

## Физика капельницы

Носова А.В.

Физика и медицина

*Студент, 1 курс, Московский областной медицинский колледж, г.*

*Ногинск Московской области*

*Научный руководитель: Туманов В.Е., кандидат химических наук,  
преподаватель физики, Московский областной медицинский колледж, г.*

*Ногинск Московской области*

### Введение

*Капельница* – это медицинский инструмент, предназначенный для внутривенного введения жидкостей. Данное устройство позволяет осуществлять доставку лекарственных препаратов, питательных растворов и электролитов непосредственно в кровеносное русло пациента. Капельница состоит из: ёмкости для жидкости, трубки, клапана, 2 игл, фильтра и воздушного клапана (Рис. 1).



**Рисунок 1.** Общий вид капельницы.

Капельница прописывается в случае, если у пациента, обезвоживание, кровопотеря, дефицит питательных веществ, в лечебных целях, для поддержания жизненных функций, при обострении хронических заболеваний и в

послеоперационный период.

Первым прототипом современной капельницы считается разработка шотландского врача Дэвида Скотта в 1829 году. Он создал систему для медленного введения раствора хлорида натрия (физраствора) в вену, используя гравитационный поток [1, 2]. Существуют свидетельства того, что в древности (например, в Египте, Греции, Риме) могли использоваться примитивные методы введения жидкостей, возможно, через естественные отверстия организма или даже через простые иглы из костей или растений. Однако эти методы были скорее интуитивными и не имели под собой четкого научного обоснования. В Средневековье медицина была тесно связана с алхимией и астрологией. Попытки "трансфузии" (переливания) жидкостей, в том числе крови, предпринимались, но были крайне рискованными и часто приводили к летальным исходам. Основная цель была, скорее всего, мистической или религиозной, чем терапевтической.

XVII век стал переломным в развитии медицины, благодаря появлению более точных инструментов и развитию анатомических знаний. Первое переливание крови было проведено в 1667 году французским врачом Жаном-Батистом Дени, он стал первым человеком, который успешно провел переливание крови от овцы к мальчику. Это было революционным событием, хотя и оставалось очень рискованным. Позже были попытки переливания крови от человека к человеку, но они также сталкивались с серьезными проблемами, в основном из-за несовместимости групп крови, о которых тогда еще не знали.

Идея введения питательных растворов: Параллельно с исследованиями в области переливания крови, ученые начали задумываться о возможности введения не только крови, но и других питательных веществ, чтобы поддержать организм. Капельница развивалась все время, для того чтобы ее использование было безопасным и доступным [3]. На Рис. 2 показана капельница в рабочем состоянии.



**Рисунок 2.** Капельница в рабочем состоянии.

**Проблема исследования.** Какие законы и физические явления управляют работой капельницы (системы для внутривенного вливания растворов) и как эти законы можно использовать для точного регулирования скорости инфузии, предсказания поведения капель и предотвращения осложнений (например, образования воздушных пузырей или некорректного дозирования)? Ответ на это вопрос является важной научно-практической задачей, решение которой позволяет и далее совершенствовать работу этого прибора.

**Актуальность.** Инфузионная терапия — один из базовых методов медицинской помощи [3]. Несмотря на кажущуюся простоту конструкции капельницы, её работа определяется множеством физических процессов.

**Цель настоящего исследования** – определить и охарактеризовать основные физические законы, которые работают в системе капельницы.

**Задачами исследования являются:**

- Выполнить обзор литературы по физике жидкостей, применительно к работе капельницы;

- Выделить возможные перспективы для совершенствования медицинских капельниц.

**Объектом исследования** является капельница. **Предметом исследования** являются физические законы, действующие в капельнице.

**Гипотеза исследования.** Из анализа литературных источников следует, что поведение жидкости в капельнице определяется взаимодействием гидростатического давления, вязкостного сопротивления потока (закон Пуазейля) и поверхностных явлений, отвечающих за образование капли. Следовательно, при фиксированных параметрах жидкости (вязкость, поверхностное натяжение) скорость и объём капли можно предсказать и управлять ею посредством изменения геометрии трубки (диаметр, длина), высоты подвеса резервуара и температурного режима. Поэтому поставленная цель может быть достигнута с помощью анализа литературных источников.

### **Методы исследования**

1. Комплексный метод: сочетание теоретического анализа, размерностного анализа и эксперимента [4].
2. Сравнение результатов с предсказаниями классических уравнений (Пуазейль, Бернулли) и современными моделями каплеобразования [5].
3. Обзор литературы [5].

### **Основная часть**

Функционирование инфузионной системы, или капельницы, основано на фундаментальных законах физики, которые обеспечивают контролируемую подачу жидкости в организм пациента.

#### **1. Закон гидростатического давления**

Именно сила гравитации, создающая давление столба жидкости, «заталкивает» лекарство в кровоток. Это один из самых главных законов физики, который работает в капельнице. Гидростатическое давление – это давление, которое оказывает жидкость на любую поверхность, находящуюся на определенной глубине. Это давление прямо пропорционально плотности жидкости, ускорению свободного падения и глубине (высоте столба жидкости).

В капельнице:

- Контейнер с раствором подвешивается выше уровня тела пациента. Это создает столб жидкости, который оказывает гидростатическое давление на жидкость в трубке капельницы.
- Чем выше расположен контейнер, тем больше гидростатическое давление, и тем быстрее будет течь жидкость. Именно поэтому высота подвешивания контейнера регулируется для контроля скорости введения жидкости.
- Если контейнер опустить ниже уровня тела пациента, гидростатическое давление будет направлено в обратную сторону, и жидкость перестанет течь (или даже может начать оттекать из вены в капельницу, что недопустимо).

## 2. Принцип Бернулли

Принцип Бернулли описывает связь скорости потока, давления и высоты: в стационарном потоке идеальной (невязкой, несжимаемой) жидкости сумма статического, динамического и гидростатического давлений вдоль линии тока постоянна. Следствие: при увеличении скорости статическое давление падает.

В контексте капельницы:

- В резервуаре с инфузионным раствором давление относительно высокое благодаря столбу жидкости и атмосферному давлению.
- Когда жидкость проходит через суженную часть системы (например, трубку малого диаметра), ее скорость возрастает, что приводит к локальному снижению статического давления.
- Разница давлений между резервуаром и местом выхода жидкости является основной движущей силой, инициирующей и поддерживающей поток.
- При выходе жидкости скорость уменьшается, давление немного возрастает.

## 3. Вязкость жидкости

Вязкость – это внутренняя характеристика жидкости, отражающая её сопротивление деформации или течению под действием сдвигающих напряжений.

В капельнице:

- Растворы с разной вязкостью имеют разную скорость (более вязкий характеризуется меньшей скоростью течения, а менее вязкие текут быстрее).
- Влияет на скорость образования объем капель, и на общее время инфузии.

#### **4. Закон всемирного тяготения Ньютона**

Закон гласит, что все тела, обладающие массой, притягиваются друг к другу. На Земле это проявляется как сила тяжести, которая сообщает объектам ускорение свободного падения.

В капельнице:

- Сила тяжести действует на весь объем инфузионного раствора в контейнере. Это создает гидростатическое давление, которое пропорционально высоте столба жидкости, ее плотности и ускорению свободного падения.

#### **5. Поверхностное натяжение**

Поверхностное натяжение – это феномен, обусловленный когезионными силами между молекулами жидкости, который приводит к минимизации площади свободной поверхности жидкости. Это свойство проявляется как тенденция жидкости вести себя подобно растянутой эластичной мембране.

В капельнице:

- На выходе из трубки капельницы силы поверхностного натяжения играют доминирующую роль в формировании капель.
- Размер и частота образования капель зависят от величины поверхностного натяжения инфузионного раствора (например, 20 капель/мл для макрокапельниц и 60 капель/мл для микрокапельниц)

#### **6. Закон Пуазейля**

Закон описывает зависимость скорости потока жидкости в трубе от давления, радиуса, длины трубы и вязкости жидкости.

В капельнице

- Этот закон важен для понимания того, как диаметр трубки капельницы влияет на скорость потока. Увеличение радиуса трубки даже незначительно (в четвертой степени!), значительно увеличивает скорость потока.
- Чем длиннее трубка, тем больше сопротивление и тем медленнее поток.

- Подтверждает влияние вязкости жидкости на скорость потока.

## **7. Атмосферное давление**

Атмосферное давление – это сила, оказываемая столбом газовой среды (воздуха) на единицу площади поверхности объектов, находящихся в пределах земной атмосферы.

В системе капельницы:

- Большинство контейнеров для инфузии\* имеют воздушный клапан, который позволяет воздуху извне попадать внутрь по мере опустошения контейнера. Если бы воздух не поступал, внутри контейнера создавался бы вакуум, который препятствовал бы вытеканию жидкости, даже если бы он висел высоко. Атмосферное давление снаружи давит на жидкость через это отверстие, помогая ей вытекать.

- Кровь в венах пациента тоже находится под давлением. Чтобы раствор попал в вену, давление в системе капельницы должно быть выше, чем давление в вене.

Инфузия\* - метод медленного введения вещества в форме раствора в сосудистое русло человека

## **8. Капиллярный эффект**

Капиллярный эффект – это способность жидкости подниматься/опускаться в очень узких трубках (капиллярах) без воздействия внешних сил или даже против них. Зависимость от диаметра: чем уже трубка, тем сильнее эффект.

Работа в капельнице:

- Капиллярный эффект проявляется в формировании мениска (изогнутой поверхности жидкости) в узких местах, например, на границе воздуха и жидкости внутри трубки или на конце иглы.

- Критическая роль в фильтрах (особенно воздушных): Это наиболее важное применение капиллярного закона в капельнице! *Гидрофобные<sup>\*1</sup> воздушные фильтры. Эти фильтры сделаны из материала, который является гидрофобным и имеет очень мелкие поры. Благодаря капиллярному эффекту.*

- Первичное заполнение трубок: Когда вы впервые заполняете сухую трубку, капиллярные силы помогают жидкости "подняться" по стенкам, прежде чем она начнет течь под действием гравитации.

### 9. Сообщающиеся сосуды:

Больничные капельницы работают по принципу сообщающихся сосудов. Сообщающиеся сосуды – два или более сосуда, соединенных в нижней части.

В капельнице:

- Больничные капельницы работают по принципу сообщающихся сосудов: лекарство само перетекает с нужной скоростью благодаря разнице уровней. [2]

### 10. Адгезия и когезия

Адгезия – это способность материала прилипать к поверхности другого материала.

- Притяжение между молекулами жидкости и молекулами материала капилляра.

Когезия – это прочность тела и его способность противостоять внешнему воздействию.

- Притяжение между молекулами одной и той же жидкости.

Что происходит:

Если адгезия больше когезии (например, вода в стеклянной трубке), жидкость "прилипает" к стенкам и поднимается, образуя вогнутый вверх мениск.

Если когезия больше адгезии (например, ртуть в стеклянной трубке), жидкость "отталкивается" от стенок и опускается, образуя выпуклый вверх мениск.

---

<sup>1</sup> **Гидрофобность** – это физическое свойство молекулы, которая «стремится» избежать контакта с водой. **Гидрофобные** молекулы обычно неполярны и не способны образовывать водородные связи с молекулами воды.

## **11. Закон сохранения энергии:**

Энергия не создается и не уничтожается, а переходит из одной формы в другую.

В капельнице работает, как:

- Потенциальная энергия гравитации (высота ёмкости) превращается в кинетическую энергию движения жидкости и рассеивается в виде тепла из-за трения (вязкости) о стенки трубки.

## **12. Законы теплообмена**

Это определение, как тепло передается от одного объекта к другому.

В системе капельнице:

- Раствор в трубке и емкости стремится к температурному равновесию с окружающей средой и телом пациента.

## **13. Закон сохранения массы**

Гласит, что масса остается постоянной с течением времени, независимо от процессов, происходящих внутри системы.

В капельнице:

-Масса раствора в системе сохраняется: то, что вытекает из пакета за единицу времени, равно тому, что проходит по трубке и входит в вену.

- Масса жидкости, которая вытекает из пакета за единицу времени, будет равна массе жидкости, которая проходит через любую часть трубки за ту же единицу времени.

- Масса, которая покидает пакет, переносится в другую часть системы (в тело пациента), это прямое следствие о законе сохранения массы.

## **14. Принцип Архимеда**

Суть принципа Архимеда: Тело, погруженное в жидкость, испытывает выталкивающую силу, равную весу вытесненной им жидкости. Эта сила направлена вверх.

Как это работает в капельнице:

- Воздух значительно легче раствора. Если в трубку капельницы попадает воздушный пузырь, он будет испытывать выталкивающую силу, равную весу

вытесненного им раствора. Поскольку вес вытесненного раствора (который тяжелее воздуха) больше веса пузыря, эта выталкивающая сила заставляет воздушный пузырь подниматься вверх по трубке, против потока жидкости, если скорость потока не слишком велика.

### **15. Закон Генри**

Закон Генри гласит, что при постоянной температуре растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна парциальному давлению этого газа над поверхностью жидкости.

Применение в контексте инфузионных систем:

- Любой раствор, контактирующий с атмосферным воздухом в процессе производства или хранения, поглощает растворенные газы в соответствии с их парциальными давлениями в воздухе и температурой. Это означает, что стерильные растворы не являются полностью дегазированными, а содержат определенное количество растворенных газов в состоянии равновесия с окружающей средой.
- Концентрация растворенных газов в растворе будет соответствовать парциальным давлениям этих газов над жидкостью.
- Если условия в инфузионной системе изменяются так, что парциальное давление газа над раствором падает или температура раствора, то растворенные газы могут начать выходить из раствора, образуя микропузырьки.
- Прямое образование макроскопических воздушных эмболов чаще связано с механическим введением воздуха (из-за неполного заполнения системы). Знание этого закона помогает оценить потенциал для высвобождения газов из раствора в определенных условиях. Таким образом, Закон Генри является фундаментальным принципом, объясняющим поведение газообразных компонентов в жидких фармацевтических препаратах и учитываемым при разработке, производстве и безопасной эксплуатации инфузионных систем, хоть и не является доминирующим фактором при возникновении крупных воздушных эмболов.

### **Результаты и обсуждение**

В Табл. 1 систематизированы физические законы и явления, их действие в медицинской капельнице.

**Таблица 1.**

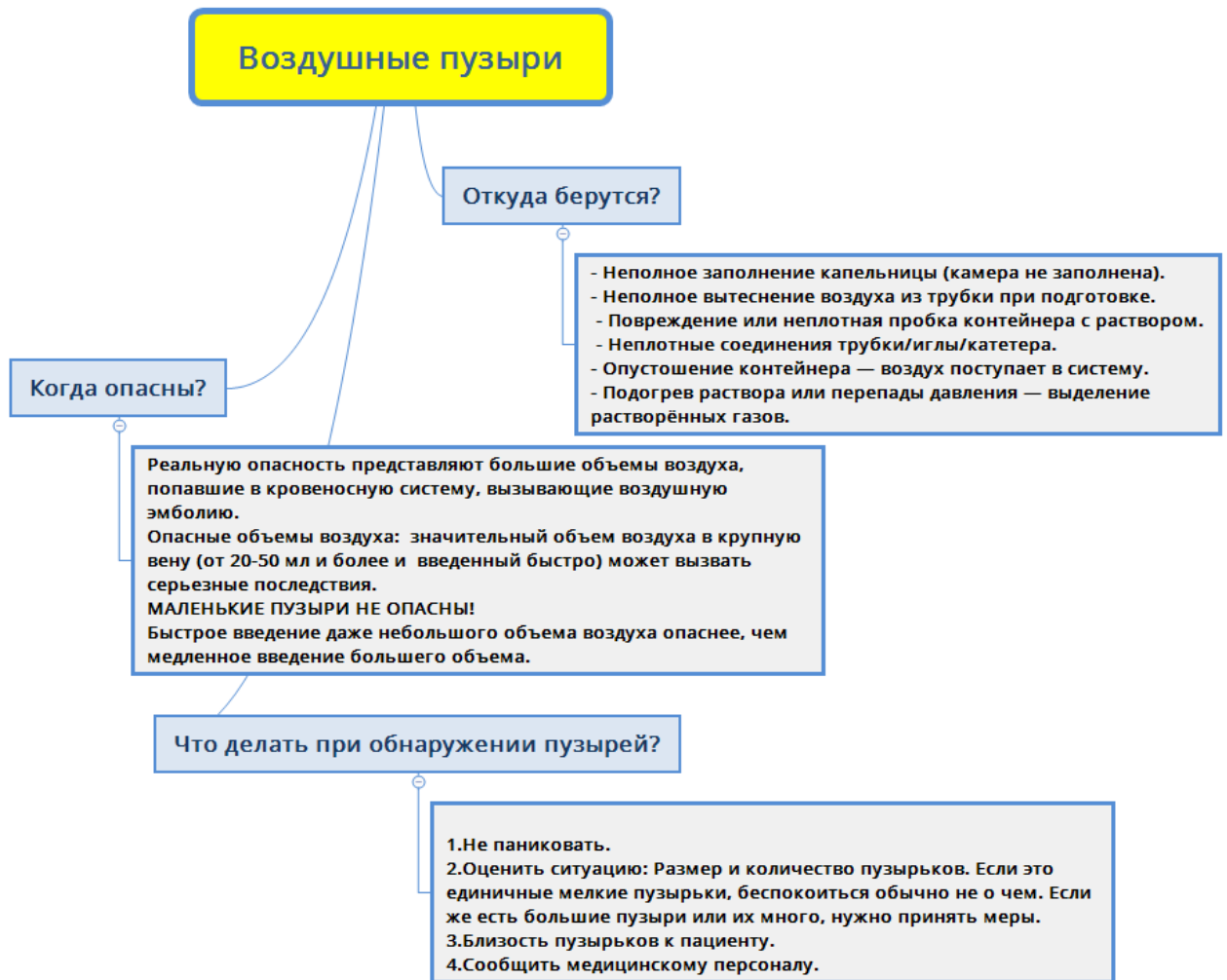
**Физические законы и явления в капельнице.**

№	Название закона / явления	Применение в капельнице
1	Закон гидростатического давления	Давление жидкости
2	Принцип Бернулли	Скорость и давление
3	Вязкость жидкости	Скорость потока
4	Закон всемирного тяготения Ньютона	Гравитация
5	Поверхностное натяжение	Формирование капель
6	Закон Пуазейля	Скорость потока в трубке
7	Атмосферное давление	Вход воздуха в систему
8	Капиллярный эффект	Мениски и первичное наполнение трубок
9	Сообщающиеся сосуды	Самостоятельное переливание жидкостей
10	Адгезия и когезия	Форма мениска
11	Закон сохранения энергии	Преобразование потенциальной энергии в кинетическую
12	Законы теплообмена	Терморегуляция раствора
13	Закон сохранения массы	Сохранение объема раствора
14	Принцип Архимеда	Выталкивание пузырей воздуха
15	Закон Генри	Растворённые газы

Воздушные пузыри в системе для внутривенной инфузии (капельнице) – распространенное явление, которое часто вызывает беспокойство у пациентов и медицинского персонала.

Воздушная эмболия – это состояние, при котором воздух попадает в кровеносные сосуды и блокирует кровоток. Это может привести к серьезным осложнениям, таким как: а) Инсульт: Блокировка кровотока в мозге; б) Инфаркт миокарда: Блокировка кровотока в сердце; в) Легочная эмболия: Блокировка кровотока в легких; г) Смерть: В тяжелых случаях.

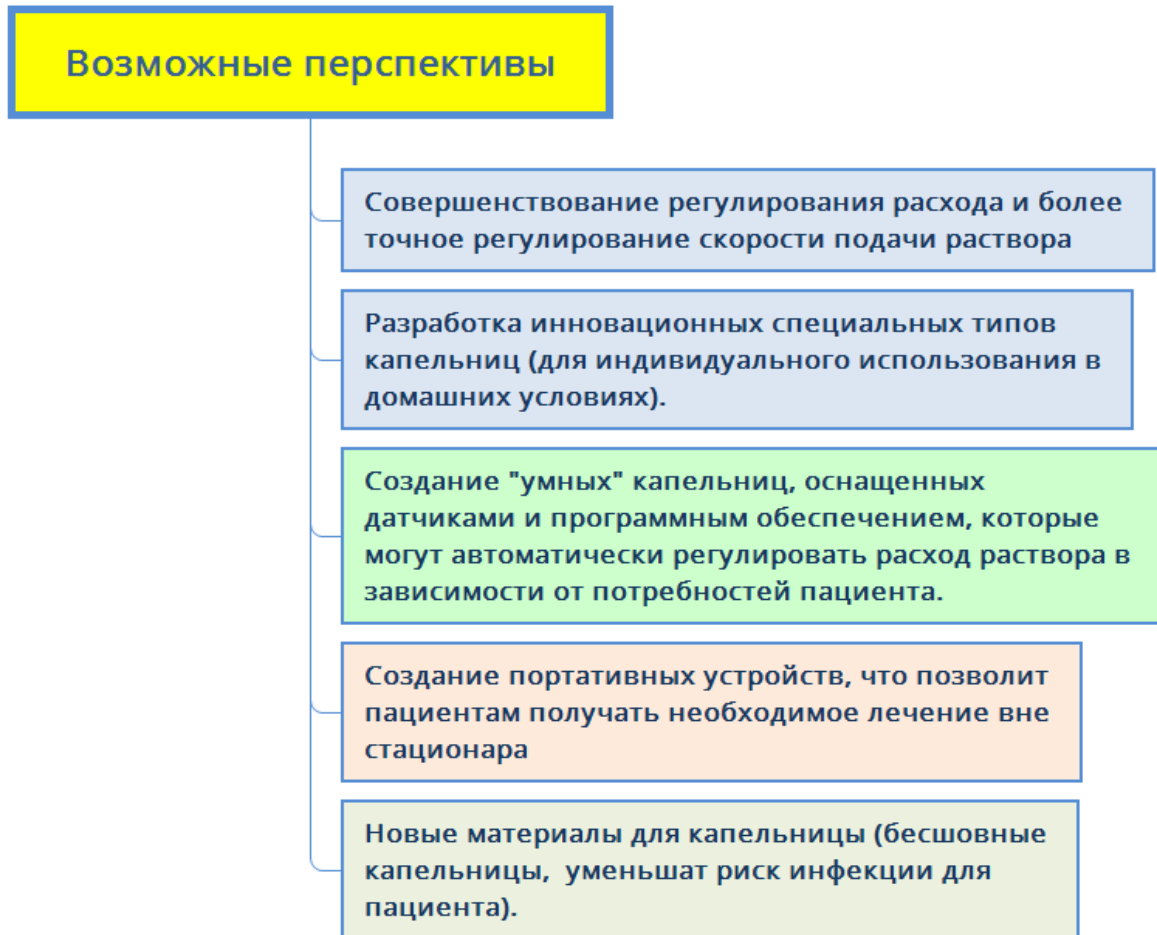
На Рис. 3 показано, откуда они берутся, когда представляют реальную опасность, а когда можно не волноваться.



**Рисунок 4.** Воздушные пузыри.

В работе [6] были рассмотрены физические принципы, лежащие в основе работы капельницы в ветеринарии, а именно, гравитационное давление, закон Паскаля, поверхностное натяжение и явление диффузии. Настоящая работа существенно расширяет перечень физических законов, работающих в медицинской капельнице.

На Рис. 4 представлены возможные перспективы использования проведенного анализа для совершенствования медицинских капельниц.



**Рисунок 4.** Возможные перспективы использования результатов работы для совершенствования медицинских капельниц.

### **Заключение**

Капельница работает за счет большого количества физических законов. Это не просто набор трубок и емкостей, а воплощение фундаментальных законов физики в повседневной медицинской практике.

Мы увидели, как сила тяжести и гидростатическое давление в сообщающемся сосуде служат основной движущей силой, обеспечивая непрерывное движение жидкости.

Закон Пуазейля объясняет, как точно регулируется скорость потока через диаметр трубки и иглы, а также через вязкость самого раствора, позволяя дозировать медикаменты с высокой точностью. Поверхностное натяжение отвечает за формирование каждой отдельной капли, а закон сохранения массы гарантирует, что каждый миллиграмм лекарства, покидающий флакон, в

конечном итоге достигнет пациента.

Так же поняли, что маленькие пузырьки не опасны для жизни человека.

### Список использованных источников

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика: Учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. — 4-е изд., перераб. и дополн. — М.: Дрофа, 2003. — 560 с.: ил.
2. «Кто изобрел медицинскую капельницу» [Электронный ресурс] <https://uniformed.ru/nash-blog/kto-izobrel-meditsinskuyu-kapelnitsu/>
3. Аганов А.В. Медицинская физика: учебное пособие / А.В. Аганов. – 3-е изд., доп. – Казань: Издательство Казанского университета, 2022. – Ч. 1: Механика. Молекулярная физика. – 336 с.
4. Комплексный метод исследования // Образовательный портал «Справочник». — Дата последнего обновления статьи: 06.12.2025. — URL [https://spravochnick.ru/psihologiya/kompleksnyy\\_metod\\_issledovaniya/](https://spravochnick.ru/psihologiya/kompleksnyy_metod_issledovaniya/) (дата обращения: 18.03.2026).
5. Дмитриенко Г. В. Методология и методы научных исследований: учебное пособие / Г.В. Дмитриенко, Д. В. Мухин. – Ульяновск :Ул ГТУ, 2021. – 225 с.
6. Шевелева В. Значение физики в ветеринарии // Социальная образовательная сеть [nportal.ru](http://nportal.ru). — Дата публикации статьи: 11.12.2024. — URL <https://nsportal.ru/shkola/fizika/library/2024/12/11/statya> (дата обращения: 18.03.2026).