

Гоголев Б.Б.  
Основы методологии научных исследований

В авторской редакции

Владимир  
2004

ББК 22.3

Гоголев Б.Б.

Основы методологии научных исследований: Учебное пособие.  
Владимир: ВлГУ,  
2004. 73 с.

В настоящем пособии рассматриваются методологические вопросы проведения научных исследований, представления полученных результатов и их оценки.

Пособие предназначено всем студентам, изучающим курс "Концепции современного естествознания".

ББК 22.3

© Гоголев Б.Б., 2004.

## **Введение**

В данном пособии излагается раздел курса "Концепции современного естествознания", являющийся чрезвычайно важным для понимания общенаучных и, как частный случай, естественнонаучных процессов, составляющих основу любого научного исследования.

Как показала практика преподавания курса "Концепции современного естествознания" эта часть курса вызывает серьезные затруднения при восприятии его студентами, не обладающими предварительной подготовкой, ввиду кажущейся отвлеченности.

Вместе с тем, излагаемые в этом разделе принципы являются основополагающими как при изложении курса, поскольку позволяют систематизировать естественнонаучные идеи, знания и теории, так и в практике любого научного исследования.

Поскольку курс "Концепции современного естествознания" читается перед студентами первого курса, имеющими определенный запас естественнонаучных знаний, что соответствует направленности школьной программы, но не обладающими навыками достаточно обоснованной и эффективной систематизации этих сведений, данный раздел должен явиться первым шагом в переходе к достижению систематизации получаемых научных знаний. Важным является понимание того, что в научной деятельности опасность представляет не столько недостаточность знаний по тому или иному вопросу, поскольку ее можно восполнить, сколько неосознание этого факта. Правильная оценка уровня своих знаний, понимание необходимости и направленности их совершенствования могут быть достигнуты только систематизацией, имеющей общенаучный характер.

Именно понимание методов систематизации знаний обеспечило основу эффективности современной науки вообще и естествознания в частности. Поэтому основной задачей предлагаемого пособия является достижение понимания студентами всей важности рассматриваемых вопросов.

Пособие является основой, которая связывает отдельные естественнонаучные идеи всего курса, образующие вместе с работой, проводимой на практических занятиях, и самостоятельной работой студентов, его содержательную часть.

## Методология научного исследования

Процесс познания, под которым понимается последовательно совершенствуемый процесс получения знания, исторически может быть разделен на три этапа:

1. Рационализация вообще, которая является общечеловеческим свойством и появляется вместе с человеком (донаучное знание),
2. Становление методологически осознанной науки (греческая наука),
3. Возникновение современной науки, утверждающейся с XVII века.

В основе современной науки, как и всей европейской культуры, лежит культура Древней Греции. Возникнув в Европе, наука распространилась по всему миру, став всеобщим достоянием, не зависящим от национальных религиозных и других локальных особенностей.

Развитие науки требовало совершенствования методов получения научных знаний. Приемы научного исследования совершенствовались, теоретически обосновывались, систематизировались, то есть сами становились предметом научного исследования. В результате формировалась методология науки.

Методология науки — учение о принципах построения, формах и способах научного познания; совокупность методов, применяемых в какой-либо науке.

Методологией также принято называть область знания, которая занимается изучением методов.

**Метод** (от греч. μέθοδος научное исследование, способ исследования), способ теоретического исследования или практического осуществления чего-либо; совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения чего-либо.

**Методология** (от метод и ...логия), учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности.

Методы познания, используемые в различных областях науки, то есть имеющие междисциплинарный характер, называются *общенаучными методами*. Методы, используемые только в рамках исследований какой-либо конкретной науки или какого-либо конкретного явления, называются *частнонаучными*.

Научные исследования принято разделять на *теоретические* и *эмпирические*.

Эмпирия (от греч. ἐμπειρία — опыт) — человеческий опыт.

Любое эмпирическое исследование имеет теоретическое обоснование и завершается выводами теоретического характера.

Основой любой современной научной дисциплины является ее методология; недостатки в методологии являются причиной погрешностей ее развития, в предельном случае – кризиса.

Кризис в науке не является чем-то исключительным или, тем более, неустранимым. Правда, это относится только к тем случаям, когда причиной кризиса являются внутринаучные явления. Внешние причины, вызванные непониманием окружением, взаимодействием с властью и т. п. не подлежат устранению научными методами и могут привести к непоправимым негативным последствиям.

## **Объекты научного исследования**

Фундаментальной характеристикой мышления является способность различать объекты и оперировать ими.

В зависимости от природы объектов и механизма их восприятия человеком объекты разделяют на:

- ✓ эмпирические и абстрактные,
- ✓ простые и сложные,
- ✓ непосредственно наблюдаемые и ненаблюдаемые

и другие виды объектов.

Основопологающим является разделение всех объектов на эмпирические и абстрактные.

*Абстрактные объекты* (идеи, сущности) тесно связаны с эмпирическими (материальными) объектами, вещами. В то же время между ними имеется принципиальное различие, о котором говорил еще Платон: "Вещи можно видеть, но не мыслить, идеи же, напротив, можно мыслить, но не видеть".

*Эмпирические объекты* существуют в пространстве и во времени, они доступны человеку в чувственном восприятии, в то время как абстрактные объекты не обладают пространственно-временными характеристиками и доступны человеку как нечто понимаемое, но не воспринимаемое органами чувств. Например, натуральные числа 1, 2, 3 – это абстрактные объекты, которые можно понять умом, но нельзя увидеть, в то время как цифры арабские или латинские – простейшие наблюдаемые эмпирические объекты, используемые с целью указания на соответствующие абстрактные числа.

По вопросу о природе или *онтологическом статусе* абстрактных объектов еще в средние века сформировались три основных подхода:

- ✓ номинализм,
- ✓ концептуализм и
- ✓ реализм.

Согласно *номинализму* (от лат. *nomen* — имя, название), никаких абстрактных объектов (универсалий, общих понятий) нет, а есть лишь имена, обозначающие сходные между собой эмпирические предметы.

Согласно *концептуализму* (от лат. *conceptus* — мысль, понятие, представление), под абстрактными объектами нужно понимать лишь "образы многих вещей", существующие в сознании конкретного человека.

Согласно *реализму*, абстрактные объекты – это особые умопостигаемые объекты, существующие вне времени и пространства, но вместе с тем определенным образом характеризующие эмпирические (пространственно-временные) объекты.

С современной точки зрения концепция реализма в отличие от номинализма и концептуализма на протяжении всего периода становления логики как науки являлась плодотворной основой для разработки логических учений, ставших впоследствии классическими.

В XX веке концепция реализма трансформировалась в концепцию *логического реализма*, суть которой состоит в следующем:

- 1) идеи (эйдосы, универсалии, общие понятия и т. п.) – это объекты, поскольку они представляют собой нечто целостное, на что можно указывать с помощью различных символов;
- 2) идеи – это абстрактные (умопостигаемые) объекты, являющиеся непосредственным содержанием человеческого мышления и принципиально отличные от эмпирических объектов;
- 3) в логике, прежде всего, важен не вопрос о первичности или вторичности абстрактных объектов по отношению к эмпирическим объектам, а сам факт принципиального различия между ними (вопрос о первичности или вторичности абстрактных объектов относится к сфере компетенции логической метафизики, которую без ущерба для понимания можно оставить за скобками практической логики).

Существуют две разновидности абстрактных объектов:

- ✓ *понятия (свойства) и*
- ✓ *отношения.*

Понятия могут быть разделены на:

- ✓ *простые и*
- ✓ *сложные.*

Сложные понятия представляют собой множество относительно более простых понятий (простых свойств) с множеством отношений между ними.

Более сложными по отношению к понятиям абстрактными объектами являются *суждения*, структурными элементами которых являются понятия и отношения между ними. Суждения являются в свою очередь

структурными элементами *умозаключений* (систем суждений), а умозаключения – структурными элементами *концепций* и *теорий* (систем умозаключений).

## **Логика как средство формирования методов научного исследования**

### ***Определение логики***

Сложно дать удовлетворительное определение логики как научной дисциплины. Так, если принять определение "Логика — наука о мышлении", то нельзя понять, чем логика отличается от философии и психологии, поскольку и философия и психология также являются науками о мышлении.

Поэтому прибегают к неформальному, поясняющему определению логики, основанному на определении объектов, изучаемых логикой с указанием их отличия от объектов, изучаемых другими науками.

Можно сформулировать несколько таких *объектных* определений логики.

Поскольку логика изучает наиболее общие, универсальные отношения и взаимосвязи между абстрактными объектами, то ее *объектное* определение может быть следующим.

#### *Определение 1*

*Логика* — наука об универсальных (общезначимых) взаимосвязях между понятиями, суждениями, умозаключениями и другими абстрактными объектами.

Абстрактные объекты выступают в качестве непосредственного содержания человеческого мышления, в качестве того, что интуитивно понимается как формы и методы рационального мышления. Поэтому можно дать *гносеологическое* определение, производное от объектного определения 1.

#### *Определение 2*

*Логика* — наука об общезначимых формах и методах рационального мышления.

## **Разделы логики**

Наиболее доступны человеческому пониманию простые суждения, элементарные умозаключения. В естественном языке такие простые суждения представлены предложениями (высказываниями), рассматриваемыми лишь с точки зрения их истинности или ложности, а умозаключения – соответствующими системами высказываний. В соответствии с этим раздел логики, в котором изучаются такие суждения и умозаключения, получил название "логика высказываний".

Более сложным объектом исследования являются суждения, рассматриваемые с учетом их внутренней структуры. Раздел логики, в котором изучаются не только связи между суждениями, но и внутренняя понятийная структура суждений, получил название "логика предикатов".

Предметом изучения третьего раздела логики является вся сфера отношений в целом, все те универсальные отношения, которые могут иметь место между понятиями, суждениями, умозаключениями, а также символами, их обозначающими. Этот раздел получил название "Металогика".

Логика предикатов представляет собой расширение логики высказываний а металогика – расширение логики предикатов.

## **Место логики в системе наук**

Несовпадение предмета изучения логики с предметом естественных наук, таких, например, как физика, химия или биология, достаточно понятно. Трудности в понимании предмета логики возникают, в основном, при сравнении ее с философией, психологией и математикой, так как философия и психология традиционно считаются науками о мышлении в его различных аспектах, а математика, так же как и логика, изучает общие взаимосвязи между определенными абстрактными объектами.

В отличие от *философии*, которая часто определяется как "наука об общих принципах природы, общества и мышления", логика не изучает непосредственно ни природу, ни общество, логика не изучает чисто субъективные, иррациональные аспекты человеческого мышления. Современная символическая логика в процессе изучения рационального мышления использует не только естественный язык, но и различные формальные языки, различные методы дедуктивной формализации знаний. В этом смысле можно сказать, что логика есть не что иное, как формализованная философия рационального мышления.

*Психология* в отличие от логики непосредственно изучает не абстрактные объекты, не собственно рациональное мышление, а те эмпирические объекты, в которых первоначально проявляется (воплощается) мышление человека. Такими объектами являются *перцепции* (сенсорные обра-



зы), образующие в своей совокупности то, что принято называть сознанием конкретного человека.

Предметная область *математики* является частью предметной области логики. Еще Г.В. Лейбницем (1646 – 1716) был выдвинут тезис о том, что математика есть часть логики. Впоследствии Г. Фреге (1848 – 1925) показал, что основные понятия арифметики и классической теории множеств могут быть сведены к логическим понятиям. В начале XX века в связи с обнаруженными парадоксами в основаниях классической теории множеств работы по сведению математики к логике были прекращены и затем снова продолжены лишь в 80-е годы. Помимо попыток логически обосновать математику происходит интенсивное проникновение математики в логику, совершенствуется формальный язык логики, разрабатываются точные алгоритмические методы логического вывода и доказательства, исследуются проблемы применения логики в информатике.

Таким образом, логика, с одной стороны, есть точная философская наука (формализованная философия рационального мышления), а с другой стороны, она все больше сближается с математикой как своей естественной составной частью.

### **Этапы развития логики**

Развитие логики можно разделить на три основных этапа:

- ✓ античная логика (около 500 до н. э. – начало н. э.),
- ✓ схоластическая логика (начало н. э. – середина XIX в.),
- ✓ современная, символическая логика (середина XIX в. – XX в.).

Основателем античной логики считается **Парменид**.

**ПАРМЕНИД** (Parmen...doj) (540 – 480 до н. э.) из Элеи (Южная Италия; по Аполлодору, акмэ 504—501 до н. э.), древнегреческий философ, основоположник *элейской* школы.

Его сочинение – поэма "О природе" (название позднейшее, сохранилось около 160 стихов) состоит из вступления и двух частей, соответствующих путям познания: "Путь истины" и "Путь мнения".

Теоретически возможны два пути познания: 1) признать существующим то, что есть; 2) признать существование того, чего нет. Первый из них — путь истины, второй должен быть отброшен, поскольку "то, чего нет, нельзя ни познать, ни высказать": отрицание существования чего-либо предполагает знание о нём, и тем самым предполагает его реальность. Кроме двух альтернативных путей есть еще один, по которому блуждают невежественные люди, полагающие, что нечто может быть и не быть одновременно, — вероятно, это "путь мнения", соответствующий чувственному опыту. Не доверяя ни зрению, ни слуху, нужно с помощью только рассудка

(логоса) оценить приводимую аргументацию и признать единственно верным путь "есть". Из этого выводятся все характеристики истинного бытия: оно не возникло, неуничтожимо, непрерывно, единственно, неподвижно и нескончаемо (во времени). Оно неделимо и однородно, т. к. признание неоднородности или дискретности потребовало бы допущения пустоты (того, чего нет), оно вечно пребывает на одном и том же месте, ни в чём не нуждается, лишено чувств, качеств и любых процессов изменения.

По мнению Парменида, чувства – источник недостоверных мнений, в то время как источником истинного знания является разум, рациональное мышление. Парменид считал, что в мире истинного знания нет ничего относительного, все неизменно и абсолютно. Впервые поставив вопрос о необходимости рационального обоснования материального мира, отвергнув тезис об изменчивости и противоречивости всего существующего, Парменид вошел в историю философии и логики как основатель *метафизики* (учения о первоначалах и основных принципах бытия) и предтеча *рационализма* (учения о познаваемости мира с помощью разума и о самом разуме как источнике истинного знания).

Второй крупный представитель античной логики – ученик Парменида **Зенон Элейский** (около 490 – около 430 до н. э.). Сформулированные Зеноном парадоксы ("Ахиллес и черепаха", "Стрела" и др.) на протяжении столетий стимулировали развитие философии и логики.

Значительный вклад в античную логику внесли **Платон** (427 – 347 до н. э.) и **Аристотель** (384 – 322 до н. э.), написавший шесть основных трактатов по логике, известных под общим названием "Органон". Аристотель впервые сформулировал *принцип тождества*, *принцип непротиворечивости*, *принцип исключенного третьего*, открыл силлогизм и разработал целостную теорию умозаключений. Вклад Аристотеля в логику был настолько существенным, что долгое время он считался родоначальником и основным творцом всей логики. Такое представление об Аристотеле неточно. Если иметь в виду понимание метафизических основ логики, то в этом отношении Аристотель не смог превзойти своего учителя Платона. Как заметил один из создателей современной символической логики, Бертран Рассел, "метафизику Аристотеля, грубо говоря, можно описать как разбавленные здравым смыслом взгляды Платона".

Еще один крупный представитель античной логики **Хрисипп** был главой философской школы стоиков и вместе со своими учениками разработал логическое учение (так называемую логику стоиков), явившееся исторически первым вариантом логики высказываний. Именно стоики придали термину "логика" смысл, близкий современному пониманию (сам термин впервые использовал **Демокрит** в сочинении "О логическом, или О

правилах"), в то время как Аристотель вообще не использовал термин "логика" в своих сочинениях, придавая ему смысл, близкий смыслу современного термина "диалектика".

В средневековый период исследуются главным образом философские основания логики, понимание же проблем логического вывода, методов и приемов логического доказательства не выходит за пределы аристотелевской силлогистики. В этот период логика развивается преимущественно в рамках *схоластики* – средневекового учения о единстве идеализма и рационализма, возможности синтеза религиозных постулатов и принципов рационального мышления. По мнению схоластов, в частности итальянского философа и теолога **Фомы Аквинского** (1225—1274), есть две основные разновидности знаний: *рациональное знание* (приобретаемое с помощью разума, рационального мышления) и *сверхрациональное знание* (приобретаемое путем сверхрациональной интуиции, откровения). В соответствии с таким разделением схоластическая логика (в отличие от схоластики в целом) понималась как наука только о рациональном знании.

Первым крупным представителем схоластической логики является Р. Декарт (1596 – 1650). По мнению Декарта, основной источник знаний не эмпирический опыт, а разум (в этом он близок Пармениду), а главный метод получения достоверных знаний не *индукция* (переход от частного к общему), а *дедукция* (переход от общего к частному). Декарт считал, что *интуиция* и *дедукция* — два наиболее верных способа познания, сверх которых ум не должен допускать ничего, подчеркивая при этом, что под интуицией он имеет в виду "не зыбкое свидетельство чувств... а понимание (*conceptum*) ясного и внимательного ума, настолько легкое и отчетливое, что не остается совершенно никакого сомнения относительно того, что мы разумеем". Декарт не написал каких-либо специальных сочинений по логике, однако высказанные им рационалистические идеи (в работах "Рассуждение о методе", "Правила для руководства ума", "Метафизические размышления" и др.) оказали значительное влияние на дальнейшее развитие логики. В частности, последователи Декарта А. Арно (1612 – 1694) и П. Николь (1625 – 1695) написали книгу "Логика, или Искусство мыслить", ставшую впоследствии одним из наиболее известных учебников по схоластической логике. Логическая концепция, изложенная в этой книге, получила название "логика Пор-Рояля".

Согласно этой концепции, логика является методологией всех других наук и как научная дисциплина разделяется на четыре части:

- ✓ учение о понятиях,
- ✓ суждениях,
- ✓ умозаклучениях,

✓ правилах и методах доказательства.

Такое понимание логики близко к современному.

Последний крупный представитель схоластической логики – немецкий ученый и философ Готфрид Вильгельм **Лейбниц** (1646 – 1716). Лейбниц впервые сформулировал *принцип достаточного основания*, высказал мысль о возможности логического обоснования математики, сформулировал глубокую метафизическую концепцию необходимости, возможности и случайности, указал на необходимость создания универсального формального языка логики.

Широкое признание логические идеи Лейбница получают лишь во второй половине XIX – начале XX века. В этот период работами многих ученых, прежде всего математиков, закладываются основы универсального формального логического языка. С созданием такого языка логика становится точной наукой и вступает в качественно новый этап своего развития – этап современной символической логики.

Первые практические шаги к созданию формального логического языка сделали Дж. Буль (1815 – 1864), А. де Морган (1804 – 1871), С. Джевонс (1835 – 1882), Э. Шредер (1841 – 1902), П.С. Порецкий (1846 – 1907) и другие ученые, разработавшие *алгебру логики* – математизированный (таблично-алгебраический) вариант логики высказываний.

Качественный скачок в развитии логики в начале XX века связан с именем немецкого ученого Готлоба **Фреге** (1848—1925). В работе "Исчисление понятий" Фреге построил аксиоматическое исчисление предикатов, в котором уже содержались все основные элементы современных логических исчислений, а в своем главном труде – "Основные законы арифметики" предложил вариант логической формализации арифметики. В серии логико-философских статей Фреге поставил ряд важных проблем *смысла* и *значения* обозначающих выражений, заложил основы современной *логической семантики*.

Обобщив опыт создания алгебры логики и опираясь на результаты, полученные Фреге, английские ученые А. Уайтхед (1861 – 1947) и Б. Рассел (1872—1970) в целях логического обоснования математики в книге "Principia Mathematica" формулируют один из наиболее полных вариантов формального языка современной символической логики. В первой половине XX в. немецкий ученый Давид Гильберт (1862 – 1943) положил начало формальной теории доказательств, появляются классические работы в области модальной логики (К. Льюис), теории моделей (Л. Левенхейм, Т. Скулем, А.И. Мальцев), логической семантики (А. Тарский, Р. Карнап, У. Куайн), теории алгоритмов (А. Тьюринг, С. Клини, А. Чёрч, А.А. Марков, А.Н. Колмогоров, П.С. Новиков и др.). Во второй половине XX века иссле-

дуются философские основания логики, расширяется ее применение в других науках. С конца 80-х годов XX в. логика находит все более широкое применение в информатике.

### **Диалектическая логика**

Неоднократно предпринимались попытки создать некую особую логику, в рамках диалектической философии, отличную от обычной формальной логики.

Под диалектикой обычно интуитивно понимается либо изменчивость, относительность, неабсолютность материального мира (так называемая диалектика жизни), либо философское учение о такой изменчивости (диалектическая философия). Поскольку логика непосредственно изучает не изменчивость эмпирических объектов, а универсальные взаимосвязи между различными абстрактными объектами, ни диалектика жизни, ни диалектическая философия не оказали сколько-нибудь существенного влияния на становление и развитие логики как точной науки.

Наиболее яркие примеры такого рода — *трансцендентальная логика* И. Канта (1724 – 1804) и *диалектическая логика* Г. Гегеля (1770—1831). Кант считал, что аристотелевская формальная логика изучает лишь *апостериорное* (опытное) знание и поэтому, как только она выходит за пределы эмпирических явлений, сталкивается с непреодолимыми противоречиями (антиномиями). Преодолеть подобные антиномии возможно, по мнению Канта, лишь в рамках особой, трансцендентальной логики, изучающей *априорные* (не зависящие от эмпирического опыта) формы мышления.

Однако такое противопоставление трансцендентальной логики аристотелевской формальной логике ошибочно. Канту так и не удалось создать трансцендентальную логику в качестве самостоятельной науки. Анализ его сочинений показывает, что трансцендентальная логика не что иное, как традиционная формальная логика с нетрадиционной терминологией.

Столь же бесплодную попытку превзойти обычную логику предпринял и Гегель, полагавший, что для решения глубинных метафизических проблем бытия и мышления недостаточна не только аристотелевская формальная логика, но и кантовская трансцендентальная логика. Так же как и Канту, Гегелю не удалось создать диалектическую логику в качестве самостоятельной науки. Но авторитет Гегеля как философа был настолько велик, что тезис о научной несостоятельности диалектической логики получил относительно широкое признание лишь во второй половине XX века, когда, с одной стороны, сама диалектическая логика продемонстрировала свою бесплодность, а с другой стороны, обычная формальная логика окон-

чательно трансформировалась в точную науку (современную символическую логику), выработав стойкий иммунитет против диалектики. В этой связи уместно отметить следующее.

Во-первых, в рамках диалектической логики не удалось сформулировать практически ни одного положения, являющегося действительно научным законом. Формулировки типа "закон единства и борьбы противоположностей", "закон перехода количественных изменений в качественные" являются научными законами не в большей степени, чем, например, выражения "нет правила без исключения", "противоположности сходятся", "все течет" и т. п., отражающие донаучное (обыденное) понимание человеком окружающей его действительности.

Во-вторых, логика, так же как и математика, непосредственно изучает не диалектику жизни, а абстрактные объекты, в сфере которых нет какого-либо движения или изменения. Логические законы столь же универсальны и абсолютны, как и математические (напр., законы арифметики). Поэтому бессмысленно говорить о каких-то особых диалектических законах, дополняющих обычные логические законы.

В-третьих, несостоятельны попытки определить диалектическую логику как науку о "законах развития человеческого мышления", о всеобщих "категориях и методах научного познания". О законах развития правомерно говорить лишь в том случае, если имеется в виду не абстрактное содержание, а сфера непосредственного эмпирического воплощения мышления (т. е. сфера сознания, субъективных представлений конкретных людей). Но такие "законы развития мышления" изучает конкретная наука — психология. Что касается всеобщих методов научного познания, то они отражают обычные логические законы рационального мышления и изучаются в рамках *логики науки* — одного из прикладных разделов современной символической логики. Таким образом, для диалектической логики нет места в системе уже известных наук о мышлении. Ее предмет исследования сводится либо к предмету психологии, либо к предмету обычной формальной логики.

## **Логика в России**

Первые сочинения по логике, появившиеся в России были переводами трудов Аристотеля. Начиная с XVII века логика преподается в гимназиях, университетах и духовных учебных заведениях в качестве общеобразовательной дисциплины. В XVIII веке значительное влияние на развитие логики в России оказал ученик и последователь Г.В. Лейбница немецкий философ-рационалист Христиан Вольф (1679—1754). Лекции Вольфа в Германии в Марбургском университете слушал М.В. Ломоносов (1711—1765), впоследствии написавший сочинение "Краткое руководство к красноречию" (впервые опубликовано в 1748 году), в котором изложил свое понимание основ логики применительно к риторике — искусству красноречия и аргументации. В дальнейшем "Краткое руководство..." использовалось в качестве общедоступного учебного пособия по практическому применению логики.

Первым печатным учебником по собственно логике явился учебник, написанный последователем Вольфа немецким философом и логиком Христианом Баумейстером (1708—1785). В переводе с немецкого "Логика Баумейстера" впервые была опубликована издательством Московского университета в 1760 году и затем несколько раз переиздавалась.

Вплоть до 1917 года логика успешно развивается и как научная, и как общеобразовательная дисциплина. На русский язык переводятся работы зарубежных ученых. Публикуются оригинальные логические работы и учебные пособия по логике М.И. Карийского, П.С. Порецкого, М.И. Владиславлева, А.Е. Светилина, А.И. Введенского, Г.И. Челпапова, С.И. Поварнина и других отечественных ученых.

После 1917 года логика под влиянием идеологических установок практически перестает существовать как общеобразовательная и научная дисциплина вплоть до 1946 года. В соответствии с принятым в 1946 году постановлением ЦК ВКП(б) "О преподавании логики и психологии в средней школе" в 1946/47 учебном году на философских факультетах крупнейших университетов начинается подготовка преподавателей логики для средней школы, а в 1947/48 учебном году в средних школах страны вводится преподавание логики в выпускных классах.

Но возрождение логики в России проходит в условиях жесткого идеологического контроля, основанного на догматических представлениях о том, что "преподавание логики должно быть партийным, коммунистически целеустремленным", что "диалектическая логика действительно существует и над ней надо работать" и что "задача заключается в том, чтобы полностью очистить... логику от идеалистических и формалистических

элементов". Процесс, возрождения логики как объективной науки вступил в противоречие с подобными догматами.

Проведенная в 1950 – 1952 годах на страницах журнала "Вопросы философии" дискуссия по вопросу о предмете формальной и диалектической логики завершилась в 1955 году итоговой статьей "Против путаницы и вульгаризации в вопросах логики", содержащей следующий вывод: "При помощи всякого крючкотворства... некоторые логики пытались убедить читателя в том, что... никакой диалектической логики не существует и быть не может... После окончания дискуссии они не только не сложили оружия, не только не отказались от своих ошибочных, немарксистских установок, но... развернули еще более активные действия, направленные против диалектической логики... Речь идет уже... о целой системе взглядов в логике, явно уклоняющихся от марксизма". С 1954/55 учебного года прекращается преподавание логики в школах. В том же году в большинстве вузов ликвидируются кафедры логики и прекращается подготовка преподавателей логики для школ. Лишь в нескольких учебных и научных учреждениях продолжалась подготовка специалистов по логике в эти и последующие годы. После состоявшегося в 1956 году XX съезда КПСС было вновь подчеркнуто, что "работа над диалектической логикой приобретает важное значение" в "плане преодоления" серьезных недостатков "в области разработки философских проблем". В этих условиях логика как объективная наука развивалась в дальнейшем преимущественно в качестве прикладной логико-математической дисциплины, далекой от философских и мировоззренческих вопросов.

Несмотря на все неблагоприятные обстоятельства, во второй половине XX века происходит интенсивное развитие отечественных исследований в области логики. Важный вклад в развитие логики в этот период внесли П.С. Новиков, А.Н. Колмогоров, А.И. Мальцев, А.А. Зиновьев, С.А. Яновская Н.И. Кондаков и многие другие. Вместе с тем преподавание логики по-прежнему велось на достаточно низком профессиональном уровне, и причем только в отдельных крупных институтах и университетах страны. Лишь в 90-е годы, после того как философия диалектического материализма утратила статус государственной идеологии, появилась возможность полноценного развития логики как научной и общеобразовательной дисциплины.



# Характеристика методов научного исследования

## **Моделирование**

Моделирование является одним из центральных универсальных понятий современной науки.

Объект как таковой не может являться предметом научного исследования. Он непознаваем, а научное исследование предполагает получение нового знания, определяемого задачами исследования.

Оно достигается, если объектом исследования становится модель реального объекта.

Теоретической основой моделирования является совокупность общих положений и приемов, в соответствии с которой осуществляется переход от реального объекта или явления к его модели.

Любой исследуемый объект воспринимается исследователем одновременно как процесс и как система, что и отражается в его модели.

Модель – это образ явления или объекта, наделяемый свойствами, наличие и изменение которых принимается существенным для проводимого исследования.

Модель является результатом целенаправленной деятельности исследователя. Она создается для выполнения определенных задач и изменяется с их изменением. Один и тот же объект на разных этапах исследования может быть представлен (и должен быть представлен) различными моделями. Построению модели предшествует формирование представления об исследуемом объекте, формулировка задач данного этапа исследования.

При моделировании объект исследования представляется в виде, пригодном для эффективного, целенаправленного исследования в соответствии с поставленными задачами.

Представление объекта как системы осуществляется в виде модели в том или ином языковом выражении. Вид модели изменяется в зависимости от цели определенного этапа исследования.

Таким образом, любое научное исследование сводится к анализу или синтезу модели системы, которой представлен исследуемый процесс.

Модели системы могут быть более или менее структурированными.

Исследуемая система может образовывать с другими системами более крупные системы. Например, систему хищник-жертва можно рассматривать как объединение двух систем, поскольку для определенных задач каждое из животных может быть представлено отдельной системой. Другой пример: человек-протез, в котором также можно выделить при необходимости две отдельные системы или рассматривать единую систему.

Способ представления модели – это ее языковое выражение.

Для эффективной работы с создаваемыми моделями систем чрезвычайно важен выбор языка модели.

В качестве языка модели может быть использован подъязык естественного языка, формальные языки, символические графические изображения, математические представления.

### **Формализация**

Под формализацией (от лат. forma – форма, вид, наружность) понимается прием в научном исследовании, заключающийся в представлении исследуемого абстрактного объекта в виде формальной системы с помощью символов. Это дает возможность отвлечься от содержательного описания и оперировать некоторым множеством символов, то есть знаков, несущих определенную смысловую нагрузку.

По языку представления объекта формализация разделяется на:

- естественная языковую и
- формальная языковую.

Простейший вид формализации – *дескриптивная* формализация или прямое описание (обозначение, именование) абстрактных объектов с помощью терминов. Например, в естественных языках роль таких терминов выполняют отдельные слова и выражения, а в математике – цифры, знаки различных математических операций и другие специальные символы. Дескриптивная формализация отличается от обычного остенсивного указания на объекты только тем, что рассматриваются абстрактные, а не эмпирические объекты. Дескриптивная формализация – необходимый компонент различных видов научной формализации.

Объект отображается с помощью системы символов. В естественном языке символом является морфема. Следовательно, естественный язык – система морфем. Называя, описывая объект, мы формализуем его представление.

Естественная языковая формализация по сфере использования может быть обыденной и научной. В случае научной формализации используется не весь естественный язык (английский, русский), а только его часть, специально с этой целью организованная, то есть подъязык естественного языка. Это в определенном смысле формальный язык.

Таким образом, научная формализация – это отображение абстрактных объектов с помощью формального языка. В процессе научной формализации, например математической, с одной стороны, осуществляется более точное отображение конкретных свойств и отношений, характеризующих ту или иную область исследования, а с другой – используются допол-

нительные символические средства, позволяющие путем чисто синтаксических (формальных) преобразований получить новое знание об исследуемой предметной области. Помимо терминов к числу таких символических средств относятся переменные, формулы, правила преобразования одних формул в другие, а также различного рода вспомогательные символы (скобки, запятые и т. п.).

Среди различных видов научной формализации особенно важное значение имеет логическая, или дедуктивная формализация. Такая формализация представляет собой не просто некоторое символическое отображение тех или иных абстрактных объектов, но отображение общих взаимосвязей между понятиями, суждениями, умозаключениями, концепциями и содержательными теориями с помощью дедуктивно упорядоченных систем символов.

### **Аналогия**

Под аналогией (от греч. ἀναλογία — соответствие, сходство) понимается сходство предметов, явлений, процессов, свойств или признаков у различных в целом объектов.

В основе метода аналогии лежит сравнение. Вывод по аналогии можно определить как перенос информации с одного объекта на другой. Умозаключение по аналогии осуществляется путем перенесения знания, полученного из рассмотрения какого-либо более изученного объекта, на менее изученный объект, сходный по существенным свойствам и качествам. Такие умозаключения являются одним из источников научных гипотез.

Вывод по аналогии может быть представлен следующим образом. Если объектам А и В присущи совпадающие свойства  $P_1, P_2, \dots, P_n$  и известно, что объекту А присуще также свойство  $P_{n+1}$ , то на основании сходства ряда свойств обоих объектов может быть сделано предположение о наличии свойства  $P_{n+1}$  у объекта В. Следует, однако, иметь в виду, что если объект, в отношении которого желается умозаключение, обладает некоторым свойством, не совместимым с тем, о существовании которого нужно сделать вывод, то при таком умозаключении общее сходство объектов утрачивает значение.

При выделении свойств сопоставляемых объектов необходимо выполнять следующие рекомендации:

1. Тип свойства  $P_{n+1}$  должен совпадать с типом общих свойств объектов А и В,

2. Общие свойства должны быть возможно более специфическими, т.е. таким, которые могут принадлежать возможно меньшему числу объектов,
3. Свойство  $P_{n+1}$  должно быть наименее специфическим, т.е. принадлежать возможно большему числу объектов.

Аналогия лежит в основе создания классификаций, упорядочивающих исследуемые объекты по различным признакам.

### **Классификация**

Классификация (от лат. classis — разряд, класс и ...фикация) — формализованная система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека, полученная путем деления объема некоторого исходного (родового) понятия. Классификация используется как средство для установления связей между понятиями или классами объектов. Научная классификация выражает систему законов, присущих отображенной в ней области знаний.

Различают естественные классификации, основаниями которых являются существенные признаки объектов (например, периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева), и искусственные классификации, в которых используются несущественные признаки; к искусственным классификациям относятся так называемые вспомогательные классификации (алфавитно-предметные указатели, именные каталоги в библиотеках).

Ярким примером важности и, вместе с тем, сложности создания классификаций служит история создания и утверждения периодической системы химических элементов.

В 60-е годы 19 века химикам было известно уже более 60 элементов. Были исследованы и описаны их свойства и свойства их соединений. Многие из них имели промышленное значение. Они обнаруживали как черты сходства, так и отличия. Возникла необходимость их систематизации.

Несмотря на то, что по сравнению, например, с биологией химия располагала сравнительно небольшим числом объектов, их систематизация сталкивалась с определенными сложностями.

Первая такая попытка была предпринята Лавуазье. Она относится еще к тому времени, когда классическая химия только формировалась. Он составил таблицу простых тел, основанную на классификации их по химическим свойствам. Эта классификация в свое время сыграла важную роль, но теперь требовались новые подходы.

В 1815 году английский врач и химик У. Праут, используя идею Г. Дэви о водороде как первоматерии, выдвинул гипотезу о происхожде-

нии всех элементов из водорода в результате некоторого процесса по типу конденсации. Несостоятельность этой гипотезы была доказана вначале разделявшим ее бельгийским профессором Ж.С. Стасом, проводившим эксперименты и расчеты с целью ее подтверждения. Он доказал, что эта идея противоречит опыту.

Деберейнер, один из последователей Дальтона опубликовал таблицы атомных весов некоторых элементов, объединяя их в триады, в которых атомный вес среднего элемента равнялся примерно полусумме двух крайних. Примеры таких триад: литий – натрий – калий, кальций – стронций – барий, хлор – бром – йод.

В 1850 году Петтенкоффер, сопоставляя соотношения у элементов и в гомологических рядах органических соединений (отличающихся друг от друга группой  $\text{CH}_2$ ), отметил, что атомные веса некоторых элементов отличаются на величину, кратную восьми. Отсюда вытекало предположение о том, что элементы являются сложными образованиями некоторых субэлементарных частиц.

Через год подобные заключения сформулировал Ж. Дюма. Ставился вопрос о возможности разложения элементов на субэлементарные образования.

Попытки систематизировать элементы предпринимали Л. Гмелин, Дж. Гладстон, Дж. Кук, Ф. Ленссен, В. Одлинг, А. Штреккер. Элементы объединяли, находили числовую зависимость атомных весов сходных элементов, но получаемые таблицы сильно отличались друг от друга, поскольку многие элементы еще не были открыты, а атомные веса уже известных не имели единого для всех химиков значения.

Французский химик Шанкуртуа в 1862 – 63 годах выработал систему, получившую название "винтовая линия Шанкуртуа". Обозначения элементов, известных к тому времени, наносились на ленту в порядке возрастания их атомных весов. Лента по спирали накладывалась на цилиндр, поверхность которого делилась на 16 частей в соответствии с атомным весом кислорода. Сходные по химическим свойствам элементы часто попадали на одну образующую цилиндра, но не всегда. Парижская академия наук холодно приняла сообщение Шанкуртуа, широко известно об этой работе стало только через 30 лет. Историки науки считают, что в этой системе содержался идея периодического закона, вместе с тем, она давала простор для произвола.

С 1863 года много занимался классификацией элементов лондонский химик Джон Ньюлендс. Он заметил, что номера аналогичных элементов отличаются на величину 7, и расположил элементы по "закону октав". Лон-

донское Химическое общество отказало Ньюлендсу в публикации его сообщения в своих изданиях.

Лотар Мейер в вышедшей в 1864 году в Германии книге "Современные теории химии и их значение для химической статики" отмечает, что аналогичные по свойствам элементы имеют одинаковую валентность ("значность"), а величины их атомных весов отличаются на постоянную разность. В приведенных им таблицах валентности не всегда соответствовали действительности, но Мейер не решался подвергнуть сомнению правильность принятых значений атомных весов. Он писал: "Нельзя сомневаться, что имеется некоторая закономерность в численных величинах атомных весов... несомненно нельзя – как это делалось достаточно часто – ради предполагаемой законности произвольно исправлять или изменять найденные эмпирически атомные веса, пока опыт не даст более точных чисел".

В научных кругах сложилось мнение, что от работ по систематизации элементов нельзя ожидать большего, чем разбивка элементов на группы по признаку их химического сходства.

Перед профессором Д.И. Менделеевым, приглашенным в 1867 году занять кафедру Петербургского университета, который читал курс общей химии и одновременно писал свои ставшие потом знаменитыми "Основы химии", также встал вопрос о возможной систематизации химических элементов. Он знал об установившемся взгляде на систематизацию, но взялся за это дело. В отличие от других исследователей, он искал не только сходство элементов, но и различие. На отдельных карточках он выписал их свойства и атомные веса и стал, как любят об этом вспоминать историки химии, раскладывать знаменитый "пасьянс". Менделеев расположил все элементы в порядке возрастания их атомного веса и заметил, что свойства их через какой-то период повторяются. Это был титанический труд. Менделеев искал не какую-нибудь частную закономерность, а закон естественного соотношения элементов. Все элементы были разбиты на группы и периоды.

Открытый Менделеевым закон кратко выражался словами: свойства элементов являются периодической функцией их атомного веса. Окончательная формулировка была дана в статье "Периодическая законность для химических элементов" 1871 года. Его работа привела к созданию "периодической системы". Но таблица Менделеева приобрела стройный вид лишь спустя десятилетия.

Затруднения начались сразу же. Прежде всего, нарушал порядок бериллий, атомный вес которого тогда признавали за 14. Менделеев решился исправить атомный вес, подозревая, что бериллий не двух-, а трехвалент-

тен. На это еще раньше указывал русский химик И.В. Авдеев. Взяв формулу окиси бериллия, на ее основе которой был рассчитан атомный вес бериллия, Менделеев произвел пересчет и заменил число 14 на 9,4. Аналогичная трудность возникла с индием: ему никак не находилось место в таблице. Тогда Менделеев произвел обратный (сравнивая с окислом бериллия) пересчет и получил атомный вес не 75,6, а 113. В соответствии со своим атомным весом титан должен был бы занять клетку под бором, но он никак туда не подходил из-за несходства химических свойств. Менделеев оставил клетку пустой, а титан передвинул на следующее место. Казалось бы, порядок рушился, однако создатель системы указал, что в пустой клетке должен был поместиться элемент, который еще не открыт. Название этому элементу Менделеев не дал, предоставив это тому, кто его обнаружит, а обозначил его пока экабором (т. е. аналогичным бору). Подобным же образом Менделеев оставил пустые места для экаалюминия и экакремния. Кроме того, он подробно описал будущие элементы, предсказал их химические свойства, удельный вес и даже высказал предположение о том, что откроют их, по всей вероятности, спектральным методом.

Первое сообщение о системе Менделеева, сделанное на заседании Химического общества 6 марта 1869 года Н.А. Меншуткиным (Менделеев был болен), не вызвало интереса. Современники Менделеева полагали, что никакого реального научного значения подобные построения не имеют. Такое отношение на первых порах встретила система Менделеева со стороны даже тех ученых, которые высоко ценили его талант, таких, как Зинин, Кольбе, Марковников. Бунзен, в лаборатории которого два года работал Менделеев, отнесся к сообщению крайне иронически: "Я сам сделаю сколько угодно подобных сообщений на основании различных чисел, которые печатаются в биржевых ведомостях". Так отнеслись наиболее благорасположенные к Менделееву химики. Высказывались мнения о невозможности включать в курс точной науки выдуманные элементы.

Сам Менделеев отмечал впоследствии: "Мысль сличить все элементы по величине их атомных весов... была чужда общему сознанию".

Менделеев отдавал должное своим предшественникам: "Плод, однако, зрел, и я вижу ныне ясно, что Штреккер, де Шанкуртуа и Ньюлендс стояли впереди всех на дороге к периодическому закону и им не доставало только решимости поставить дело на подобающую ему высоту, с которой виден закон и рефлекс закона на факты".

Мейер, ознакомившись со статьей Менделеева, представил свою таблицу элементов, во многом схожую с таблицей русского ученого, привел кривую атомных объемов, но свою работу закончил словами: "Было бы

преждевременно на основании таких шатких опорных точек предпринять изменение общераспространенных сейчас атомных весов".

Прошло пять лет после публикации Менделеевым периодического закона, когда в Докладах Парижской академии наук появилась заметка об открытии спектральным методом нового элемента – галлия. Узнав об этом, Менделеев направил в академию письмо, где указал, что новый элемент не что иное, как предсказанный им экаалюминий. Сходилось все вплоть до способа открытия.

Автор открытия Лекок де Буабодран усомнился в правильности предсказания и склонен был отрицательно отнестись к нему, так как по его измерениям удельный вес нового металла выражался числом 4,7, тогда как Менделеев указал на 5,9—6,0. Менделеев снова отправил во Францию письмо и настойчиво посоветовал более тщательно очистить полученный металл от натрия, который использовался для восстановления. Хотя у французского исследователя второе письмо Менделеева вызвало недоумение и раздражение, все же он последовал его совету, провел более тщательную очистку нового металла и был буквально потрясен: оказалось, что удельный вес галлия действительно равен 5,935. Из скептика Лекок де Буабодран превратился в горячего приверженца периодического закона. "Я полагаю, – писал он, – что нет нужды настаивать на исключительной важности подтверждения теоретических взглядов Менделеева относительно плотности нового элемента".

Через пять лет шведский химик Л. Нильсон открыл еще один элемент – скандий и указал в своем сообщении на полное совпадение свойств нового металла со свойствами предсказанного Менделеевым экабора. "Не остается никакого сомнения, – писал он в заключение, – что в скандии открыт экабор... так подтверждаются самым наглядным образом мысли русского химика, позволившие не только предвидеть существование названного простого тела, но и наперед дать его важнейшие свойства".

Прошло еще несколько лет, и К. Винклер открыл новый элемент – германий, который посчитал аналогом сурьмы. Отношение к периодическому закону было уже несколько иное, и к Винклеру с разных концов поступили письма, в которых указывалось, что он ошибся: новый элемент аналог не сурьмы, а кремния. Об этом его извещал сам Менделеев из Петербурга, Л. Мейер из Тюбингена и В. Рихтер из Бреслава. Винклер все перепроверил и написал: "Вряд ли может существовать более яркое доказательство справедливости учения о периодичности элементов, чем оплотворение до сих пор предположительного экасилиция".



"Надо что-либо одно, – писал Менделеев в "Основах химии", – или считать периодический закон верным до конца и составляющим новое орудие химических знаний, или его отвергнуть".

После открытий элементов, предсказанных Менделеевым ситуация с отношением к его системе изменилась, но физический смысл периодического закона стал ясен только в процессе изучения атома.

Важную роль классификация имеет в биологии ввиду большого числа и разнообразия биологических систем.

В биологии классификация – это распределение всего множества живых организмов по определенной системе иерархически соподчиненных групп – таксонов (классы, семейства, роды, виды и др.).

Термины "классификация", "систематика" и "таксономия" в биологии часто используют как синонимы, однако, систематика обозначает и описывает упорядоченные (классифицированные) биологические объекты и строит на этой основе их системы, а таксономия разрабатывает теоретические основы классификация организмов. Поэтому, как правило, их разделяют, хотя они и являются тесно взаимосвязанными.

Исторически биологическая классификация изменялась. Считается, что классификации, существовавшие от Аристотеля до Линнея, были искусственными, основанными на одном или немногих признаках, выбор которых по более поздним понятиям был произвольным.

Выработанная впоследствии естественная, или филогенетическая классификация более обоснованно учитывает совокупность признаков, присущих классифицируемым живым объектам, что позволяет сближать и противопоставлять их друг другу. Она отражает исторически сложившиеся между ними закономерные связи. Такая классификация позволяет успешно ориентироваться в многообразии биологических объектов, служит важным источником информации, обладает высокой практической ценностью.

Бывают также полезны и используются имеющие вспомогательное практическое значение искусственные классификации объектов, группированных по одному или немногим направленно выбранным признакам или хозяйственным особенностям (например, лекарственные, эфирномасличные растения, пушные звери, анаэробные бактерии и др.).

Систематика (от греч. *systematikós* – упорядоченный, относящийся к системе), раздел биологии, задачей которого является описание и обозначение всех существующих и вымерших организмов, а также их классификация по таксонам (группировкам) различного ранга. Опираясь на данные всех разделов биологии, систематика служит базой для многих биологических наук. Особое значение систематики заключается в создании возможности ориентирования во множестве существующих видов организмов.

Систематика основных групп органического мира – прокариот и эукариот – имеют одни и те же основы и задачи и много общего в методах исследования.

Прокариоты (от лат. pro – перед, раньше, вместо и греч. κάρυον – ядро), организмы, клетки которых не имеют ограниченного мембраной ядра. К ним относятся все бактерии, включая археобактерии и цианобактерии. По строению клетки прокариоты противопоставляют эукариотам, к которым относят все остальные организмы. Различия между прокариотами и эукариотами так существенны, что в системе организмов их выделяют в надцарства.

Эукариоты (от греч. éu – хорошо, полностью и κάρυον – ядро), организмы, клетки которых содержат оформленные ядра (ядерные). К эукариотам относятся все высшие животные и растения, а также одноклеточные и многоклеточные водоросли, грибы и простейшие. В систематике эукариоты выделяют в надцарство Eucaryota и противопоставляют прокариотам.

Вместе с тем различным разделам систематики свойствен ряд особенностей, связанных со спецификой разных групп организмов.

Систематику часто разделяют на:

- ✓ таксономию, понимая под ней теорию классификации организмов, и
- ✓ собственно систематику в указанном выше широком смысле.

Иногда термин "таксономия" используют как синоним систематики.

Систематика использует для классификации не только отдельные, частные (морфологические, физиологические, биохимические, экологические и др.) признаки, характеризующие организмы, но и всю их совокупность. Чем полнее учитываются различные особенности организмов, тем в большей мере выявляемое систематикой сходство отражает родство (общность происхождения) организмов, объединяемых в тот или иной таксон. Например, несмотря на поверхностное сходство летучей мыши с птицей (как летающих теплокровных позвоночных), летучая мышь – млекопитающее, т. е. относится к другому классу. Если же сравнивать птиц и млекопитающих с другими, более отдаленными организмами, например, из др. типов, важно уже не различие, а общность плана их строения как позвоночных. Кактусы и молочаи, например, сходны, хотя относятся к разным семействам; однако и те и другие объединяются в класс двудольных растений.

Попытки классификации организмов известны с древности (Аристотель, Теофраст и др.), однако основы систематики как науки заложены в работах Дж. Рея (1686 – 1704) и особенно К. Линнея (1735 и позже). Эти первые научные системы растений и животных были искусственными, они

объединяли организмы в группы по сходным внешним признакам и не придавали значения их родственным связям. Учение Ч. Дарвина (1859 и позднее) придало уже сложившейся систематике эволюционное содержание. В дальнейшем одним из направлений в ее развитии стало эволюционное, стремящееся наиболее точно и полно отразить в естественной (или филогенетической) системе генеалогические отношения.

Кроме эволюционного в современной систематике существуют кладистическое (филогенетическое) и численное (фенетическое) направления. Кладистическая систематика определяет ранг таксонов в зависимости от последовательности обособления отдельных ветвей (кладонов) на филогенетическом древе, не придавая значения диапазону эволюционных изменений в какой-либо группе. Так, млекопитающие у кладистов – не самостоятельный класс, а таксон, соподчиненный пресмыкающимся. Численная, или нумерическая, систематика прибегает к математической обработке данных по множеству произвольно выделенных признаков организмов, придавая каждому одинаковое значение. Классификация строится на основании степени различий между отдельными организмами, определяемой таким методом.

Основным, наиболее распространённым методом систематики остается сравнительно-морфологический.

Вместе с тем в систематике используют новые методы, например, электронной микроскопии. Изучение тонкого строения хромосом привело к развитию кариосистематики. С середины 20 века в систематике используют биохимические данные (хемосистематика, или хемотаксономия).

Сравнительное изучение аминокислотной последовательности в важнейших белках у разных групп организмов, нуклеотидного состава ДНК и РНК (геносистематика) и др. позволяет дополнять систематическую характеристику и выяснять взаимоотношения групп. Важное значение для систематики животных имеют различные поведенческие (этологические) особенности, которые иногда гораздо лучше характеризуют видовые признаки, чем отдельные детали строения. Применение современных методов, а также широкое изучение популяционной структуры вида вывели систематику на новый этап её развития.

Всестороннее изучение любого объекта требует, прежде всего, знания положения этого объекта относительно других, а также филогенетических отношений с ними. Представление о систематических отношениях видов обязательно также в генетическом и биохимическом исследованиях. Важна систематика в экологии и биогеографии, где в поле зрения исследователя обычно находится сразу много видов. Стратиграфия и геохронология основаны, прежде всего, на систематике ископаемых животных и рас-

тений. Огромное значение систематики имеет в организации охраны живой природы.

Таксономия (от греч. *táxis* – расположение, строй и *nómos* – закон), раздел систематики, теория и практика классификации организмов. Термин предложен в 1813 году О. Деканделем. Иногда его употребляют как синоним систематики и классификации, однако обычно систематику понимают как науку о разнообразии организмов и взаимоотношениях между ними, а таксономию – как раздел этой науки, посвященный принципам, методам и правилам классификации.

Традиционные методы классификации основаны на выяснении сходства организмов, определении гомологичности их признаков и общности происхождения. Однако возрастающее число признаков, имеющих значение в таксономии, невозможно иногда учесть прежними методами. В дополнение к ним используют метод т. н. нумерической, или числовой, таксономии, позволяющей одновременно учитывать большое число различных признаков. Основная задача таксономии – создание рационального учения о таксономических категориях (рангах) и их соподчинении (иерархии), которое позволит построить естественную классификацию организмов.

Класс – одна из высших таксономических категорий в биологической систематике. Класс объединяет родственные отряды животных или порядки растений.

Например, класс млекопитающих объединяет отряды грызунов, насекомоядных, хищных и др. Классы, представители которых имеют общий план строения и происходят от общих предков, объединяют в типы животных или отделы растений. Например, классы земноводных, птиц, млекопитающих и др. составляют тип хордовых животных. Класс однодольных и двудольных растений – в отдел покрытосеменных (цветковых) растений. Понятие "класс" введено в систематику Ж. Турнефором в конце 17 века и впоследствии принято К. Линнеем как высшая систематическая категория в его "Системе природы" (1735).

Таксон – группа организмов, связанных той или иной степенью родства и достаточно обособленная, чтобы ей можно было присвоить определенную таксономическую категорию того или иного ранга – вид, род, семейство и т. д. В отличие от таксономической категории таксон всегда подразумевает конкретные биологические объекты. Например, понятия "папоротники", "китообразные" или "позвоночные" обозначают группы организмов, которые служат объектами классификации. Таким образом, понятия "вид", "семейство" и т. д. не являются таксонами, но конкретный вид сосны обыкновенная представляет собой таксон. Определению терми-

нов "таксон" и "таксономическая категория" и их разграничению в современной систематике придаётся большое значение.

Таксономические категории, или ранги, систематические категории, понятия, применяемые в систематике для обозначения соподчиненных групп растений и животных, отличающихся различной степенью родства. Таксономические категории разного уровня, или ранга (вид, род, семейство и т. д.), присваиваются конкретным обособленным группам организмов – таксонам. В отличие от таксонов таксономические категории подразумевают не реальные организмы, а определённый ранг или уровень классификации, т. е. ступени определенной иерархии.

На стыке систематики с цитологией и генетикой развилась кариосистематика – раздел систематики, изучающий структуры клеточного ядра у разных групп организмов. Она изучает строение и эволюцию хромосомного набора – кариотипа.

Методы кариосистематики позволяют выявлять степень филогенетической близости между разными группами организмов, оценивать пути эволюции кариотипа и вероятность его преобразования в том или ином направлении, устанавливать пути расселения видов, выявлять виды-двойники, устанавливать происхождение домашних животных и культурных растений. Кариосистематика важна в селекции, т. к. изучение кариотипа скрещиваемых видов должно предшествовать опытам по отдаленной гибридизации.

Во 2-й пол. 19 века возникла хемосистематика – раздел систематики, изучающий разнообразие химического состава организмов, их органов и тканей с целью создания полной системы (классификации) органического мира. Хемосистематика использует методы биохимии, молекулярной биологии и генетики, математики.

В хемосистематике исследуются главным образом органические соединения: нуклеиновые кислоты, белки, липиды, углеводы, т. н. продукты вторичного метаболизма (алкалоиды, терпеноиды, флавоноиды и т. п.). Изучение химического состава организмов позволяет расширить набор анализируемых признаков фенотипов, что особенно важно для систематики микроорганизмов, низших растений и низших животных, где методы хемосистематики нашли широкое применение в сочетании с методами нумерической таксономии.

Исследуется также структура биополимеров (ДНК, РНК и белков), что позволяет оценить сходство генотипов организмов. Этим занимается геносистематика.

Основной таксономической категорией в биологической систематике является вид (*species*). Это основная структурная единица в системе живых

организмов, определяющая качественный этап их эволюции в теории биологической эволюции.

Строгое общепринятое определение вида до сих пор не выработано. Обычно под видом понимается совокупность популяций особей, способных к скрещиванию с образованием плодового потомства, населяющих определенный ареал, обладающих рядом общих морфофизиологических признаков и типов взаимоотношений с абиотической и биотической средой и отделенных от других таких же групп особей практически полным отсутствием гибридных форм. Накопление к концу 17 века сведений о многообразии форм животных и растений привело к представлению о виде как о вполне реальных группах особей. основополагающая работа в этом направлении была проведена К. Линнеем, заложившим основы современной систематики животных и растений в своем труде "Система природы" (1735). Объединив близкие виды в роды, а сходные роды в отряды и классы, Линней ввел для обозначения вида двойную латинскую номенклатуру (т. н. бинарную номенклатуру).

В 1-й пол. 19 в. стали складываться представления об изменении видов в процессе развития живой природы, завершившиеся появлением эволюционной теории Ч. Дарвина. К концу 19 века был накоплен большой материал по внутривидовой географической изменчивости и введено понятие подвида. Увеличение числа описанных видов и подвидов организмов (к середине 20 века около 2 млн.) привело, с одной стороны, к "дроблению" видов и к описанию локальных форм в качестве видов, с другой – стали "укрупнять" виды, описывая в качестве видов группы или ряды географических рас (подвидов), образующих совокупность явно родственных и обычно связанных друг с другом переходами форм. В результате в систематике появились понятия "мелких" видов – жорданонов, "больших" видов – линнеонов, стали различать монотипические и политипические виды (последние состоят из ряда подвидов). Классический период в развитии систематики завершила работа А.П. Семёнова-Тян-Шанского (1910), принявшего за основу линнеон и давшего определения подвидовых категорий (подвид, морфа и т. д.). В 30-е годы 20 века стало развиваться учение о микроэволюции как совокупности эволюционных механизмов видообразования. Это привело к пересмотру основных определений и концепций в систематике низших таксонов (Дж. Хаксли, Э. Майр и др.). В современном определении понятия биологического вида важнейшее значение имеет практически полная репродуктивная изоляция в природных условиях (некоторые виды, абсолютно изолированные в природе, в искусственных условиях могут эффективно скрещиваться с другими видами). Различают виды аллопатрические (имеющие разные неперекрывающиеся ареалы) и

симпатрические, ареалы которых в большей или меньшей степени перекрываются или даже совпадают. Аллопатричность и симпатричность видов в большинстве случаев связаны с условиями их возникновения и с тем, какая форма изоляции – территориальная или биологическая – играла основную роль при образовании данного вида. При детальном изучении почти все виды оказываются политипическими; степень их политипии обычно возрастает с увеличением ареала, а также зависит от разнообразия условий среды в отдельных его частях. Известны т. н. виды-двойники, практически неразличимые и обычно имеющие перекрывающиеся ареалы; такие виды возникают, по-видимому, в результате одной из форм биологической изоляции.

При установлении понятия вида у бесполох (агамных) и самооплодотворяющихся форм возникают трудности, связанные с концепцией биологического вида. В этих случаях видом приходится считать группы сходных клонов или линий, обладающие морфофизиологическим сходством, занимающие определенный ареал и находящиеся в сходных взаимоотношениях со средой обитания.

Сложно сравнивать и гомологизировать современные виды с ископаемыми. Сравнение одновременно существовавших форм в пространстве, как это делают для ныне живущих организмов, в палеонтологии затруднено неполнотой ископаемого материала и трудностью определения границ существования вида во времени. Для обозначения понятия, эквивалентного виду, в палеонтологии предложен термин "фратрия".

Род (genus) – основная надвидовая таксономическая категория, объединяющая филогенетически близкородственные виды.

Научное название рода обозначают одним латинским словом (т. н. униномиальное название). Например, разные виды нерп (байкальская, каспийская, кольчатая) объединяют в род нерп (*Pusa*), разные виды березы (повислая, каменная и др.) – в род береза (*Betula*). Одни роды состоят из десятков, а в некоторых случаях из сотен и даже тысяч видов (некоторые роды растений, насекомых), другие – насчитывают всего 1 вид и называются монотипными, например, род енотовидная собака (*Nyctereutes*) или род вельвичия (*Welwitschia*). Роды с несколькими или многими видами часто делят на подроды, объединяющие особенно близкие между собой виды. Роды входят в состав какого-либо семейства, но между этими таксономиями, категориями нередко выделяют ещё промежуточные – трибы, группированные в подсемейства, а последние – в семейства. В палеоботанике, помимо обычных родов, выделяют ещё орган-роды и формальные роды.

Семейство (familia) – таксономическая категория в биологической систематике.

Семейство объединяет близкие роды, имеющие общее происхождение. Например, Семейство буковых образуют роды: бук, дуб и др.; семейство беличьих составляют роды: белки, сурки и др. Ряд семейств включает большое число родов (сложноцветные – около 1000 родов, хомяковые – около 100 родов), но есть семейства, включающие немного родов, иногда даже один (например, гранатовые, бобровые и др.).

Крупные семейства иногда разбивают на подсемейства, трибы (колена), подтрибы (подколена). Близкие семейства объединяют в отряды у животных и в порядки у растений (иногда в промежуточные группы – надсемейства, подотряды и др.).

Отряд (*ordo*) – таксономическая категория животных, промежуточная по рангу между семейством и классом. Иногда в связи с увеличением подробности системы выделяют также под-, инфра- и надотряды. Новые данные о современных и вымерших животных, а также различия во взглядах ученых на систему порой приводят к пересмотру объема отрядов, к их разделению (или укрупнению); так, ныне общепризнано деление бывшего отряда грызунов на два отряда: грызунов и зайцеобразных. В систематике растений отряду соответствует порядок.

### **Абстрагирование**

Процесс познания исследуемого явления (его анализ) начинается с рассмотрения чувственно воспринимаемых признаков, свойств и связей. На следующей стадии исследования осуществляется переход от конкретных, чувственно воспринимаемых характеристик, к обобщенным положениям, т.е. к *абстрактным* представлениям о них.

Абстракция (от лат. *abstractio* – отвлечение, удаление) – форма познания, основанная на мысленном выделении существенных свойств и связей предмета и отвлечении от других, частных его свойств и связей; общее понятие – как результат процесса абстрагирования; синоним "мысленного", "понятийного".

Свойства менее существенные для данного исследования исключаются из рассмотрения. Одновременно происходит выделение наиболее существенных свойств и признаков. Результат такого процесса называют *абстракцией*. Термин "абстрактное" противопоставляется термину "конкретное". Единства в использовании этих терминов нет.

Основные типы абстракции:

- абстракция отождествления (обобщающая абстракция),
- изолирующая абстракция.
- идеализация.



*Абстракция отождествления* представляет собой понятие, получаемое в результате объединения некоторого множества предметов в особую группу по некоторым общим для них признакам. При этом отвлекаются от целого ряда свойств. Примером может служить группировка множества растений и животных в особые виды, роды, отряды и т.д.

*Изолирующая абстракция* получается путем выделения некоторых свойств, отношений, неразрывно связанных с предметом материального мира, в самостоятельные сущности ("устойчивость", "растворимость", "электропроводность" и т. п.).

*Идеализацией* называют вид абстрагирования, заключающийся в мысленном изменении свойств исследуемого объекта.

Результатом такого изменения может являться либо исключение некоторых свойств объекта из рассмотрения, либо наделение объекта некоторыми свойствами, реально не достижимыми.

Примером первого вида идеализации может служить применяемая в механике модель, называемая материальной точкой, под которой подразумевается тело, лишенное размеров.

Примером второго вида идеализации является "абсолютно черное тело".

Идеализацию целесообразно применять в следующих случаях:

1. Исследуемые объекты сложны для имеющихся средств теоретического анализа.
2. Необходимо исключить некоторые свойства и связи объекта исследования, без которых его существование невозможно, но которые затемняют существо исследуемых процессов.
3. Исключаемые из рассмотрения свойства и связи исследуемого объекта не влияют на его сущность в рамках проводимого исследования.
4. Исключаются из рассмотрения те свойства и связи, для которых на данном этапе исследования отсутствуют достоверные данные.

В отличие от других видов абстрагирования идеализация допускает элемент чувственной наглядности. В других случаях результатом процесса абстрагирования является образование мысленных абстракций, не обладающих никакой наглядностью.

Эта особенность важна для реализации *мысленного* (воображаемого) *эксперимента* – специфического метода теоретического познания, широко применявшегося, в частности в физике 20 века. Мысленный эксперимент может предварять реальный эксперимент или являться самостоятельным этапом исследования. С его помощью можно, в частности интерпретировать знание, полученное математическим путем.

Процесс перехода от чувственно-эмпирических, наглядных представлений об изучаемых процессах к формированию абстрактных, теоретических конструкций, отражающих сущность этих процессов, лежит в основе развития любой науки.

## **Анализ**

Под *анализом* (от греч. ἀνάλυσις разложение) понимают разделение (мысленное или реальное) исследуемого объекта на элементы; метод исследования путём рассмотрения отдельных сторон, свойств, составных частей чего-либо.

Термин "анализ" введен в научное употребление английским химиком и физиком Р. Бойлем (1627 – 1691) применительно к исследованию химического состава вещества. Этот термин используется для обозначения начального этапа любого научного исследования.

Этот этап характеризуется как переход от общего описания объекта (явления) к выявлению его внутреннего строения, состава, определению свойств его отдельных частей, отношений между частями и т. д. В процессе анализа применяются различные методы, позволяющие сводить исследование свойств некоторого объекта к исследованию взаимосвязей между его предполагаемыми частями, свойства которых изучаются отдельно или являются заранее известными. Например, определение химического состава вещества, установление логической структуры высказывания и т. п.

Корректность (правильность) анализа проверяется в процессе синтеза объекта из этих частей и сравнения его свойств с теми свойствами исходного объекта, которые были известны заранее.

Анализ неразрывно связан с *синтезом*.

*Анализом искусственной системы* (например, технической) называется определение ее функционирования по заданной структуре.

## **Синтез**

Синтез (от греч. σύν νθεσις соединение) – соединение (мысленное или реальное) различных элементов (сторон, свойств, признаков и т.п.) исследуемого объекта в единое целое.

На этапе синтеза части объекта, полученные в результате его анализа и изученные независимо друг от друга, мысленно соединяются в единый объект, изучение которого проводится с учетом свойств этих частей и связей между ними.

Для проведения синтеза необходимо выделить существенные взаимосвязи между частями объекта. Такое выделение может осуществляться либо посредством перебора всех возможных сочетаний этих частей (эффективно лишь при небольшом их числе), либо с помощью существующих методов (схем) синтеза, когда свойства частей объекта удовлетворяют некоторым определенным условиям. Эффективность проведения исследования часто зависит от привлекаемых методов, которые вырабатываются в рамках различных научных теорий.

Результатом синтеза является мысленная конструкция, призванная адекватно описывать некоторый объект. Процесс такого исследования часто носит творческий характер и трудно формализуется.

При необходимости процесс синтеза объекта разделяется на этапы.

Если все же не удастся построить адекватную мысленную конструкцию объекта, то это может указывать на необходимость переосмысления самых исходных представлений об этом объекте (например, неприменимость механики Ньютона и классической электродинамики к процессам взаимодействия света с веществом и к процессам, происходящими в атоме, потребовала выработки корпускулярно-волновых представлений о свойствах материи, которые в дальнейшем легли в основу квантовой механики).

Если на этапе анализа происходит изучение отдельных элементов объекта, то на этапе синтеза объект изучается как единое целое (система).

*Синтезом искусственной системы* называется определение ее структуры по заданному характеру функционирования и другим требованиям.

## **Индукция**

Индукция (от лат. *inductio* – введение, ввод) – это метод познания, основывающийся на формально логическом умозаключении, которое приводит к получению общего вывода, утверждения, гипотезы на основе частных посылок. Это есть движение нашего мышления от частного к общему.

Научная индукция реализуется в виде следующих частных методов:

1. Метод единственного сходства,
2. Метод единственного различия,
3. Соединенный метод сходства и различия,
4. Метод сопутствующих изменений,
5. Метод остатков.

*Метод единственного сходства* применим в случае, если при многократном наблюдении какого-то явления во всех случаях обнаруживается только один общий фактор, а остальные различны. Следовательно, можно сделать заключение, что этот фактор – причина данного явления.

*Метод единственного различия* применим, если обстоятельства возникновения какого-то явления и обстоятельства его невозникновения различаются только одним фактором. В этом случае можно сделать вывод, что этот фактор является причиной данного явления.

*Соединенный метод сходства и различия* объединяет первые два.

*Метод сопутствующих изменений* применим, если обнаружено, что определенные изменения одного явления каждый раз влекут за собой некоторые изменения в другом явлении. В этом случае можно сделать вывод о причинной связи этих явлений.

*Метод остатков* заключается в том, что если явление вызывается многофакторной причиной и известно, что некоторые из этих факторов являются причиной части данного явления, то можно сделать вывод о том, что причина другой части явления – остальные факторы, входящие в общую причину этого явления.

Родоначальником классического индуктивного метода познания является Ф. Бэкон (1561 – 1626). Он впервые разработал каноны индукции и считал его главным средством научного познания природы.

Д.С. Милль (1806 – 73), систематизировавший и развивший эти каноны в своей книге "Система логики", считал их методами установления причинных зависимостей между явлениями.

Индукция – рассуждение, в котором посылки лишь в той или иной степени подтверждают заключение или делают его более правдоподобным или вероятным. Обычно посылками индукции служат результаты наблюдений и экспериментов. Исследование небольшого числа этих данных позволяет выяснить их общие свойства и закономерности, которые затем пе-

реносятся на другие неисследованные случаи. Посылки индукции лишь "наводят" на истину, но не гарантируют ее достижение. С помощью индукции выдвигаются обобщения или гипотезы, относящиеся к данным опыта и наблюдения, и поэтому она выступает в качестве важнейшего средства эмпирического исследования.

Ф. Бэкон надеялся с помощью индукции открывать новые истины в науке, но традиционные методы классической индукции позволяют находить лишь простейшие эмпирические связи между наблюдаемыми в опыте свойствами явлений. Эти элементарные приемы индукции представляют собой описание тех действий, которые исследователи постоянно совершают в лаборатории, часто не задумываясь над ними. Однако более глубокие, теоретические законы не могут быть открыты с помощью индукции.

С переходом науки от систематизации явлений к их объяснению, поиску теоретических законов изменилось и отношение ученых к индукции, которая стала рассматриваться не как логика открытия новых истин, а как логика подтверждения гипотез эмпирически установленными свидетельствами.

Индукция может служить также эвристическим средством в поиске гипотезы, но в этом случае не менее важными являются интуиция, опыт, тщательный анализ проблемных ситуаций, талант, и даже удача исследователя.

Заключения индукции всегда лишь вероятны, а не достоверны. Вероятностный характер заключения индукции делает возможным использовать для ее анализа понятия и методы вероятностной логики.

Неоправданно расширенное понимание роли индукции получило название *всеиндуктивизма*.

## **Дедукция**

Дедукция (от лат. *dēductiō* – отведение, отвод, доказывание) есть получение частных выводов на основе знания каких-то общих положений. Это есть движение нашего мышления от общего к частному, единичному. Посылками дедукции являются аксиомы, постулаты, имеющие характер общих утверждений, а результатом – следствия из этих посылок.

Дедукция противоположна индукции. В отличие от индуктивных рассуждений, которые не гарантируют истинности заключений при условии истинности посылок, дедуктивные рассуждения осуществляются по таким правилам вывода, которые позволяют из истинных посылок получать только истинные следствия. Если исходные общие положения являются установленной истиной, то методом дедукции всегда будет получен истинный вывод.

Дедукция как доказательство утверждений с помощью силлогизмов впервые была использована Аристотелем.

В науке Нового времени крупный вклад в понимание роли дедукции внес Р. Декарт (1596 – 1650), утверждавший, что процесс познания осуществляется двумя путями: путем эмпирического опыта и путем дедукции, опирающейся на всеобщий характер интеллектуальной интуиции человека. Эмпирический опыт часто вводит в заблуждение, тогда как дедукция всегда дает безошибочное, достоверное знание. Философским обобщением этих представлений о дедукции явился знаменитый принцип: "Мыслю, следовательно существую" (*Cogito ergo sum*).

Под влиянием Ф. Бэкона и его последователей понимание роли дедукции в процессе познания на долгое время было сведено к представлению о том, что с помощью дедукции можно лишь подтверждать уже имеющееся знание, т. к. в заключениях, полученных путем дедукции, не содержится ничего нового по сравнению с тем, что содержится в посылках. Идеи Декарта получили существенное развитие лишь в работах Г.В. Лейбница (1646 – 1716), сформулировавшего и обосновавшего тезис о том, что дедукция – это универсальный метод получения и обоснования знания.

Развивая идею Лейбница универсального логического языка, позволяющего точно выражать различные понятия и путем дедукции получать новое знание из уже имеющегося, Г. Фреге (1848 – 1925) впервые построил строгое аксиоматическое исчисление предикатов и затем на основе этого исчисления предложил вариант логической формализации арифметики. После того как Б. Рассел (1872 – 1970) и А. Уайтхед (1861 – 1947) разработали наиболее полное дедуктивно-аксиоматическое построение классической логики, а Д. Гилберт (1862 – 1943) заложил основы теории доказа-

тельств, изучение форм и методов дедукции стало одной из основных задач логики.

## **Наблюдение**

Наблюдение – это чувственное отражение предметов и явлений внешнего мира.

Научное наблюдение, в отличие от обыденного, характеризуется:

- целенаправленностью,
- планомерностью,

Научные наблюдения всегда сопровождаются *описанием* их результатов, на основании которых создаются эмпирические обобщения. Сравнение изучаемых объектов по тем или иным характеристикам позволяет провести их *классификацию*.

В наблюдениях отсутствует целенаправленное воздействие на изучаемые объекты.

Как метод познания наблюдение более или менее удовлетворяло потребности наук, находящихся на описательно-эмпирической ступени развития.

По способу проведения наблюдения могут быть *непосредственными*, *опосредованными* и *косвенными*.

При *непосредственных* наблюдениях свойства объекта воспринимаются органами чувств человека.

Наблюдения невооруженным глазом положения планет и звезд на небе, проводившиеся в течение более 20 лет Тихо Браге, явились эмпирической основой для открытия Кеплером его законов.

В настоящее время непосредственное визуальное наблюдение используется в космических исследованиях (определяются границы облачного покрова, типы облаков, границы выноса мутных речных вод в море, характеристики океанических вихрей и пылевых бурь, просматривается рельеф дна на мелководье и т. п.).

В современной науке наблюдение чаще бывает *опосредованным*, т. е. проводимым с помощью технических средств.

С изобретением в начале 17 века оптического телескопа астрономические наблюдения стали проводить с его помощью. В настоящее время кроме оптических используются другие виды телескопов. Использование рентгеновских телескопов на борту орбитальной станции позволило проводить наблюдения таких объектов Вселенной (пульсары, квазары), которые никаким другим путем изучать невозможно.

Создание в 17 веке оптического микроскопа, а в 20 веке электронного микроскопа позволило наблюдать мир микрообъектов и микроявлений.

Микроскопия – общее название методов наблюдения в микроскоп не различимых человеческим глазом объектов.

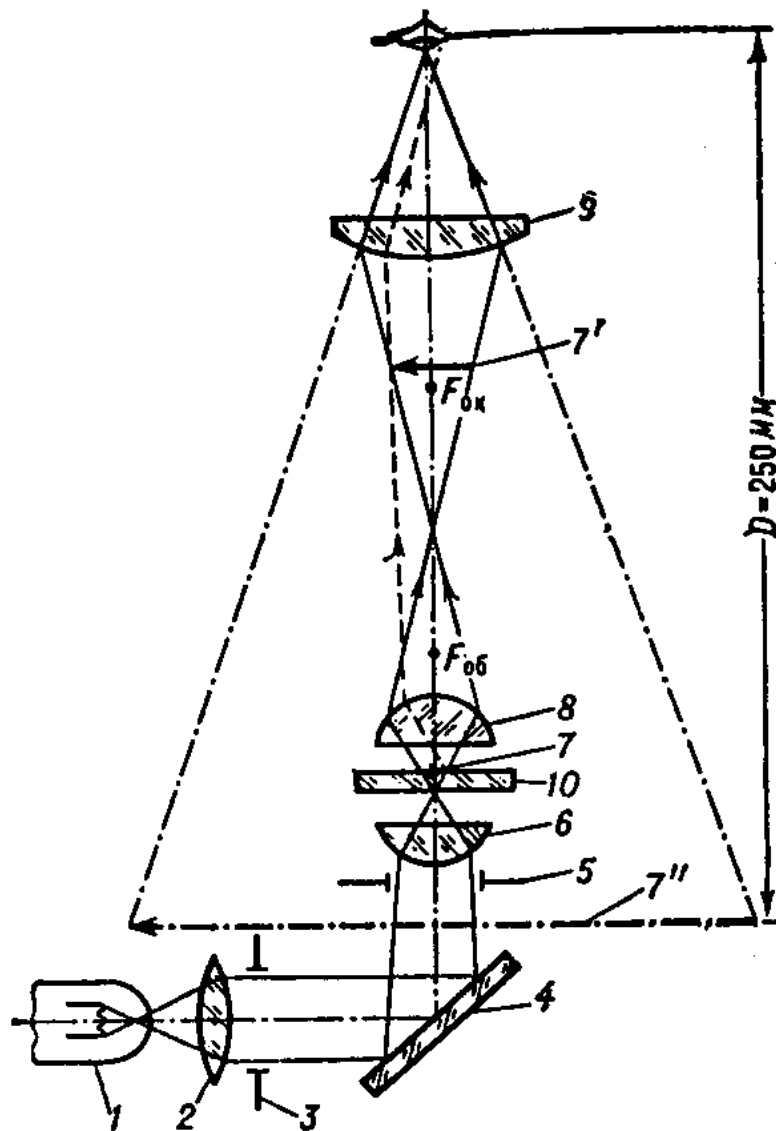
Микроскоп (от греч. *mikros* — малый и *skopeo* — смотрю) – оптический прибор для получения сильно увеличенных изображений объектов, или деталей их структуры, не видимых невооруженным глазом. Различные типы микроскопов предназначаются для обнаружения и изучения бактерий, органических клеток, мелких кристаллов, структуры сплавов и других объектов, размеры которых меньше минимального разрешения глаза, равного 0,1 мм. С помощью микроскопа определяются форма, размеры, структура и другие характеристики микрообъектов. Микроскоп дает возможность различать структуры с расстоянием между элементами до 0,20 мкм.

Свойство линзы или системы из двух линз давать увеличенные изображения предметов было известно уже в 16 веке. Первые успешные применения микроскопа в научных исследованиях связаны с именами английского ученого Р. Гука, установившего (около 1665), что животные и растительные ткани имеют клеточное строение, и голландского ученого А. Левенгука, открывшего с помощью микроскопа микроорганизмы (1673—77).

Разработка немецким физиком Э. Аббе (1872—73) теории образования изображений несамосветящихся объектов в микроскопе способствовала развитию разнообразных методов микроскопических исследований.

Одна из типичных оптических схем микроскопа приведена на рисунке. Объект 7, расположенный на предметном столике 10, освещается обычно искусственным светом от осветителя, состоящего из лампы 1 и линзы-коллектора 2, с помощью зеркала 4 и конденсора 6. Для увеличения объекта служит объектив 8 и окуляр 9. Объектив создаёт действительное перевернутое и увеличенное изображение 7' объекта 7. Окуляр образует вторично увеличенное мнимое изображение 7'' обычно на расстоянии наилучшего видения  $D = 250$  мм. Если окуляр сдвинуть так, чтобы изображение 7'' оказалось перед передним фокусом окуляра  $F_{ок}$ , то изображение, даваемое окуляром, становится действительным и его можно получить на экране или фотопленке.





Оптическая схема микроскопа

Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличения объектива на увеличение окуляра. Обычно объективы микроскопа имеют увеличения от 6,3 до 100, а окуляры от 7 до 15. Поэтому общее увеличение микроскопа лежит в пределах от 44 до 1500. Ирисовые полевая диафрагма 3 и апертурная 5 служат для ограничения светового пучка и уменьшения рассеянного света.

Важной характеристикой микроскопа является его разрешающая способность, определяемая как величина, обратная тому наименьшему расстоянию, на котором два соседних элемента структуры еще могут быть видимы раздельно. Разрешающая способность микроскопа ограничена, что объясняется дифракцией света. Вследствие дифракции изображение бес-

конечно малой светящейся точки, даваемое объективом микроскопа, имеет вид не точки, а круглого светлого диска, окружённого темными и светлыми кольцами, диаметр которого равен:

$$d = 1,22 \lambda / A,$$

где  $\lambda$  – длина волны света,

$A$  – т.н. числовая апертура объектива, равная:

$$A = n \sin \alpha / 2,$$

$n$  — показатель преломления среды, находящейся между предметом и объективом,  $\alpha$  – угол между крайними лучами конического светового пучка, выходящего из точки предмета и попадающего в объектив.

Если две светящиеся точки расположены близко друг от друга, их дифракционные картины накладываются одна на другую, давая в плоскости изображения сложное распределение освещенности. Наименьшая относительная разница освещенностей, которая может быть замечена глазом, равна 4%.

Этому соответствует наименьшее расстояние, разрешаемое в микроскопе:  $\delta = 0,42d = 0,51 \lambda / A$ .

Для несамосветящихся объектов предельное разрешение  $\delta_{пр}$  составляет  $\sim \lambda / (A + A')$ ,

где  $A'$  – числовая апертура конденсора микроскопа.

Таким образом, разрешающая способность ( $\sim 1/\delta$ ) прямо пропорциональна апертуре объектива и для её повышения пространство между предметом и объективом заполняется жидкостью с большим показателем преломления.

Апертуры иммерсионных объективов большого увеличения достигают величины  $A = 1,3$ , у обычных ("сухих") объективов  $A \sim 0,9$ .

Существование предела разрешающей способности влияет на выбор увеличения микроскопа. Увеличение микроскопа в пределах 500  $A$  – 1000  $A$  называется полезным, так как при нем глаз различает все элементы структуры объекта, разрешаемые микроскопом. При увеличениях свыше 1000  $A$  не выявляются никакие новые подробности структуры препарата. Все же иногда такие увеличения применяются, например, в микрофотографии, при микропроекции.

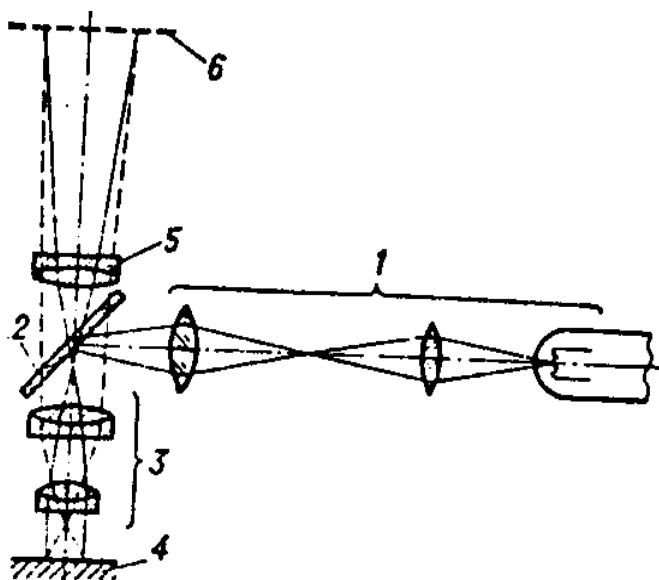
Структуру препарата можно различить, если разные его частицы по-разному поглощают и отражают свет, либо отличаются одна от другой (или от среды) показателями преломления. Эти свойства обуславливают разницу амплитуд и фаз световых волн, прошедших через различные участки препарата, от чего, в свою очередь, зависит контрастность изображе-

ния. Поэтому методы наблюдения, применяемые в микроскопии, выбираются в зависимости от характера и свойств изучаемого препарата.

Метод светлого поля в проходящем свете применяется при исследовании прозрачных препаратов с включёнными в них абсорбирующими (поглощающими свет) частицами и деталями. Таковы, например, тонкие окрашенные срезы животных и растительных тканей, тонкие шлифы минералов.

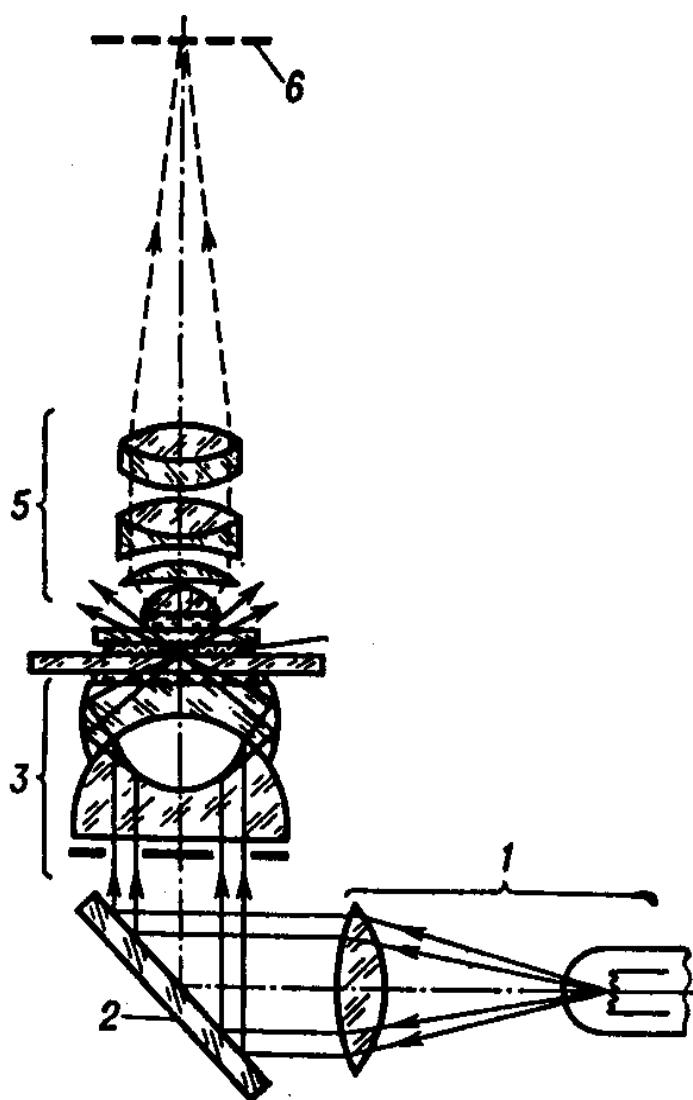
В отсутствии препарата пучок лучей из конденсора 6 проходит через объектив 8 и даёт равномерно освещенное поле вблизи фокальной плоскости окуляра 9. Если в препарате 7 имеется абсорбирующий объект, то он отчасти поглощает и отчасти рассеивает падающий на него свет (штриховая линия), что и обуславливает, согласно дифракционной теории, возникновение изображения. Метод может быть полезен и при неабсорбирующих объектах, если они рассеивают освещающий пучок настолько сильно, что значит, часть пучка не попадает в объектив.

Метод светлого поля в отраженном свете применяется для наблюдения непрозрачных объектов, например, шлифов металлов 4. Освещение препарата производится от осветителя 1 и полупрозрачного зеркала 2 сверху через объектив 3, который выполняет одновременно и роль конденсора. Изображение создается в плоскости 6 объективом совместно с тубусной линзой 5; структура препарата видна из-за различия в отражающей способности ее элементов; на светлом поле выделяются неоднородности, рассеивающие падающий на них свет.



Метод светлого поля в отраженном свете

Метод темного поля в проходящем свете применяется для получения изображения прозрачных, неабсорбирующих объектов. Свет от осветителя 1 и зеркала 2 проходит спец. т. н. конденсор темного поля 3 в виде полого конуса и непосредственно в объектив 5 не попадает. Изображение создается только светом, рассеянным микрочастицами препарата 4. В поле зрения 6 на темном фоне видны светлые изображения частиц, отличающихся от окружающей среды по показателю преломления.



Метод темного поля в проходящем свете

На том же принципе основан метод ультрамикроскопии. Освещение препарата в ультрамикроскопах производится перпендикулярно направлению наблюдения. Этот метод дает возможность обнаруживать сверхмел-

кие детали, размеры которых ( $\sim 2 \cdot 10^{-9}$  м) лежат далеко за пределами разрешения микроскопа.

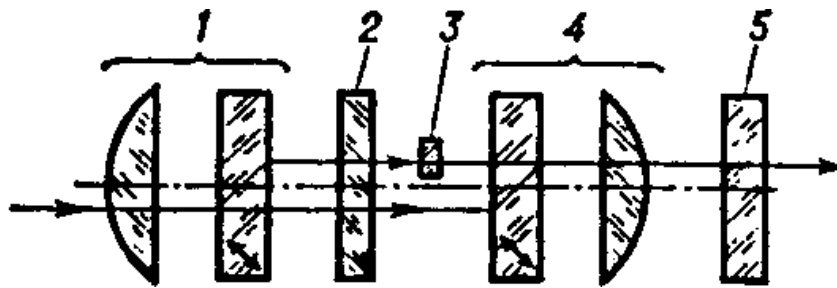
При наблюдении по методу темного поля в отраженном свете непрозрачные препараты, например, шлифы металлов, освещают сверху специальной кольцевой системой, расположенной вокруг объектива и называемой эпиконденсором.

Метод наблюдения в поляризованном свете, проходящем и отраженном, применяется для исследования под микроскопом анизотропных объектов, таких как минералы, руды, зерна в шлифах сплавов, некоторые животные и растительные ткани и клетки. С помощью анализаторов и компенсаторов, которые включены в оптическую систему, изучается изменение поляризации света, прошедшего через препарат.

Метод фазового контраста служит для получения изображений прозрачных и бесцветных объектов, невидимых при наблюдении по методу светлого поля. К числу таких объектов относятся, например, живые неокрашенные животные ткани. Метод основан на том, что даже при малом различии показателей преломления объекта и среды световая волна, прошедшая сквозь них, претерпевает разные изменения по фазе и приобретает так называемый фазовый рельеф. Эти фазовые изменения преобразуются в изменения яркости ("амплитудный рельеф") с помощью спец. фазовой пластинки (фазового кольца), расположенной вблизи заднего фокуса объектива. Лучи, прошедшие через препарат, полностью проходят через фазовое кольцо, которое изменяет их фазу на  $\lambda/4$ . В то же время лучи, рассеянные (отклоненные) в препарате, не попадают в фазовое кольцо и не получают дополнительного сдвига фазы. С учетом фазового сдвига в препарате разность фаз между лучами отклоненными и неотклоненными оказывается близкой к 0 или  $\lambda/2$ , и в результате интерференции света в плоскости изображения препарата они заметно усиливают или ослабляют друг друга, давая контрастное изображение структуры препарата, в котором распределение яркостей воспроизводит указанный выше фазовый рельеф.

Метод интерференционного контраста состоит в том, что каждый луч, входящий в микроскоп раздваивается: один проходит сквозь наблюдаемую частицу, а второй – мимо нее. В окулярной части микроскопа оба луча вновь соединяются и интерферируют между собой. Результат интерференции определяется разностью хода лучей.

Принципиальная схема одного из способов осуществления интерференционного контраста показана на рисунке.



Метод интерференционного контраста

Конденсор 1 и объектив 4 снабжены двоякопреломляющими пластинками (помечены на рисунке диагональными стрелками), первая из которых расщепляет исходный световой луч на два луча, а вторая воссоединяет их. Один из лучей, проходя через объект 3, запаздывает по фазе (приобретает разность хода по сравнению со вторым лучом); величина этого запаздывания измеряется компенсатором 5. Метод интерференционного контраста в некоторых отношениях сходен с методом фазового контраста – оба они основаны на интерференции лучей, прошедших через микрочастицу и миновавших ее. Отличие интерференционного метода от метода фазового контраста заключается главным образом в возможности с высокой точностью (до  $\lambda/300$ ) измерять разности хода, вносимые микрообъектом, используя компенсаторы. На основании этих измерений можно производить количественные расчеты, например, общей массы и концентрации сухого вещества в клетках биологических препаратов.

Метод исследования в свете люминесценции основан на том, что под М. изучается зеленоно-оранжевое свечение объекта, икающее при его освещении сине-фиолетовым или ультрафиолетовым светом. Для этой цели перед конденсором и после объектива микроскопа вводят соответствующие светофильтры. Первый из них пропускает от источника-осветителя только излучение, вызывающее люминесценцию объекта, второй (после объектива) пропускает к глазу наблюдателя только свет люминесценции. Метод применяется в микробиологии, цитологии, микрохимическом анализе, дефектоскопии и т. п.

Метод наблюдения в ультрафиолетовых лучах позволяет увеличить предельную разрешающую способность микроскопа, пропорциональную  $1/\lambda$ . Этот метод расширяет возможности микроскопических исследований также за счет того, что частицы многих веществ, прозрачные в видимом свете, сильно поглощают ультрафиолетовое излучение определенных длин волн и, следовательно, легко различимы в ультрафиолетовых изображени-

ях. Изображения в ультрафиолетовой микроскопии регистрируют либо фотографированием, либо с помощью электронно-оптического преобразователя или люминесцирующего крана.

Метод наблюдения в инфракрасных лучах также требует преобразования невидимого для глаза изображения в видимое путем его фотографирования или с помощью электроннооптического преобразователя. Инфракрасная микроскопия позволяет изучать внутреннюю структуру объектов, непрозрачных в видимом свете, например, темных стекол, некоторых кристаллов, минералов.

Способ получения на экране, а при микрофото- и микрокиносъемке — на фоточувствительном слое, оптических изображений малых объектов, создаваемых микроскопом называется микропроекцией. При микропроекции объектив 2 микроскопа образует увеличенное действительное изображение 1' объекта 1, окуляр 3 работает как проекционная система, для чего микроскоп фокусируют так, чтобы изображение 1' находилось перед передним фокусом  $F$  окуляра) и создает действительное изображение 1'' на экране 4.

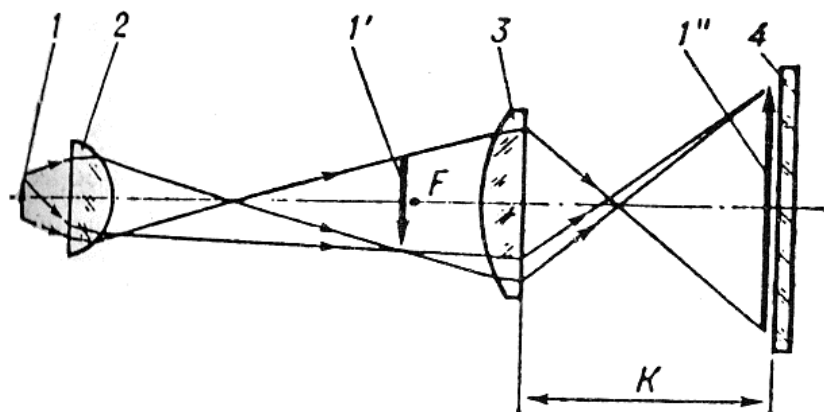


Схема микропроекции

Микропроекцию применяют также для получения изображений микроскопических объектов на фотокатоде электронно-оптического преобразователя при наблюдении в ультрафиолетовых и инфракрасных лучах, в телевизионной микроскопии и т. д.

Кроме оптических узлов, таких как указанные выше объектив и окуляр, в микроскопе имеются также штатив или корпус, предметный столик для крепления препарата, механизмы для грубой и точной фокусировки, устройство для крепления объективов и тубус для установки окуляров.

Тип применяемого конденсора (светлопольные, темнопольные и т. д.) зависит от выбора необходимого метода наблюдения.

Объективы в большинстве современных микроскопов съёмные.

По исправлению хроматических aberrаций объективы разделяются на ахроматы, наиболее простые по устройству, и апохроматы, которые имеют улучшенную хроматическую коррекцию. Для исправления кривизны поля используются планахроматы и планапохроматы, имеющие плоское поле зрения, что особенно важно для микрофотографии. Кроме того, объективы различаются:

а) по спектральным характеристикам – на объективы для видимой области спектра и для ультрафиолетовой и инфракрасной микроскопии (линзовые и зеркально-линзовые);

б) по длине тубуса, на которую они рассчитаны (в зависимости от конструкции микроскопа);

в) по среде между объективом и препаратом – на сухие и иммерсионные;

г) по методу наблюдения – на обычные, фазово-контрастные и др.

Тип применяемого окуляра при данном методе наблюдения определяется выбором объектива микроскопа. Окуляры Гюйгенса рассчитаны для объективов-ахроматов мелких и средних увеличений, окуляры компенсационные – для апохроматов, фотоокуляры – для проекций и т. п.

Приспособления к микроскопу позволяют улучшить условия наблюдения и расширить возможности исследований, осуществлять разные виды освещения препаратов, определять размеры объектов, фотографировать препараты через микроскоп, производить микроспектрофотометрирование и т. п.

Типы микроскопов определяются либо областью применения, либо методом наблюдения.

Биологические микроскопы предназначены для исследований в микробиологии, гистологии, цитологии, ботанике, медицине, а также для наблюдения прозрачных объектов в физике, химии и т. д. В биологических исследованиях используются также люминесцентные и инвертированные микроскопы. В последних объектив располагается под наблюдаемым объектом, а конденсор – сверху. Эти микроскопы предназначены для исследования культуры тканей, находящихся в питательной среде, и снабжены термостатирующими камерами, а иногда и устройствами для киносъёмки медленных процессов.

Металлографические микроскопы предназначены для исследования микроструктур металлов и сплавов.



Поляризационные микроскопы снабжены дополнительно поляризационными устройствами и предназначены главным образом для исследования шлифов минералов и руд. Стереомикроскопы служат для получения объемных изображений наблюдаемых предметов.

Измерительные микроскопы предназначены для различных точных измерений в машиностроении.



Внешний вид инструментального микроскопа

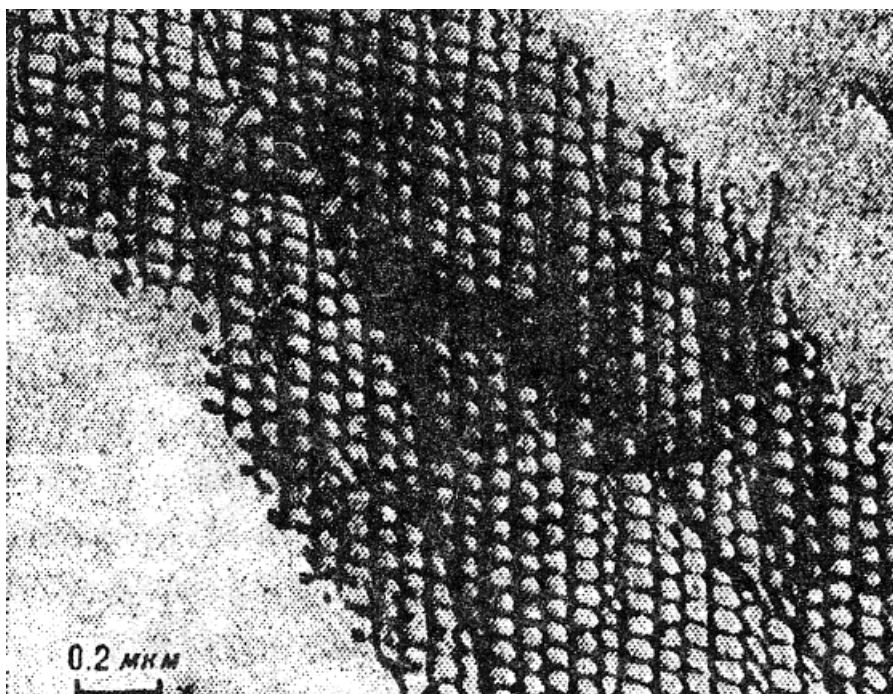
Кроме этих групп микроскопов имеются специализированные микроскопы, например, микроустановка для киносъемки быстрых и медленных процессов (движение микроорганизмов, процессы деления клеток, роста кристаллов и т. п.), микроскопы для изучения следов ядерных частиц

в фотоэмульсиях; высокотемпературные микроскопы для исследования объектов, нагретых до  $2000^{\circ}\text{C}$ ; хирургические микроскопы слабого увеличения, применяемые при операциях; интерференционные микроскопы для количественных исследований.

Весьма сложными приборами являются микроспектрофотометрические установки для определения спектров поглощения препаратов, телевизионные анализаторы микроизображений и др. Первые представляют собой сочетание микроскопа со специальными монохроматорами и устройствами для измерения световых потоков; во вторых микроскоп работает совместно с телевизионными и электронными системами, которые производят автоматическое определение геометрических характеристик изучаемых структур.

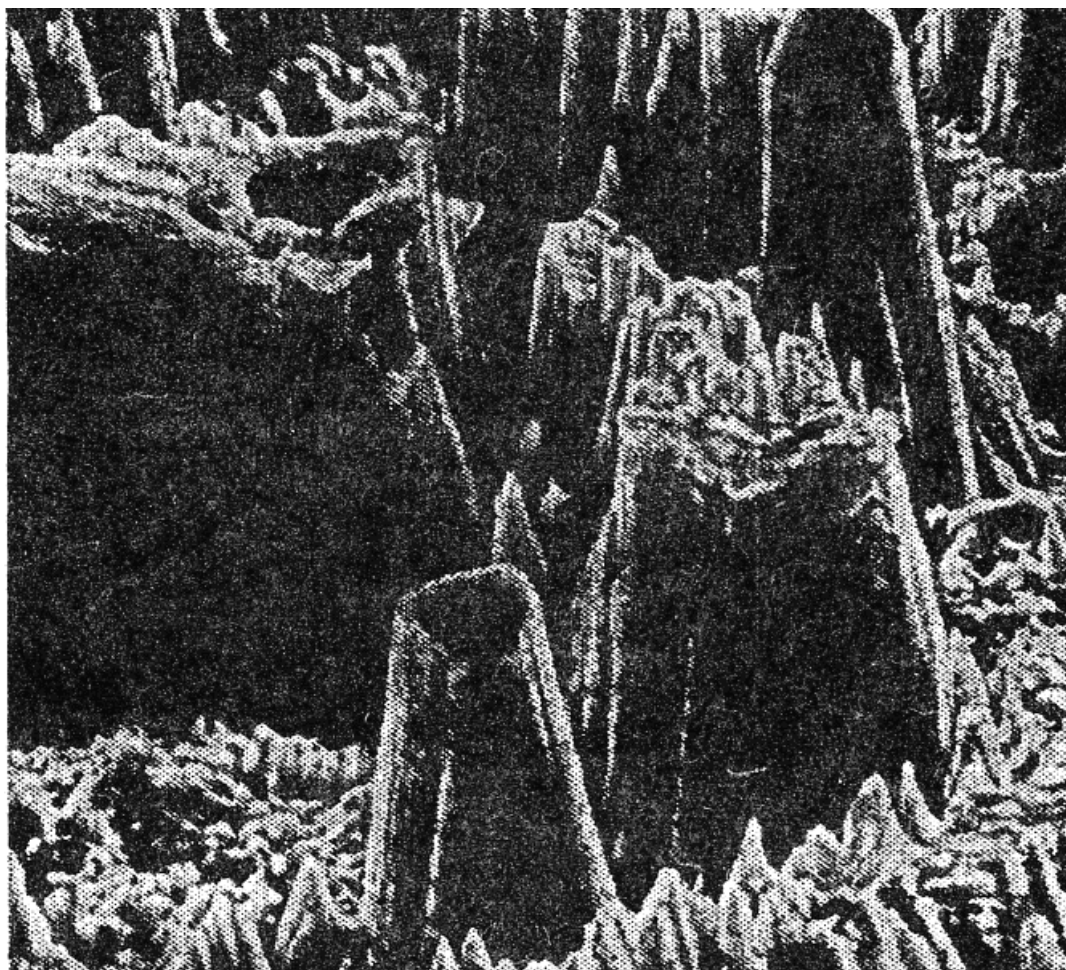
Электронная микроскопия представляет собой совокупность методов исследования с помощью электронных микроскопов микроструктур тел вплоть до атомно-молекулярного уровня, их локального состава и локализованных на поверхностях или в микрообъемах тел электрических и магнитных полей ("микрочерно").

Объектами исследования в электронной микроскопии обычно являются твердые тела. В просвечивающих электронных микроскопах электроны с энергиями от 1 кэВ до 5 МэВ проходят сквозь объект, поэтому изучаются образцы в виде тонких пленок, фольги, срезов и т. п. толщиной от 1 нм до 10 мкм (от  $10^1 \text{ \AA}$  до  $10^5 \text{ \AA}$ ).



### Молибденовая фольга в просвечивающем электронном микроскопе

Микрокристаллы, порошки, аэрозоли и т. п. можно изучать, нанеся их предварительно на подложку: тонкую пленку для исследования в просвечивающих электронных микроскопах или массивную подложку для исследования в растровых электронных микроскопах. Поверхностную и приповерхностную структуру массивных тел толщиной существенно больше 1 мкм исследуют с помощью растровых электронных микроскопов отражательных, зеркальных электронных микроскопов, ионных проекторов и электронных проекторов.

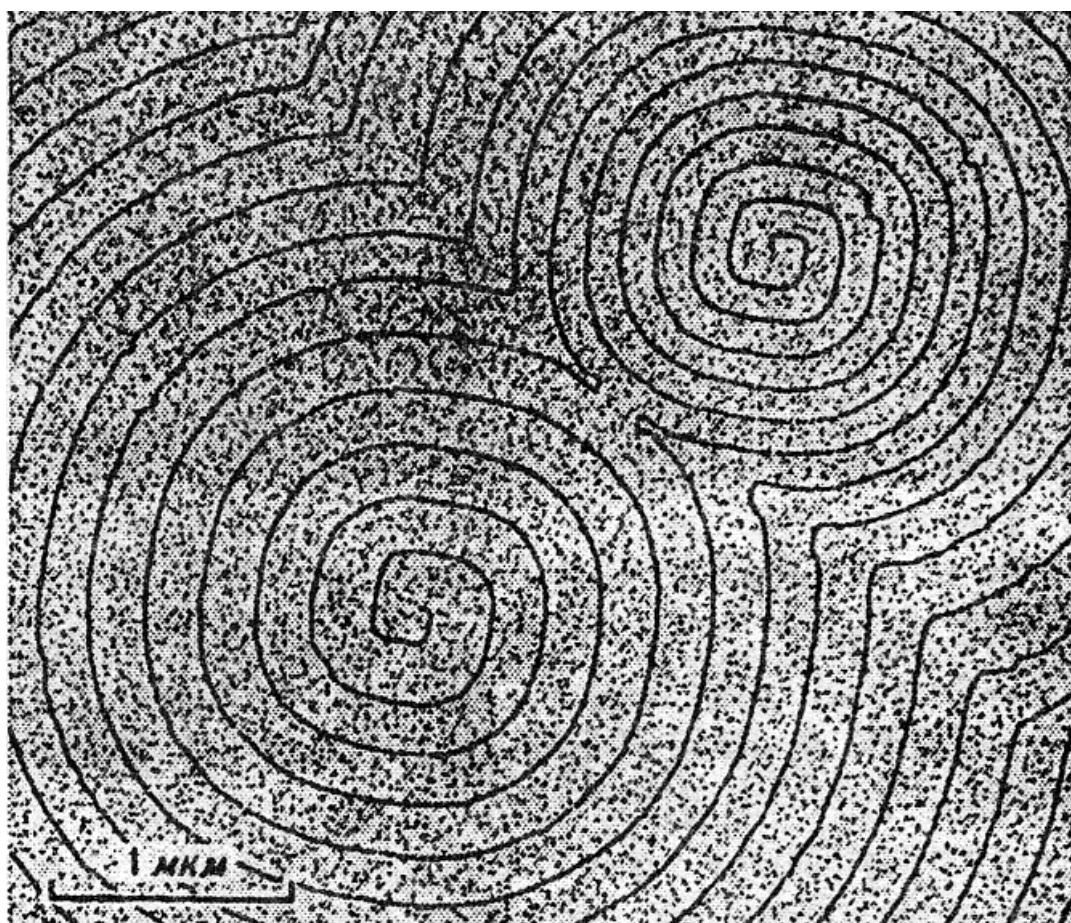


Монокристалл меди в растровом электронном микроскопе

Поверхностная геометрическая структура массивных тел изучается также и методом реплик: с поверхности такого тела снимается отпечаток в виде тонкой пленки углерода, коллодия, формвара и т. п., повторяющий

рельеф поверхности и рассматриваемый в просвечивающий электронный микроскоп. Обычно предварительно на реплику в вакууме напыляется под скользящим (малым к поверхности) углом слой сильно рассеивающего электроны тяжелого металла, например, платины, оттеняющий выступы и впадины геометрического рельефа – так называемый метод декорирования.

Этот метод позволяет исследовать не только геометрию структуры поверхностей, но и микрополя, обусловленные дислокациями, скоплениями точечных дефектов, ступенями роста кристаллических граней, доменной структурой и т. д.



Метод декорирования. Дислокации на поверхности кристалла NaCl

В этом случае на поверхность образца вначале напыляется очень тонкий слой декорирующих частиц (атомы Au, Pt, молекулы полупроводников или диэлектриков), осаждающихся преимущественно на участках сосредоточения микрополей, а затем снимается реплика с включениями декорирующих частиц.

С помощью газовых микрокамер можно изучать жидкие и газообразные объекты, неустойчивые к воздействию высокого вакуума, в том числе влажные биологические препараты. Радиационное воздействие облучающего электронного пучка довольно велико, поэтому при исследовании биологических, полупроводниковых, полимерных и т. п. объектов необходимо тщательно выбирать режим работы электронного микроскопа, обеспечивающий минимальную дозу облучения.

Наряду с исследованием статических, не меняющихся во времени объектов электронная микроскопия дает возможность изучать различные процессы в динамике их развития: рост пленок, деформацию кристаллов под действием переменной нагрузки, изменение структуры под влиянием электронного или ионного облучения и т. д. Благодаря малой инерционности электронов можно исследовать периодические во времени процессы, например, перемагничивание тонких магнитных пленок, изменение поляризации сегнетоэлектриков, распространение ультразвуковых волн и т. д.

Эти исследования проводят методами стробоскопической электронной микроскопии: образец "освещается" электронным пучком не непрерывно, а импульсно, синхронно с подачей импульсного напряжения на образец, что обеспечивает фиксацию на экране прибора определенной фазы процесса точно так же, как это происходит в светооптических стробоскопических приборах.

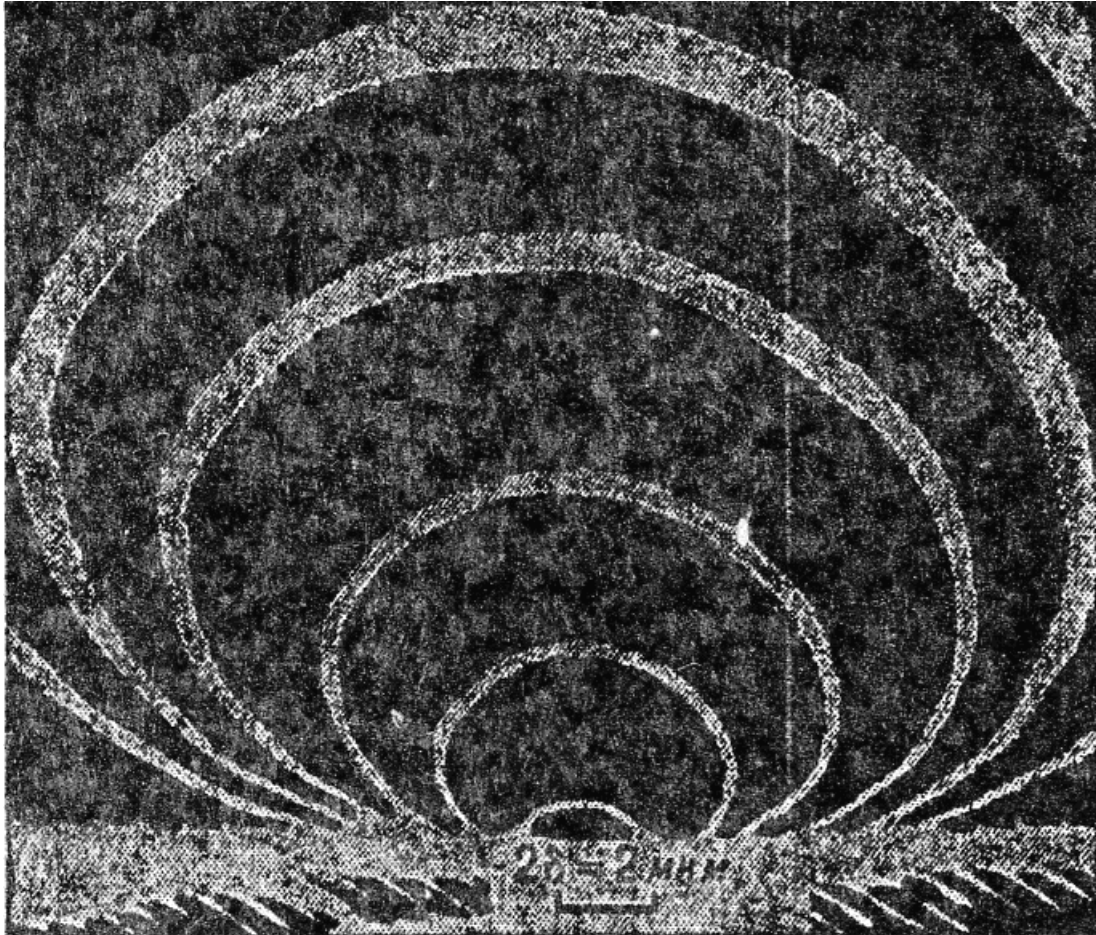
Аморфные и квазиаморфные тела, размеры частиц которых меньше разрешаемого в электронном микроскопе расстояния, рассеивают электроны диффузно. Для их исследования используются простейшие методы амплитудной электронной микроскопии. Например, в просвечивающих Электронных микроскопах контраст изображения, то есть перепад яркостей изображения соседних участков объекта, в первом приближении пропорционален перепаду толщин этих участков. Для расчета контраста изображений кристаллических тел и решения обратной задачи – расчета структуры объекта по наблюдаемому изображению – привлекаются методы фазовой электронной микроскопии: решается задача о дифракции электронов на кристаллической решетке. При этом дополнительно учитываются неупругие взаимодействия электронов с объектом: рассеяние на плазмонах, фононах и т. п. В просвечивающих и растровых электронных микроскопах высокого разрешения получают изображения отдельных молекул или атомов тяжелых элементов; пользуясь методами фазовой электронной микроскопии, восстанавливают по изображениям трёхмерную структуру кристаллов и биологических макромолекул. Для решения подобных задач применяют, в частности, методы голографии.

Разновидность фазовой электронной микроскопии – интерференционная электронная микроскопия, аналогичная оптической интерферометрии: электронный пучок расщепляется с помощью электронных призм, и в одном из плеч интерферометра устанавливается образец, изменяющий фазу проходящей сквозь него электронной волны. Этим методом можно измерить, например, внутренний электрич. потенциал образца.

С помощью так называемой лоренцевой электронной микроскопии, в которой изучают явления, обусловленные силой Лоренца, исследуют внутренние магнитные и электрические поля или внешние поля рассеяния, например, поля магнитных доменов в тонких пленках, сегнетоэлектрических доменов, поля головок для магнитной записи информации и т. п.

Состав объектов исследуется методами микродифракции, то есть электронографии локальных участков объекта; методами рентгеновского и катодолюминесцентного локального спектрального микроанализа: регистрируется рентгеновское излучение на характеристических частотах или катодолюминесценция, возникающие при бомбардировке образца сфокусированным пучком электронов. Кроме того, изучаются энергетические спектры вторичных электронов, выбитых первичным электронным пучком с поверхности или из объёма образца.

Существуют и продолжают разрабатываться методы количественной электронной микроскопии – точного измерения различных параметров образца или исследуемого процесса, например, измерение локальных электрических потенциалов, магнитных полей, микрогеометрии поверхностного рельефа и т. д.



Изображение линий равной напряженности поля магнитной головки

Электронная микроскопия используется и в технологических целях, например, для изготовления микросхем методом электронолитографии.

Электронный микроскоп – прибор для наблюдения и фотографирования многократно (до  $10^6$  раз) увеличенного изображения объектов, в котором вместо световых лучей используются пучки электронов, ускоренных до больших энергий (30 – 100 кэВ и более) в условиях глубокого вакуума. Физические основы электронно-оптических приборов были заложены почти за сто лет до появления электронного микроскопа ирландским математиком У. Р. Гамильтоном, установившим существование аналогии между прохождением световых лучей в оптически неоднородных средах и траекториями частиц в силовых полях. Целесообразность создания электронного микроскопа стала очевидной после выдвижения в 1924 гипотезы о волнах де Бройля, а технические предпосылки были созданы немецким физиком Х. Бушем, который исследовал фокусирующие свойства осесимметричных полей и разработал магнитную электронную линзу (1926). В 1928 нем. ученые М. Кнолль и Э. Руска приступили к созданию первого маг-

нитного просвечивающего электронного микроскопа и спустя три года получили изображение объекта, сформированное пучками электронов. В дальнейшем (М. фон Арденне, Германия, 1938; В. К. Зворыкин, США, 1942) были построены первые растровые электронные микроскопы, работающие по принципу сканирования (развертывания), т. е. последовательного от точки к точке перемещения тонкого электронного пучка (зонда) по объекту. К середине 1960-х годов растровые электронные микроскопы достигли высокого технического совершенства, и с этого времени началось их широкое применение в научных исследованиях. Просвечивающие электронные микроскопы обладают самой высокой разрешающей способностью, превосходя по этому параметру световые микроскопы в несколько тысяч раз. так называемый предел разрешения, характеризующий способность прибора отобразить отдельно мелкие, максимально близко расположенные детали объекта, у просвечивающего электронного микроскопа составляет  $2 - 3 \text{ \AA}$ . При благоприятных условиях можно сфотографировать отдельные тяжелые атомы. При фотографировании периодических структур, например, кристаллографических, удается реализовать разрешение менее  $1 \text{ \AA}$ . Столь высокие разрешения достигаются благодаря чрезвычайно малой длине волны электронов. Оптимальным диафрагмированием удается снижать сферическую aberrацию объектива, ухудшающую разрешающую способность электронного микроскопа. Эффективных методов коррекции aberrаций в электронном микроскопе не найдено. Поэтому в просвечивающем электронном микроскопе магнитные электронные линзы, обладающие меньшими aberrациями, полностью вытеснили электростатические.

Выпускаемые просвечивающие электронные микроскопы можно разделить на три группы:

- 1) электронные микроскопы высокого разрешения,
- 2) упрощенные просвечивающие электронные микроскопы и
- 3) электронные микроскопы с повышенным ускоряющим напряжением.

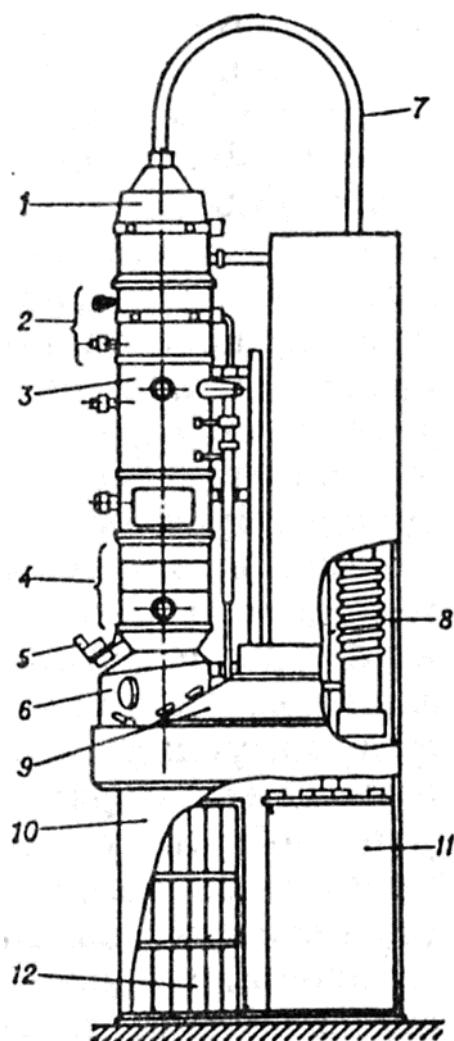
Просвечивающие электронные микроскопы с высокой разрешающей способностью ( $2 - 3 \text{ \AA}$ ) – как правило, универсальные приборы многоцелевого назначения. С помощью дополнительных устройств и приставок в них можно наклонять объект в разных плоскостях на большие углы к оптической оси, нагревать, охлаждать, деформировать его, осуществлять рентгеновский структурный анализ, электронографические исследования и др.

Ускоряющее электроны напряжение достигает 100 кВ, регулируется ступенеобразно и отличается высокой стабильностью: за 1 – 3 минуты оно изменяется не более чем на 1 – 2 миллионные доли от исходного значения.



Величина ускоряющего напряжения определяет толщину объекта, которую можно "просветить" электронным пучком. В 100-киловольтных электронных микроскопах изучают объекты толщиной от 10 до нескольких тысяч  $\text{Å}$ .

На изображении типичного просвечивающего электронного микроскопа с высокой разрешающей способностью, приведенном на рисунке, показана его оптическая система (колонна), в которой с помощью специальной вакуумной системы создается глубокий вакуум [давление до  $10^{-6}$  мм рт. ст. ( $10^{-4}$  Па)].

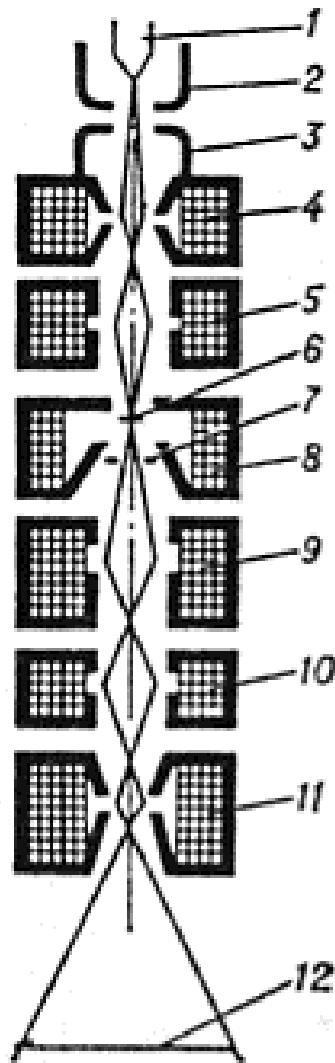


Электронный микроскоп просвечивающего типа

На рисунке:  
1 — электронная пушка, 2 — конденсорные линзы; 3 — линза объектива;  
4 — проекционные линзы, 5 — световой микроскоп, дополнительно уве-

личивающий изображение, наблюдаемое на экране, 6 — тубус со смотровыми окнами, 7 — высоковольтный кабель, 8 — вакуумная система, 9 — пульт управления, 10 — стенд; 11 — высоковольтное питающее устройство, 12 — источник питания линз.

Схема оптической системы просвечивающего электронного микроскопа, изображенная на следующем рисунке, содержит:



Оптическая схема просвечивающего электронного микроскопа

1 — катод; 2 — фокусирующий цилиндр; 3 — анод; 4 — первый (короткофокусный) конденсор, создающий уменьшенное изображение

источника электронов; 5 — второй (длиннофокусный) конденсор, который переносит уменьшенное изображение источника электронов на объект; 6 — объект; 7 — апертурная диафрагма; 8 — объектив; 9, 10, 11 — система проекционных линз; 12 — катодолюминесцентный экран.

Пучок электронов, источником которых служит накаленный катод 1, формируется в электронной пушке и затем дважды фокусируется первым 4 и вторым 5 конденсорами, создающими на объекте электронное "пятно" малых размеров (при регулировке диаметр пятна может меняться от 1 до 20 мкм). После прохождения сквозь объект 6 часть электронов рассеивается и задерживается апертурной диафрагмой 7. Нерассеянные электроны проходят через отверстие диафрагмы и фокусируются объективом 8 в предметной плоскости промежуточной линзы. Здесь формируется первое увеличенное изображение. Последующие линзы создают второе, третье и т. д. изображения. Последняя проекционная линза 11 формирует изображение на флуоресцирующем экране 12, который светится под воздействием электронов. Увеличение электронного микроскопа равно произведению увеличений всех линз. Степень и характер рассеяния электронов неодинаковы в различных точках объекта, так как толщина, плотность и химический состав объекта меняются от точки к точке. Соответственно изменяется число электронов, прошедших через апертурную диафрагму, а следовательно, и плотность тока на изображении. Возникает амплитудный контраст, который преобразуется в световой контраст на экране. В случае тонких объектов превалирует фазовый контраст, вызываемый изменением фаз волн де Бройля, рассеянных в объекте и интерферирующих в плоскости изображения. Под экраном электронного микроскопа расположен магазин с фотопластинками; при фотографировании экран убирается и электроны воздействуют на фотоэмульсионный слой. Изображение фокусируется плавным изменением тока, возбуждающего магнитное поле объектива. Токи других линз регулируют для изменения увеличения электронного микроскопа.

Упрощённые просвечивающие электронные микроскопы предназначены для научных исследований, в которых не требуется высокая разрешающая способность, а также при предварительных просмотрах объектов, в рутинных исследованиях, с учебной целью и т. п. Они более просты по конструкции (один конденсор и 2—3 линзы для увеличения изображения объекта), их отличают меньшее (60 — 80 кВ) ускоряющее напряжение и более низкая его стабильность. разрешающая способность этих приборов = от 6 до 15 Å.

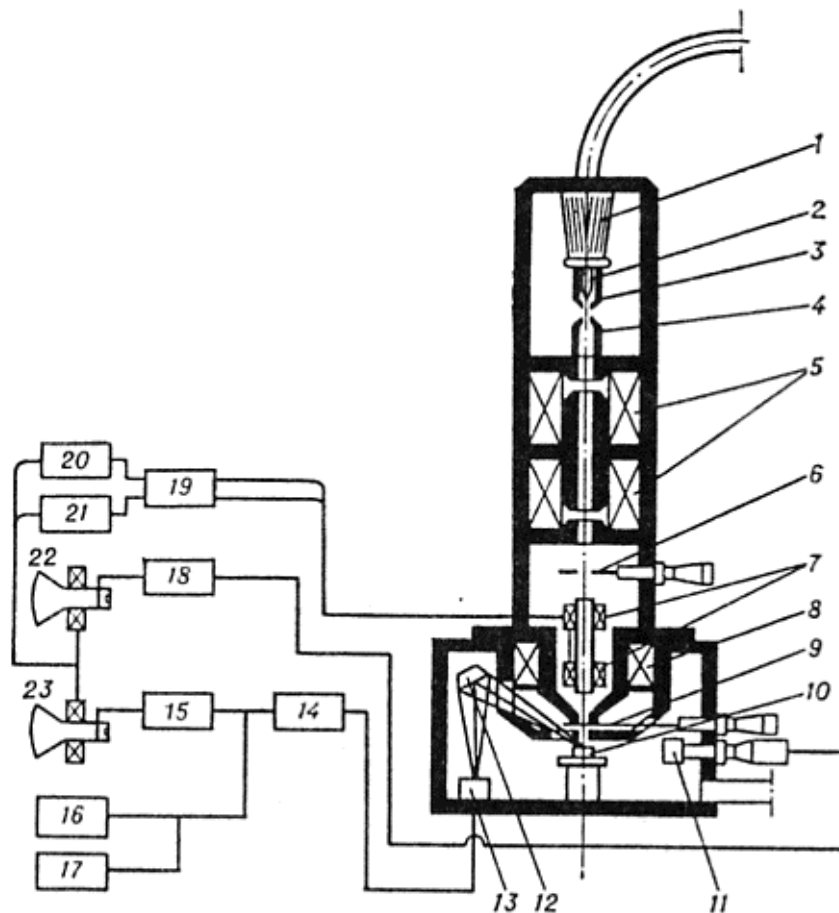
Просвечивающие электронные микроскопы с повышенным ускоряющим напряжением (до 200 кВ) предназначены для исследования более толстых объектов. Эти приборы отличаются конструкцией электронной пушки: в ней для обеспечения электрической прочности и стабильности применяют высоковольтные ускорители с несколькими ступенями ускорения. Магнитодвижущая сила линз больше, чем в 100-киловольтных просвечивающих электронных микроскопах, и сами линзы имеют увеличенные габариты и вес.

Сверхвысоковольтные электронные микроскопы – крупногабаритные приборы высотой от 5 до 15 м, с ускоряющим напряжением 0,5—0,65; 1—1,5 и 3 МВ. Для них строят специальные помещения. Они предназначены для исследования объектов толщиной до 1 —10 мкм ( $10^4$  —  $10^5$  Å). Электроны ускоряются в электростатическом ускорителе прямого действия, расположенном в баке, заполненном электроизоляционным газом под давлением.

В случае толстых объектов разрешающая способность сверхвысоковольтных электронных микроскопов в 10 – 20 раз превосходит разрешающую способность 100-киловольтных просвечивающих электронных микроскопов.

Растровые электронные микроскопы с накаливаемым катодом предназначены для исследования массивных объектов с разрешением, существенно более низким, чем у просвечивающих электронных микроскопов – от 50 до 200 Å. Ускоряющее напряжение в растровом электронном микроскопе можно регулировать в пределах от 1 до 30—50 кВ.

Устройство растрового электронного микроскопа показано на рисунке.



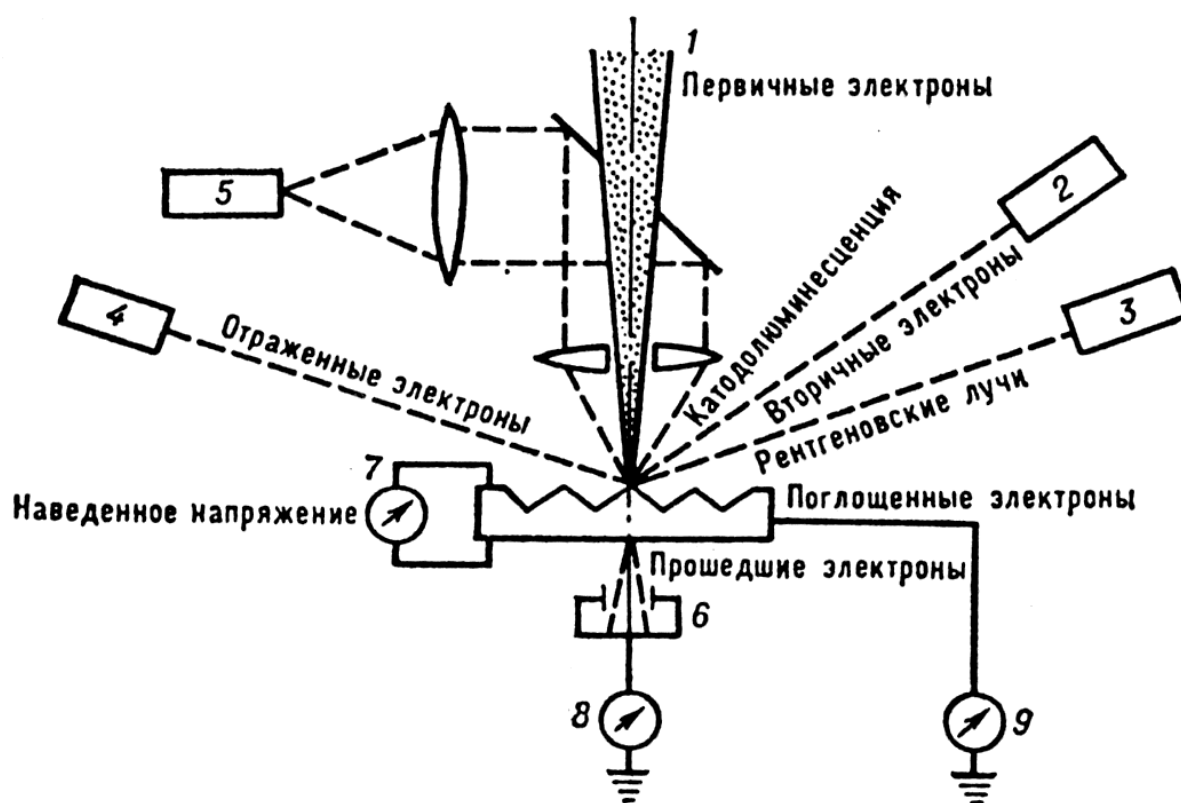
Растровый электронный микроскоп

- 1 — изолятор электронной пушки; 2 — накаливаемый V-образный катод; 3 — фокусирующий электрод; 4 — анод; 5 — конденсопные линзы; 6 — диафрагма; 7 — двухъярусная отклоняющая система; 8 — объектив; 9 — диафрагма; 10 — объект; 11 — детектор вторичных электронов; 12 — кристаллический спектрометр; 11 — пропорциональный счетчик; 14 — предварительный усилитель; 15 — блок усиления; 16, 17 — аппаратура для регистрации рентг. излучения; 18 — блок усиления; 19 — блок регулировки увеличении; 20, 21 — блоки горизонтальной и вертикальной разверток; 22, 23 — электронно-лучевые трубки.

При помощи двух или трех электронных линз на поверхность образца фокусируется узкий электронный зонд. Магнитные отклоняющие катушки развертывают зонд по заданной площади на объекте. При взаимодействии электронов зонда с объектом возникает несколько видов излучений — вторичные и отраженные электроны; электроны, прошедшие сквозь

объект, если он тонкий; рентгеновское излучение (тормозное и характеристическое); световое излучение и т. д.

Любое из этих излучений может регистрироваться соответствующим детектором, преобразующим излучение в электрические сигналы, которые после усиления подаются на электронно-лучевую трубку и модулируют ее пучок. Развертка пучка производится синхронно с разверткой электронного зонда, и на экране электронно-лучевой трубки наблюдается увеличенное изображение объекта (увеличение равно отношению высоты кадра на экране электронно-лучевой трубки к ширине сканируемой поверхности объекта). Фотографируют изображение непосредственно с экрана электронно-лучевой трубки.



Регистрация информации об объекте в растровом электронном микроскопе

1 — первичный пучок электронов; 2 — детектор вторичных электронов; 3 — детектор рентгеновского излучения; 4 — детектор отраженных электронов; 5 — детектор светового излучения; 6 — детектор прошедших электронов; 7 — прибор для измерения наведенного на объекте электрического потенциала; 8 — прибор для регистрации тока прошедших через

объект электронов; 9 — прибор для регистрации тока поглощенных в объекте электронов.

Основным достоинством растрового электронного микроскопа является высокая информативность прибора, обусловленная возможностью наблюдать изображение, используя сигналы различных детекторов. С его помощью можно исследовать микрорельеф, распределение химического состава по объекту,  $p - n$ -переходы, производить рентгеновский структурный анализ и многое другое. Растровый электронный микроскоп применяется и в технологических процессах (контроль дефектов микросхем и пр.).

Высокая разрешающая способность реализуется при формировании изображения с использованием вторичных электронов. Она находится в обратной зависимости от диаметра зоны, из которой эти электроны эмитируются. Размер зоны зависит от диаметра зонда, свойств объекта, скорости электронов первичного пучка и т. п. При большой глубине проникновения первичных электронов вторичные процессы, развивающиеся во всех направлениях, увеличивают диаметр зоны и разрешающая способность падает. Детектор вторичных электронов состоит из фотоэлектронного умножителя и электронно-фотонного преобразователя, основным элементом которого является сцинтиллятор. Число вспышек сцинтиллятора пропорционально числу вторичных электронов, выбитых в данной точке объекта. После усиления в фотоэлектронном умножителе и в видеоусилителе сигнал модулирует пучок электронно-лучевой трубки. Величина сигнала зависит от топографии образца, наличия локальных электрических и магнитных микрополей, величины коэффициента вторичной электронной эмиссии, который, в свою очередь, зависит от химического состава образца в данной точке.

Отраженные электроны улавливаются полупроводниковым (кремниевым) детектором. Контраст изображения обусловлен зависимостью коэффициента отражения от угла падения первичного пучка и от номера элемента. Разрешение в изображении, получаемом "в отраженных электронах", ниже, чем в получаемом с помощью вторичных электронов (иногда на порядок величины). Из-за прямолинейности полета электронов к коллектору информация об отдельных участках, от которых нет прямого пути к коллектору, теряется (возникают тени).

Рентгеновское характеристическое излучение выделяется при рентгеновским кристаллическим спектрометром, или энергодисперсным датчиком. Сигнал модулирует пучок электронно-лучевой трубки, и на экране возникает картина распределения того или иного химического элемента по поверхности объекта.

На растровом электронном микроскопе производят локальный рентгеновский количественный анализ: регистрируют число импульсов рентгеновских квантов от участка, на котором остановлен зонд, и сравнивают это число с эталонным. Энергодисперсный датчик регистрирует все элементы от Na до U при высокой чувствительности. Кристаллический спектрометр с набором кристаллов с различными межплоскостными расстояниями может идентифицировать элементы от Be до U.

Сущность, недостаток растрового электронного микроскопа – большая длительность процесса "снятия" информации при исследовании объектов.

Сравнительно высокую разрешающую способность можно получить, используя электронный зонд достаточно малого диаметра. Но при этом уменьшается сила тока зонда, вследствие чего резко возрастает влияние дробового эффекта, снижающего отношение полезного сигнала к шуму. Чтобы отношение сигнал/шум не падало ниже заданного уровня, необходимо замедлить скорость сканирования для накопления в каждой точке объекта достаточно большого числа первичных электронов (и соответственно количества вторичных). В результате высокая разрешающая способность реализуется лишь при малых скоростях развертки. Иногда один кадр формируется в течение 10 – 15 мин.

Растровые электронные микроскопы с автоэмиссионной пушкой обладают высокой для них разрешающей способностью (до 30 Å). В автоэмиссионной пушке используется катод в форме острия, у вершины которого возникает сильное электрическое поле, вырывающее электроны из катода. Электронная яркость пушки с автоэмиссионным катодом в  $10^3 - 10^4$  раз выше, чем яркость пушки с накаливаемым катодом. Соответственно увеличивается ток электронного зонда. Поэтому в растровых электронных микроскопах с автоэмиссионной пушкой осуществляют быстрые развертки, а диаметр зонда уменьшают для повышения разрешающей способности.

Однако автоэмиссионный катод работает устойчиво лишь при сверхвысоком вакууме ( $10^{-7} - 10^{-9}$  Па), что усложняет конструкцию таких микроскопов.

Просвечивающие растровые электронные микроскопы обладают столь же высокой разрешающей способностью, как и просвечивающие электронные микроскопы. В этих приборах применяются автоэмиссионные пушки, обеспечивающие достаточно большой ток в зонде малого диаметра (2 – 3 Å). Диаметр зонда уменьшают две магнитные линзы. Ниже объекта расположены детекторы – центральный и кольцевой. На первый попадают нерассеянные электроны, и после преобразования и усиления



соответствующих сигналов на экране электронно-лучевой трубки появляется так называемое светлорольное изображение. На кольцевом детекторе собираются рассеянные электроны, создающие так называемое темнопольное изображение.

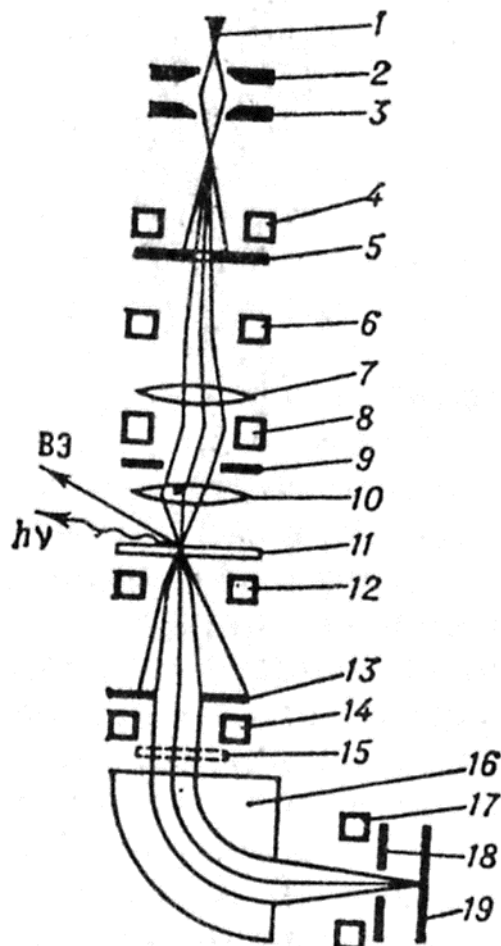


Схема просвечивающего растрового электронного микроскопа

1 — автоэмиссионный катод; 2 — промжуточный анод; 3 — анод; 4 — отклоняющая система для юстировки пучка; 5 — диафрагма "осветителя"; 6 — отклоняющие системы для развертки электронного зонда; 7 — магнитная длиннофокусная линза; 9 — апертурная диафрагма; 10 — магнитный объектив; 11 — объект; 12, 14 — отклоняющие системы; 13 — кольцевой коллектор рассеянных электронов; 15 — коллектор нерассеянных электронов; 16 — магнитный спектрометр; 17 — отклоняющая система для отбора электронов с различными потерями энергии; 18 — щель спектрометра;

19 — коллектор; ВЭ — вторичные электроны;  
 $h\nu$  — рентгеновское излучение.

В просвечивающих растровых электронных микроскопах можно исследовать более толстые объекты, чем в просвечивающих электронных микроскопах, так как возрастание числа неупруго рассеянных электронов с толщиной не влияет на разрешение (после объекта оптика отсутствует).

С помощью анализатора энергии электроны, прошедшие сквозь объект, разделяются на упруго и неупруго рассеянные пучки. Каждый пучок попадает на свой детектор, и на электронно-лучевой трубке наблюдается соответствующее изображение, содержащее дополнит, информацию о рассеивающих свойствах объекта.

Высокое разрешение в просвечивающих растровых электронных микроскопах достигается при медленных развертках, так как в зонде диаметром всего 2 – 3 Å ток получается слишком малым.

Электронные микроскопы для аналитических исследований сочетают в одном приборе принципы формирования изображения с неподвижным пучком (как в просвечивающих электронных микроскопах) и сканирования тонкого зонда по объекту, что позволило реализовать в таком микроскопе преимущества просвечивающего электронного микроскопа, растрового электронного микроскопа и просвечивающего растрового электронного микроскопа и обеспечить проведение широкого круга аналитических исследований.

В наст, время во многих просвечивающих электронных микроскопах предусмотрена возможность наблюдения объектов в растровом режиме (с помощью конденсорных линз и объектива, создающих уменьшенное изображение источника электронов, которое сканируется по объекту отклоняющими системами). Кроме изображения с неподвижным пучком на экране электронного микроскопа получают растровые изображения на экранах электронно-лучевой трубки с использованием прошедших и вторичных электронов, характеристические рентгеновские спектры и т. д. Оптическая система такого просвечивающего электронного микроскопа, расположенная после объекта, дает возможность работать в режимах, неосуществимых в других приборах.

Эмиссионные электронные микроскопы создают изображение объекта электронами, которые эмитирует сам объект при нагревании, бомбардировке первичным пучком электронов, освещении и при наложении сильного электрического поля, вырывающего электроны из объекта. Эти приборы обычно имеют узкое целевое назначение.

Зеркальные электронные микроскопы служат главным образом для визуализации электростатического "потенциального рельефа" и магнитных микрополей на поверхности объекта. Основным электронно-оптическим элементом прибора является электронное зеркало, причем одним из электродов служит сам объект, который находится под небольшим отрицательным потенциалом относительно катода пушки. Электронный пучок направляется в зеркало и отражается полем в непосредственной близости от поверхности объекта. Зеркало формирует на экране изображение "в отраженных пучках". Микрополя возле поверхности объекта перераспределяют электроны отраженных пучков, создавая контраст на изображении, визуализирующий эти микрополя.

Повышение разрешающей способности в изображениях непериодических объектов до  $1 \text{ \AA}$  и более позволит регистрировать не только тяжелые, но и легкие атомы и визуализировать органический мир на атомарном уровне. Для создания электронного микроскопа с подобным разрешением повышают ускоряющее напряжение, разрабатывают электронные линзы с малыми aberrациями, в частности криогенные линзы, в которых используется эффект сверхпроводимости при низких температурах, разрабатывают методы исправления aberrаций и т. д. Исследование механизма формирования частотно-контрастных характеристик изображения в электронном микроскопе привело к разработке методов улучшения и реконструкции изображения, которые осуществляются аналогично тому, как это делается в световой оптике, где подобные методы основаны на Фурье-преобразованиях.

При *косвенных* наблюдениях наблюдаются не сами изучаемые объекты, а результаты их воздействия на технические средства исследования. Они обязательно основываются на теоретических положениях, устанавливающих связь между наблюдаемыми и ненаблюдаемыми явлениями.

Наблюдения могут играть *эвристическую* роль в научном познании.

## **Измерение**

Измерение – это процесс, заключающийся в определении количественных значений тех или иных свойств изучаемого объекта с помощью специальных технических устройств.

Методика проведения измерения представляет собой совокупность приемов, использующих определенные *принципы* и *средства измерений*. Под принципами измерений понимаются явления, положенные в их основу. Например, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Процедура измерения может быть включена в работу автоматической информационно-измерительной системы.

*Единица измерения* – это эталон, с которым сравнивается измеряемая характеристика объекта или явления (эталону присваивается числовое значение "1"). Единицы измерения подразделяются на *основные*, выбираемые в качестве базисных при построении *системы единиц*, и *производные*, выводимые из других единиц с помощью математических соотношений.

Впервые система единиц была построена К. Гауссом в 1832 году.

В физике созданы так называемые *естественные системы единиц*. Их основные единицы определяются из законов природы.

В настоящее время в естествознании применяется преимущественно система единиц СИ, принятая в 1960 году 11 Генеральной конференцией по мерам и весам.

Измерения различаются по *видам*. По зависимости измеряемых величин от времени: *статические* и *динамические*.

По способу получения результатов: *прямые* и *косвенные*.

Измерения являются важной составной частью эксперимента.

## **Эксперимент**

Эксперимент (от лат. *exрērimentum* – проба, опыт) является комплексным, наиболее сложным методом эмпирического исследования, включающим в себя другие методы (наблюдение, измерение) и обладает присущими только ему особенностями.

По типу решаемых задач и виду обработки получаемых экспериментальных данных эксперименты разделяются на:

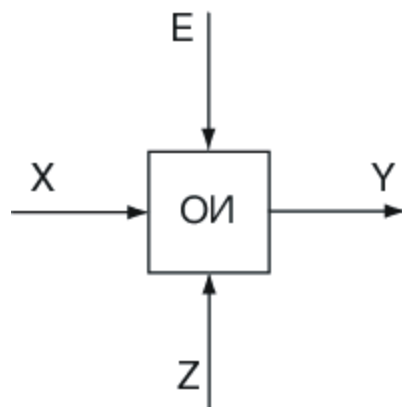
- регрессионный анализ,
- дисперсионный анализ,
- ковариационный анализ.

Регрессионный и дисперсионный виды анализа оперируют только с количественными факторами, ковариационный – как с количественными, так и с качественными.

При этом дисперсионный анализ служит для статистической проверки гипотез.

Далее подробно рассматривается регрессионный анализ.

Любой объект исследования, как правило, может быть представлен в виде "черного ящика" с определенным количеством входов и выходов



Модель объекта экспериментального исследования.

Входами являются:

- X – контролируемые и управляемые переменные,
- Z – контролируемые, но не управляемые переменные,
- E – неуправляемые и неконтролируемые переменные.

Выходные показатели Y характеризуют исследуемые свойства или качества объекта исследования.

Под *экспериментом* понимается система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях.

*Целью* эксперимента является получение описания изучаемого явления в виде некоторого уравнения

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  называются входными параметрами, или факторами а  $y$  – выходным параметром, или откликом. Фиксированное значение фактора относительно начала отсчета называется уровнем фактора.

Различают два типа эксперимента: пассивный и активный.

При проведении *пассивного* эксперимента исследователем регистрируются, но не задаются уровни факторов и значения выходного параметра, им соответствующие. Например, при исследовании протекания химической реакции через определенные промежутки времени регистрируют со-

став реактива, от которого зависит свойство, интересующее экспериментатора.

При *активном* эксперименте уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем.

Эксперимент всегда играл важную роль в естественных и прикладных науках, но научные основы его проведения и обработки полученных результатов начали разрабатывать сравнительно недавно.

Еще в первой половине 20 века проводимые эксперименты сводились к однофакторным путем фиксирования значений всех факторов кроме одного. В качестве переменного последовательно выступал каждый из включенных в рассмотрение факторов.

Для получения исчерпывающей информации о свойствах функции отклика в принципе необходимо проведение бесконечного числа опытов во всех точках области планирования эксперимента. Такой эксперимент, называемый экспериментом с полным перебором всех входных состояний, практически не реализуем. В действительности экспериментатор вынужден задаться дискретной сеткой значений факторов, что фактически определяет некоторые свойства функции отклика. Стремление к исключению ошибок приводит к увеличению числа опытов. Такой эксперимент трудоемок, дорог и не всегда дает полную информацию об объекте.

Внимание исследователей к эффективности экспериментов было обусловлено ростом общего числа проводимых экспериментальных работ, усложнением объектов исследования, стремлением учесть одновременное действие на исследуемый объект множества различных факторов, тенденцией к увеличению времени и удорожанию экспериментальных исследований. Существовавшие ранее методы проведения эксперимента перестали удовлетворять исследователей, поэтому закономерно появление и быстрое развитие нового научного направления: *теории планирования эксперимента* как методологической основы современных экспериментальных исследований.

Научная основа этой теории заложена английским статистиком Р. Фишером, который в начале 20-х годов 20 века впервые разработал и доказал целесообразность метода одновременного варьирования всех факторов. Но лишь через три десятилетия эта теория нашла практическое применение. В 1951 году Бокс и Уилсон разработали метод, по которому исследователь должен последовательно ставить небольшие серии опытов, варьируя в каждой из этих серий все факторы по определенным правилам.

После этого появляется целый ряд работ, в которых излагались другие методики. Успехи в теоретической разработке и практическом приме-

нении планирования эксперимента и привели к формированию новой дисциплины.

Теория планирования эксперимента оперирует стандартными в настоящее время понятиями, терминами и определениями.

Теория планирования эксперимента позволяет выбрать такой его план, то есть совокупность данных, при котором, сознательно отказываясь от полного перебора входных состояний, осуществляется непосредственная связь числа уровней варьирования по каждому фактору с выбором вида аппроксимации функции отклика.

При отсутствии априорной информации о свойствах функции отклика рекомендуется начинать исследование с построения наиболее простой модели. После осуществления эксперимента и обработки данных делают заключение о пригодности модели. В случае ее непригодности модель усложняют. Если принятая модель более сложна, чем того требует исследуемый процесс, то она вырождается в более простую.

Факторы  $x_1, x_2, \dots, x_n$  в общем случае – размерные величины различных порядков. Это приводит к неудобствам при обработке экспериментальных данных. Поэтому проводят нормализацию факторов, в результате которой они преобразуются в безразмерные, принимающие значения между  $-1$  и  $+1$ . Значение  $i$  – го фактора в безразмерной системе связано со значением этого фактора в натуральной системе (в именованных единицах) формулой

$$x_i = \frac{x_i^H - x_{O_i}^H}{\Delta x_i^H}, \quad (2)$$

где  $x_{O_i}^i$  – основной уровень фактора, принимаемый за начало отсчета,

$\Delta x_i^i$  – интервал в натуральных единицах масштаба, соответствующий одной единице масштаба в безразмерных переменных.

Математическую модель явления (1) можно представить в виде ряда

$$y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n + a_{12} x_1 x_2 + \dots + a_{n-1, n} x_{n-1} x_n + a_{11} x_1^2 + \dots + a_{nn} x_n^2 + \dots \quad (3)$$

На практике всегда ограничиваются конечным числом членов разложения (3), представляющего собой модель регрессионного анализа. Регрессионный анализ позволяет установить значимость факторов, количественно определить коэффициенты уравнения (3), отбросив незначимые члены.

На основании заданных требований и ожидаемого вида модели регрессионного анализа производится планирование эксперимента. Разработаны различные виды планов эксперимента.

К эксперименту предъявляются некоторые общие требования, не зависящие от конкретной области применения:

1. Необходимо исключить влияние внешних воздействий, не принятых к рассмотрению,
2. Необходимо уменьшить до разумных пределов число переменных в эксперименте,
3. План эксперимента должен быть лучшим с той или иной точки зрения,
4. Необходимо выбрать способ обработки экспериментальных данных и форму представления результатов.
5. Необходимо проверить правильность (приемлемость) получаемых результатов и их точность.



## Оглавление

Введение	3
Методология научного исследования	4
Объекты научного исследования	5
Логика как средство формирования методов научного исследования	
Определение логики	7
Разделы логики	8
Место логики в системе наук	8
Этапы развития логики	9
Диалектическая логика	13
Логика в России	15
Характеристика методов научного исследования	
Моделирование	17
Формализация	18
Аналогия	19
Классификация	20
Абстрагирование	32
Анализ	34
Синтез	35
Индукция	36
Дедукция	38
Наблюдение	39
Измерение	68
Эксперимент	68