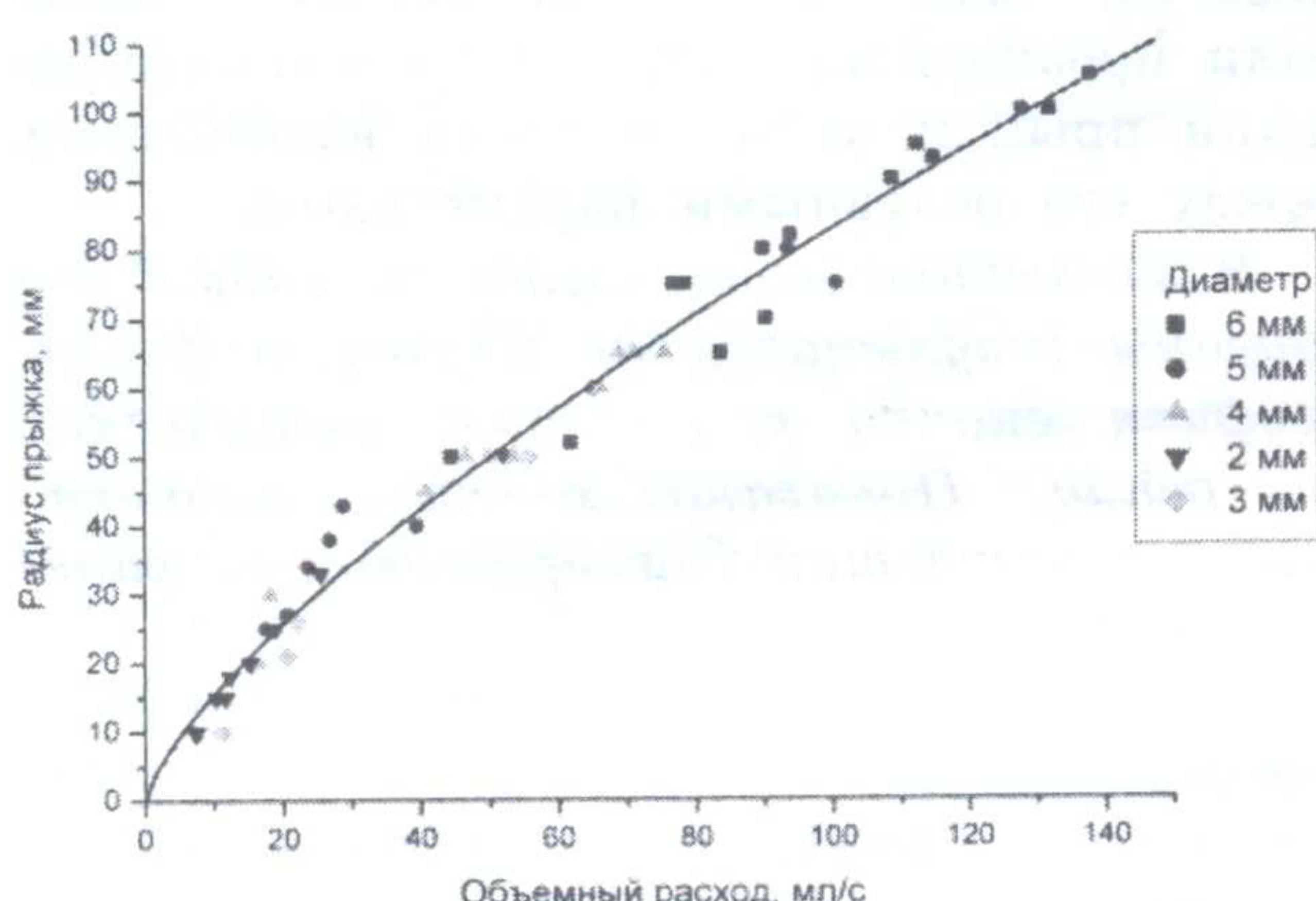


Рис. 3

Ввиду сложности взаимодействий, имеющих место в данном явлении, для создания его математической модели нам пришлось выйти за рамки школьного курса математики и перейти на язык дифференциальных уравнений.

Далее был проведен качественный анализ уравнений Навье — Стокса, дополненных уравнением неразрывности. Даже в приближении несжимаемости жидкости полученная система уравнений в данном случае не имеет аналитического решения. Используя методы теории подобия, удалось показать, что зависимость радиуса скачка от объемного расхода имеет степенной вид с показателем степени 5/8.

Экспериментально определенный коэффициент степени в зависимости равен 0,73. Это значение достаточно близко к полученному теоретически и качественно с ним согласуется. Основными же причинами их численного несовпадения, на наш взгляд, являются:

- 1) неучтенные явления поверхностного натяжения,
- 2) поверхностные волны в системе,
- 3) нестабильность прыжка, который лишь с долей допущения может быть назван стационарным, например, из-за изменения расхода жидкости.

Погрешности наших измерений изменились от точки к точке, но в среднем составили 4 % для расхода и 7 % для радиуса прыжка.

Получив экспериментальное подтверждение нашей теории, мы решили не останавливаться на определении радиуса и описать также с помощью нашей модели течение внутри слоя жидкости и, кроме того, получить уравнение для профиля нашего потока.

После упрощения, достигнутого посредством пренебрежения малыми слагаемыми, была получена система уравнений, которые можно было решить численно.

Обратите внимание: первое уравнение совпало с уравнением Прандтля для ламинарного пограничного слоя. Это еще раз подтверждает нашу гипотезу о том, что пограничные явления доминируют в структуре течения.

Необходимо определиться с профилем скорости в сечении. Будем аппроксимировать его в виде полинома. Из граничных условий следует, что скорость потока на дне обращается в нуль, а на поверхности равна нулю ее производная по z . В добавок нами экспериментально доказано существование обратного тока жидкости вблизи дна. Описанными свойствами обладают полиномы третьей степени и выше. Поэтому распределение скорости в сечении представим в виде кубического полинома.

Далее была получена система уравнений для коэффициентов этого полинома.

Образованная система может быть решена численными методами, что и было реализовано на основе пакета Mathematica 5.0. В результате был построен профиль потока (рис. 4).

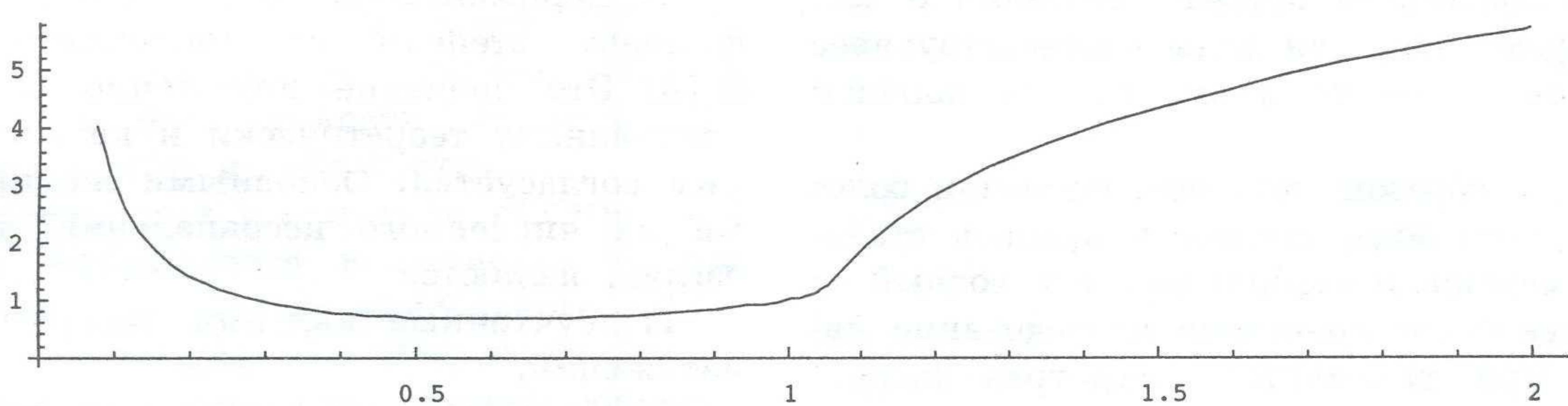


Рис. 4

Очередной проверкой теории стало построение трехмерной модели гидравлического прыжка, которая, как вы можете убедиться, хорошо соответствует действительности (рис. 5).

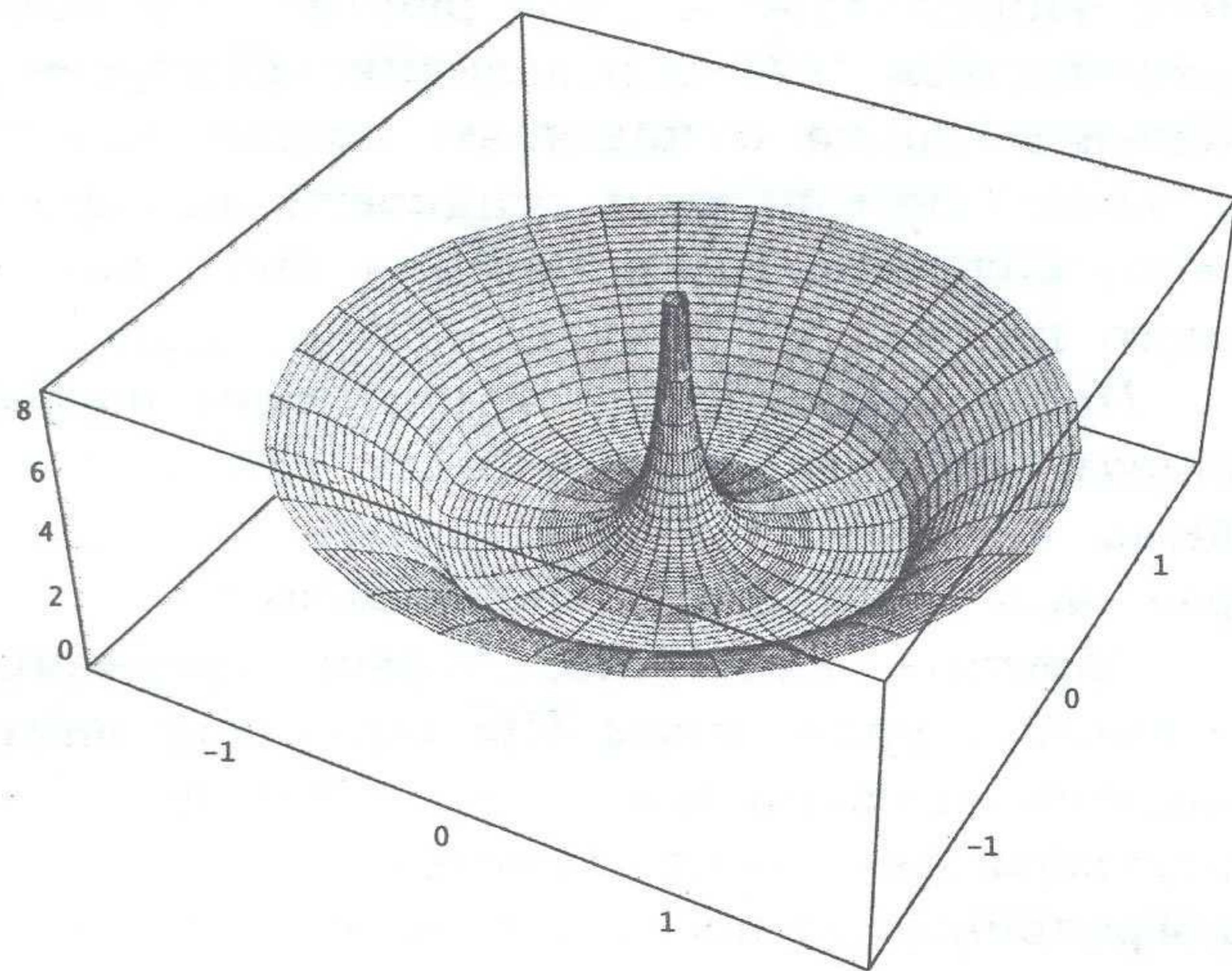


Рис. 5

Таким образом, нами было установлено, что гидравлический прыжок — явление, связанное с разделением пограничного слоя и образованием обратного тока жидкости. Было исследовано влияние вязкости, разработана математическая модель, описывающая поведение жидкости и адекватно прогнозирующая качественные зависимости, наблюдаемые на опыте. Также были проанализированы условия возникновения прыжка и установлена взаимосвязь между его основными параметрами.

В заключительной части доклада были описаны результаты по изучению формы профиля скачка с помощью оптических измерений. Показано хорошее соответствие с результатами проведенных ранее расчетов.