

Технологии и оборудование производства программ для телевизионного и звукового вещания



Содержание Курса
Вводная часть
Термины и определения
Особенности восприятия
изображения и звука

МТУСИ – 2014
МТУСИ – 2019

проф., д.т.н. Немцова С.Р.
проф., д.т.н. Мишенков С.Л., ассистент Миллер К.Э.

Содержание разделов дисциплины

1. Введение. Структура телецентров, студий различного уровня

- 1.1. Вводная часть.
- 1.2. Термины и определения.
- 1.3. Обзор тенденций современного телерадиовещания.
- 1.4. Строение человеческих органов чувств и их основные характеристики.
- 1.5. Особенности зрительного восприятия ТВ изображений человеком.
- 1.6. Особенности восприятия звука человеком.
- 1.7. Формирование и первичная обработка сигналов видео и звука.
- 1.8. Основные принципы объективной и субъективной оценки ТВ изображений.
- 1.9. Нормативные требования к аналоговым и цифровым ТВ сигналам. Контроль параметров сигналов изображения и контрольно-измерительное оборудование.

2. Структура видео и звуковых студий и технологические аспекты формирования и производства радиовещательных и телевизионных программ.

2.1. Структура телецентров. Аппаратно-студийные комплексы телецентров и студий для подготовки различных передач.

2.2. Особенности комнат прослушивания многоканальных звуковых сигналов.

2.3. Стереофоническое и многоканальное звуковое сопровождение телепрограмм.

2.4. Нормативные требования к сигналам звукового вещания. Требования к уровням аналогового и цифрового сигналов в радиовещании и звуковом сопровождении телевещания. Контроль параметров звука и контрольно-измерительное оборудование.

2.5. Многоязычный комментарий.

3. Средства, форматы и носители для видеозаписи и звукозаписи. Методы измерения основных параметров. Принципы монтажа ТВ и звуковых программ.

- 3.1. Принципы звукозаписи и видеозаписи. Форматы и носители для звукозаписи и видеозаписи.
- 3.2. Принципы записи на оптические диски и твердотельную память.
- 3.3. Особенности записывающих устройств для репортажных видеокамер.
- 3.4. Компоновка телевизионной программы.
- 3.5. Принципы монтажа и способы доставки медиа информации на телецентры.
- 3.6. Виды монтажа, систем нелинейного монтажа.

4. Построение различных технологических комплексов при подготовке и выдаче ТВ программ. Виды аппаратуры и оборудования для производства и выпуска ТВ программ. Принципы автоматизации ТВ-производства.

4.1. Основные типы технологических цепочек производства и выдачи ТВ программ.

4.2. Особенности технологических цепочек при студийном и внестудийном создании новостных программ.

4.3. Обеспечение оперативности новостного производства. Основные способы распространения программ в различные регионы.

4.4. Комплексы аппаратуры и оборудования, оптимизированные для студийного, внестудийного и новостного производства. Состав оборудования и выбор форматов при различных видах ТВ и звукового вещания.

4.5. Основные нормы для ТВ и звуковых аналоговых и цифровых сигналов для распространения в крупных мегаполисах и направляемых в отдалённые районы.

4.6. Рекомендации по сжатию цифровых потоков. Основные характеристики и назначение ТВ камер, видеомэгнитофонов, оптических дисков, твёрдотельных накопителей, микшеров, коммутаторов, систем нелинейного монтажа, видеомониторов, применяемых в процессе ТВ производства.

4.7. Автоматизированные эфирные комплексы (АЭК). Компьютеризация

5. Особенности сетевого метода ТВ производства. Построение и технологии новостных комплексов. Виртуальные студии.

- 5.1. Сетевые методы ТВ производства – перспективная технология крупных телевизионных компаний.
- 5.2. Структурная схема сетевого телецентра. Аппаратура и устройства, применяемые на сетевых телецентрах.
- 5.3. Особенности и технологические цепочки производства новостных программ. Структурные схемы и аппаратура новостных комплексов.
- 5.4. Состав комплексов видеожурналистики.
- 5.5. Электронная и оптическая рир-проекции.
- 5.6. Принципы работы виртуальных студий, их роль в технологии телевизионного производства.

6. Системы и способы архивирования информации. Вопросы оцифровки аналоговых архивов.

- 6.1. Место и роль архива в комплексе телевизионного производства.
- 6.2. Основные проблемы выбора носителей для архивирования.
- 6.3. Исторические фонды и способы повышения сроков хранения.
- 6.4. Безленточные архивы телекомпаний. Оперативные архивы и архивы длительного хранения.
- 6.5. Выбор носителей для оперативного и длительного хранения.
- 6.6. Проблема поиска по метаданным. ГОСТ-Р по метаданным.
- 6.7. Проблемы воспроизведения аналоговых записей на различных видеомагнитофонах и магнитофонах.
- 6.8. Способы обработки сигналов при оцифровке.

Рекомендованная литература

Основная:

- 1. Телевидение. Учебник для вузов. Под ред. Джакония В.Е. изд. М: Радио и связь. – 2007.- 618 с.: ил.
- 2. Мишенков С.Л., Попов О.Б., Электроакустика и звуковое вещание. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 156 с.
- 3. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники: Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006, - 399с.:ил.
- 4. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 341 с.
- 5. Дворкович А.В., Дворкович В.П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). – М.: Техносфера, 2012
- 6. Дворкович А.В., Дворкович В.П. Измерения в видеоинформационных системах (теория и практика). – М.: Техносфера, 2015

Рекомендованная литература

Дополнительная:

- Рихтер С.Г. Цифровое радиовещание. - М – Горячая линия Телеком, 2015. - 352 с. ЭБС МТУСИ.
- Быков В.В., Максаков А.А. Видеоинформатика. Учебное пособие / МТУСИ, 2007. ЭБС МТУСИ
- Статьи на сайте <https://tvkinoradio.ru/article>

Темы рефератов для лабораторных работ

1. Видеокамеры для студий, включая камеры 4K и 8K. Обзор, технические требования, сравнительные характеристики.
2. Репортажное оборудование. ТЖК.
3. Квадрокоптеры и их использование в телевизионном производстве.
4. Акустические системы для воспроизведения многоканального звука в ТВ вещании. Сравнение моделей зарубежного и отечественного производства.
5. Соединительные интерфейсы телеоборудования. Переходы от аналога к цифре, от SDI к IP.
6. Импортозамещение в производстве телеоборудования.
7. Регулирование и контроль изображения в телерадиовещании. HD, UHD, HDR, HFR, WCG. Виды искажений.
8. Регулирование и контроль звука в телерадиовещании.
9. Системы нелинейного монтажа. Сравнение технических параметров. Примеры монтажных решений.
10. Коммутационные матрицы и видеомикшеры в телевизионном производстве. Виды.
11. Современные новостные студии.
12. Автоматизация вещания. Примеры сетки вещания и эфирного расписания на ПО «Digispot».
13. Мониторы, используемые в студийном производстве ТСЧ и ТВЧ программ.
14. Структурная схема сетевого телецентра. Удалённое телепроизводство.
15. Виды компрессии, её назначение, вносимые искажения.
16. Виды телевизионных программ и их процентное содержание в каналах 1 и 2 мультимплексов.
17. Брендинг при оформлении ТВ программ.
18. Технологии IPTV, OTT, HBB для ТВ вещания.
19. Сервисы цифрового вещания – отложенный просмотр, видео по запросу и др.
20. Сравнительные характеристики микрофонов для озвучивания ТВ программ, служебной связи при записи отечественного и зарубежного производства.
21. Особенности ПТС для формирования программ прямого эфира.
22. Методы доставки сигналов с места события на телерадиоцентры.
23. Современные цифровые архивы. Особенности. Требования.
24. Метаданные в производстве ТВ и РВ программ.
25. Современные пути потребления (приёма) продукции телерадиовещания.

Реферат в форме презентации на 15 минут.

Образец титульного листа реферата
на следующем слайде



**МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ**

**Факультет «Радио и Телевидение»
Кафедра СиСМК**

Тема реферата

Студент группы БРВ ____

Ф.И.О.

2019 г.

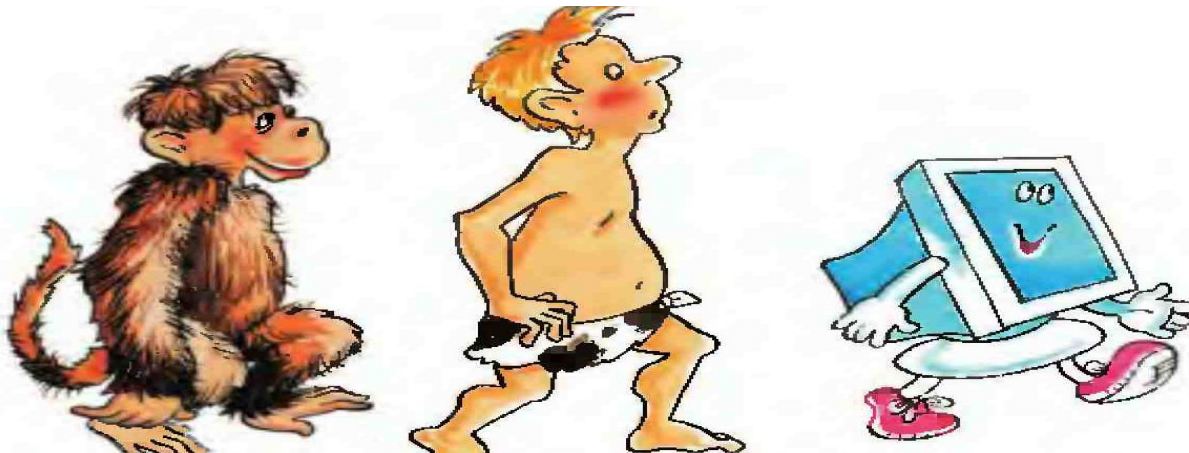
Вводная часть.

Цель изучения данного курса - подготовка специалистов по эксплуатации головных систем радио и телевизионного вещания (систем массовых коммуникаций).

Грамотная эксплуатация - важнейший этап доведения информации до пользователя, основа формулирования заказа на разработку новых средств, их разработки.

Данный курс является продолжением классических курсов звукового и телевизионного вещания.

Исторически сложилось, что эти курсы формировались обособлено Сначала радиовещание, затем телевидение, по мере развития техники, причем телевидение включало передачу изображения и звукового сопровождения.



Вводная часть.

В настоящее время технологии радио, телевизионного и кинопроизводства становятся информационными. К средствам массовой коммуникации (масс-медиа) добавилась новая среда – сеть Интернет. Появились новые форматы, среды и сервисы вещания, обратная связь с потребителем (интерактив). Например, интерактивные онлайн игры, фильмы 3D и 360°, виртуальная и дополненная реальность, мобильное телевидение и оповещение, видео по запросу, умный дом и многое другое.



Термины и определения

- **Системы коммуникаций** – системы, предназначенные для передачи (перенос, транспортировка из одного пункта в другой с необходимой обработкой, включая хранение) информации.
- **Информация** – сведения об окружающем мире и протекающих в нём процессах, независимо от формы их представления. Не зависит от субъектов восприятия.
- **Массовая информация** – информация, важная большинству членов общества, проживающих в данном ареале.
- **Массовые коммуникации** – системы коммуникаций, предназначенные для передачи массовой информации, электронные включают в себя звуковое и телевизионное вещание, вещание по сети Интернет

Термины и определения

- **Связь, вещание, оповещение** – виды коммуникаций, отличающиеся направленностью и численностью конечных пользователей.
 - **Связь** - передача информации конечному, заранее известному кругу пользователей.
 - **Вещание** - передача информации неограниченному кругу пользователей (обеспечение возможности приема информации на определенной территории).
 - **Оповещение** - обязательное доведение информации до определенного круга лиц. .
- **Массовое оповещение** – обязательное доведение информации до всех лиц, находящихся на данной территории, используя все возможные на данной территории и в данное время виды связи.

Термины и определения

- **Электросвязь** - Любая передача, излучение или прием знаков, сигналов, письменного текста, изображения и звуков или сообщений любого рода по проводам, радио, оптическим или другим электромагнитным средам.
- **Радио** - Общий термин, применяемый при использовании радиоволн.
 - Жаргонный термин обозначающий передачу звуковой информации.
- **Радиосвязь** - Электросвязь, осуществляемая с помощью радиоволн.
- **Радиоволны** или волны **Герца** - Электромагнитные волны, частоты которых условно ограничены частотами ниже 3000 ГГц, распространяющиеся в пространстве без искусственного волновода.

Термины и определения

- **Телевидение** – вид электросвязи, предназначенный для передачи сменяющихся изображений неподвижных или движущихся объектов.
 - область науки, техники и культуры, связанная с передачей на расстояние изображений подвижных объектов при помощи радиоэлектронных устройств. (Большой Энциклопедический

Следует отметить, что в телевидении вместе с сигналами изображения передаётся звук и служебная информация (метаданные)

Термины и определения

- **Средство массовой информации** – периодическое печатное издание, сетевое издание, телеканал, радиоканал, телепрограмма, радиопрограмма, видеопрограмма, кинохроникальная программа, иная форма периодического распространения массовой информации под постоянным наименованием (названием). *(Закон о СМИ, ст.2)*

Термины и определения

- **Сетевое издание** – сайт в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», зарегистрированный в качестве средства массовой информации в соответствии с настоящим Законом. (*Закон о СМИ, ст.2*)
- **Телеканал, радиоканал** – сформированная в соответствии с сеткой вещания (программой передач) и выходящая в свет (эфир) под постоянным наименованием (названием) и с установленной периодичностью совокупность теле-, радиопрограмм и (или) иных аудиовизуальных, звуковых сообщений и материалов. (*Закон о СМИ, ст.2*)

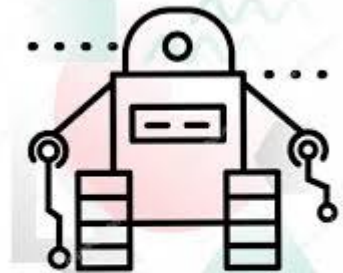
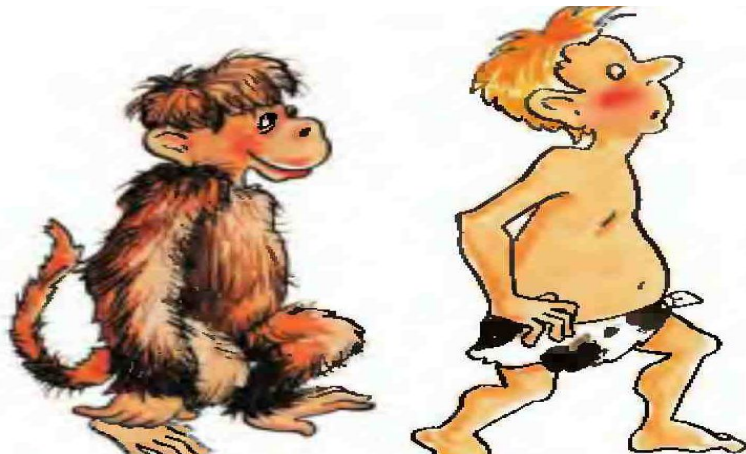
Интернет -- глобальная информационно-телекоммуникационная сеть, связывающая информационные системы и сети электросвязи различных стран посредством глобального адресного пространства, основанном на использовании Интернет-протокола (Internet protocol, IP) и протокола передачи данных (Transmission Control Protocol, TCP). [Из проекта закона «Об Интернете»]

Сам по себе Интернет не является средством массовой информации, однако, это очень удобная среда для распространения и передачи всевозможной информации.

Противопоставлять Интернет телевидению бессмысленно – всё равно, что противопоставлять сосуд его содержимому.

Обзор тенденций современного ТРВ

- ❑ Состояние ЦТВ по результату реализации Концепции на 2009 – 2018 г.
- ❑ Продвижение ТВЧ (HDTV), 4K и 8K.
- ❑ Конкуренция КТВ
- ❑ Интернет – сервисы (VoD и др.)
- ❑ Обратная связь (Hbb)
- ❑ Внимание к звуку (SMPTE 2110)
- ❑ Виртуальная и дополненная реальность (VR и AR)
- ❑ Голографическое ТВ



Переход от аналогового к цифровому ТВ вещанию

ОДОБРЕНА
распоряжением Правительства
Российской Федерации
от 29 ноября 2007 г. № 1700-р

К О Н Ц Е П Ц И Я развития телерадиовещания в Российской Федерации на 2008 - 2015 годы

Коллегия Министерства связи в декабре 1999 года приняла документ «Стратегия перехода от аналогового к цифровому телевизионному вещанию в России», а 25 мая 2004 г. было подписано распоряжение Правительства Российской Федерации № 706-р, в котором определено, что при переходе на цифровое телевизионное вещание в стране будет применяться общеевропейский стандарт **DVB** (Digital Video Broadcasting). В качестве стандарта компрессии, применяемого в цифровом эфирном телерадиовещании, планируется использовать стандарты **MPEG-4** и **более высокие**.

Переход от аналогового к цифровому ТВ вещанию

Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 августа 2015 года № 911 федеральная целевая программа «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009—2015 годы» продлена до 2018 года

К О Н Ц Е П Ц И Я **развития телерадиовещания в Российской Федерации** **на 2009 - 2018 годы**

16 марта 2012 года как стандарт наземного цифрового эфирного телевидения определён DVB-T2. DVB-T2 принципиально отличается от DVB-T как архитектурой, так и особенностями физического уровня, вследствие чего приёмники DVB-T несовместимы с DVB-T2.

Распоряжением Правительства РФ от 24 мая 2010 года № 830-р единственным исполнителем работ в рамках ФЦП «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009—2015 годы» определена «Российская телевизионная и радиовещательная сеть» (РТРС).

Переход от аналогового к цифровому ТВ вещанию

ПЛАН

поэтапного отключения аналогового вещания обязательных общедоступных телерадиоканалов по субъектам РФ

№ п/п	Этап	Дата прекращения аналогового вещания	Федеральный округ	Субъект Российской Федерации
1	0	03 декабря 2018 г.	ЦФО	Тверская область
2	1	11 февраля 2019 г.	ДФО	Магаданская область
3			ПФО	Пензенская область
4			ЦФО	Рязанская область
5			ЦФО	Тульская область
6			ПФО	Ульяновская область
7			СКФО	Чеченская Республика
8			ЦФО	Ярославская область

9	2	15 апреля 2019 г.	ДФО	Амурская область
10			ЦФО	Ивановская область
11			СКФО	Кабардино-Балкарская Республика
12			СКФО	Карачаево-Черкесская Республика
13			СФО	Кемеровская область
14			ПФО	Кировская область
15			ЦФО	Костромская область
16			УФО	Курганская область
17			ЦФО	Липецкая область
18			ЦФО	Москва
19			ЦФО	Московская область
20			СЗФО	Новгородская область
21			ЮФО	Республика Калмыкия
22			ПФО	Республика Мордовия
23			ДФО	Сахалинская область
24			СКФО	Ставропольский край
25			УФО	Тюменская область
26			ПФО	Удмуртская Республика
27			ПФО	Чувашская республика
				Ямало-Ненецкий автономный

Переход от аналогового к цифровому ТВ вещанию

ПЛАН

**поэтапного отключения аналогового вещания
обязательных общедоступных телерадиоканалов по
субъектам РФ**

№ п/п	Этап	Дата прекращения аналогового вещания	Субъект Российской Федерации
29 - 85	3	03 июня 2019 г.	Остальные субъекты

**Федеральная целевая программа
«Развитие телерадиовещания в
Российской Федерации на 2009—2018
годы»
успешно реализована !**

Важнейшие целевые индикаторы и показатели ФЦП

- ✓ доля населения РФ, имеющего возможность приема общероссийских обязательных общедоступных телеканалов и радиоканалов: 100 %;
- ✓ доля населения РФ, имеющего возможность приема 20 цифровых телеканалов свободного доступа в местах постоянного проживания: 98,1 %;
- ✓ доля населения РФ, имеющего возможность приема цифровых эфирных общероссийских обязательных общедоступных телеканалов и радиоканалов и охваченного телерадиооповещением о чрезвычайных ситуациях в местах постоянного проживания: 98,4 %;
- ✓ количество субъектов РФ, охваченных цифровым эфирным вещанием (с охватом не менее 95 % населения субъекта РФ): 83 (без учета Республики Крым и г. Севастополя).

Первый мультиплекс

Телеканалы в составе пакета РТРС-1

Состав пакета цифровых телеканалов РТРС-1 соответствует указам Президента России об общероссийских обязательных общедоступных телеканалах: № 715 от 24 июня 2009 г., № 456 от 17 апреля 2012 г., № 167 от 24 апреля 2013 г.



«Первый Канал»
<http://www.1tv.ru>



«Россия 1»
<http://www.russia.tv>



<http://www.matchtv.ru>



«НТВ»
<http://www.ntv.ru>



«Петербург-5 канал»
<http://www.5-tv.ru>



«Россия К»
<http://www.tvkultura.ru>



«Россия 24»
<http://www.vesti.ru>



«Карусель»
<http://www.karusel-tv.ru>



«Общественное телевидение
России»
<http://www.otr-online.ru>



«ТВ Центр – Москва»
<http://www.tvc.ru>

Радиоканалы



Второй мультиплекс

Телеканалы в составе пакета РТРС-2

Состав пакета цифровых телеканалов РТРС-2 сформирован в соответствии с решениями Федеральной конкурсной комиссии по телерадиовещанию от 14 декабря 2012 года и от 18 декабря 2013 года.



«РЕН ТВ»

<http://www.ren-tv.com>



«Домашний»

<http://www.tv.domashniy.ru>



«ЗВЕЗДА»

<http://www.tvzvezda.ru>



«Муз ТВ»

<http://www.muz-tv.ru>



«СПАС»

<http://www.spastv.ru>



«ТВ-3»

<http://www.tv3.ru>



«МИР»

<http://www.mirtv.ru>



«Первый развлекательный СТС»

<http://www.ctc.ru>



«Пятница»

<http://www.friday.ru>



«ТНТ»

<http://www.tnt-online.ru>

Третий мультиплекс. С 2014 года, в связи с Указом Президента России «О гарантиях распространения телеканалов и радиоканалов на территории Российской Федерации», приоритетным вариантом решения считается формирование третьего мультиплекса из каналов телевидения высокой четкости (HDTV).

В настоящее время 3-й **мультиплекс** действует:

В Республике Крым и Севастополе

1. [Первый Крымский](#)
2. [ТВФМ](#)
3. ЛДПР-ТВ
4. [Че](#)
- 5.
6. [Москва 24](#)
7. [Первый Севастопольский](#)
8. [СТВ](#)
9. [Крым 24](#)
10. [Миллет](#)

В Москве и московской области на 34 частотном канале

1. Спорт 1
2. Спорт 2 (с 00:00 до 06:00)
2. Бойцовский клуб (с 06:00 до 12:00)
2. Моя планета (с 12:00 до 18:00)
2. Наука 2.0 (с 18:00 до 00:00)
3. Русский роман (с 00:00 до 05:00)
3. Русский бестселлер (с 05:00 до 10:00)
3. Русский детектив (с 10:00 до 15:00)
3. История (с 15:00 до 20:00)
3. Мульт (с 20:00 до 00:00)
4. Сарафан (с 00:00 до 12:00)
4. Страна (с 12:00 до 00:00)
5. Живая планета (с 00:00 до 06:00)
5. IQ (с 06:00 до 09:00)
5. 24 Док (с 09:00 до 12:00)
5. Техно 24 (с 12:00 до 15:00)
5. Мама (с 15:00 до 18:00)
5. НСТ (с 18:00 до 21:00)
5. Парк развлечений (с 21:00 до 00:00)
6. Москва Доверие (с 00:00 до 12:00)
6. Euronews (с 12:00 до 00:00)

7. Музыка Первого (с 00:00 до 01:30)
7. Дом Кино (с 01:30 до 02:30)
7. Время (с 02:30 до 04:30)
7. Телекафе (с 04:30 до 06:30)
7. Бобёр (с 06:30 до 08:30)
7. Музыка Первого (с 08:30 до 00:00)
8. 365 дней (с 00:00 до 02:00)
8. ТНТ Comedy (с 02:00 до 04:00)
8. Много ТВ (с 04:00 до 06:00)
8. Life (с 06:00 до 08:00)
8. STV (с 08:00 до 10:00)
8. Индия (с 10:00 до 12:00)
8. Боец (с 12:00 до 14:00)
8. Комедия (с 14:00 до 16:00)
8. Ля-минор (с 16:00 до 18:00)
8. Мужское кино (с 18:00 до 20:00)
8. Кухня ТВ (с 20:00 до 22:00)
8. Авто Плюс (с 22:00 до 00:00)
9. LifeNews
10. Наш футбол (трансляция
остановлена)

Третий мультиплекс

В январе 2015 года в пробном режиме со столичной телебашни Останкино начал вещание **третий мультиплекс**. Запуск связан с активным внедрением на территории нашей страны цифрового телевидения. Для просмотра каналов достаточно внести изменения в настройки телевизоров: рабочая частота 578 МГц, номер ТВК 34, стандарт DVB-T2.

Ресурс на 10 позиций был распределен необычным для российского вещания способом. Роскомнадзор выдал лицензию 40 телеканалам, но работают они попеременно с определенным графиком: у каждого есть определённое время выхода в эфир.

Основная причина, по которой трансляция ведется не в полном объеме – Федеральный закон «О рекламе». Он запретил транслировать рекламу на платных или кодированных каналах, и чтобы выйти из-под этого ограничения, необходимо бесплатное эфирное вещание. Пусть даже программа показывалась один-два часа в день, но она имеет право включать в отведенное ей время рекламу в полном объеме.

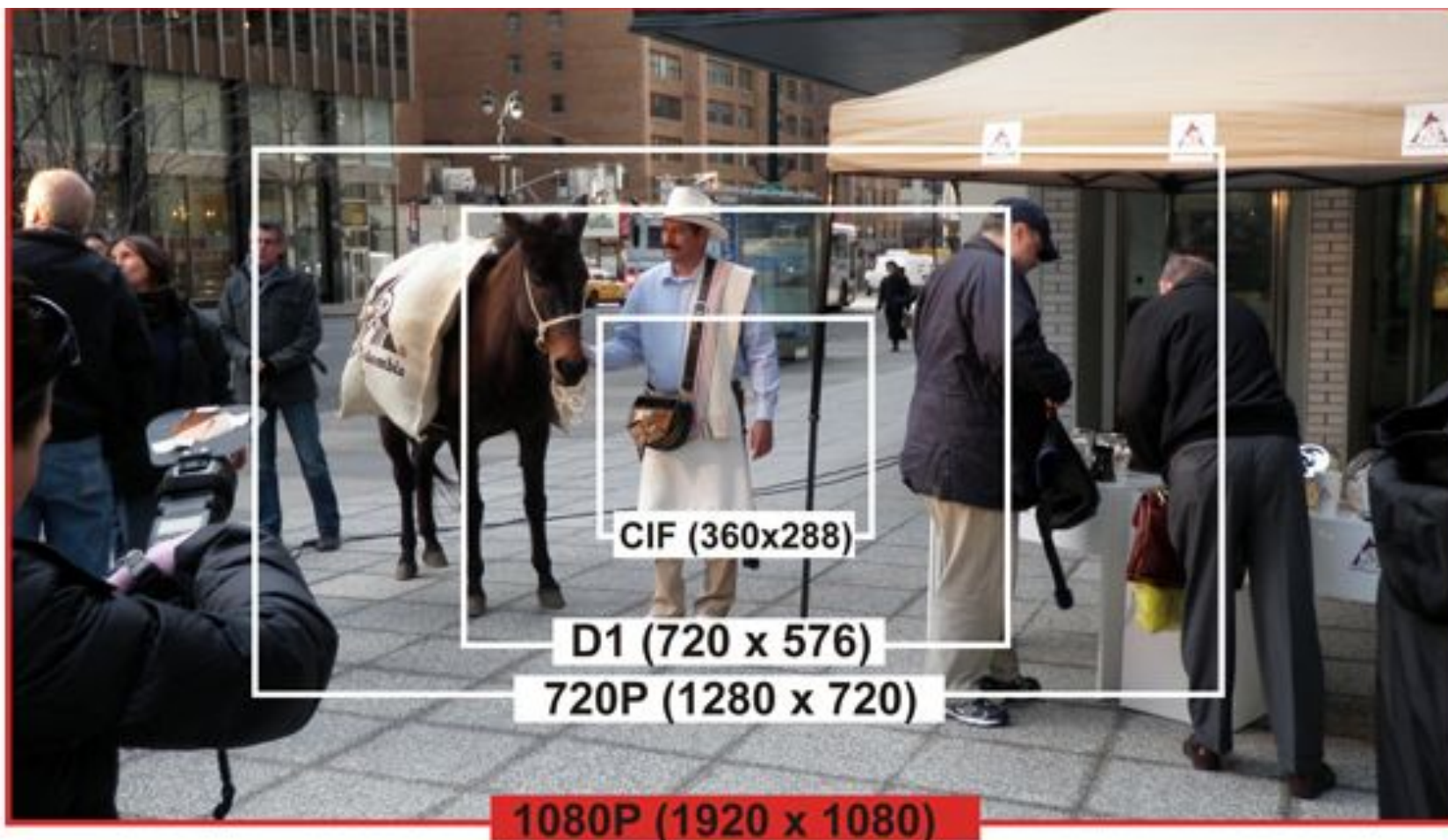
Выше представлены позиции, и график трансляции каналов с указанием времени.

В дальнейшем освобождаемые аналоговые частоты могут быть
использованы для региональных мультиплексов и каналов ТСВУ

Форматы сигналов цифрового видео

Название	Семплы по горизонтали	Семплы по вертикали	Применение
1080 i	1920	1080	ТВЧ
1080 p	1920	1080	ТВЧ
4CIF (common interchange format)	704	576	Мультимедиа
720p	1280	720	ТВЧ
CIF	352	288	Мобильное ЦТВ, мультимедиа
D1или SD	720	576	ТСЧ
D2	544	576	Нестанд.р-р ТСЧ
QCIF (Quarter...)	176	144	Мобильное ЦТВ, мультимедиа
WXGA	1366	768	Мультимедиа
XGA	1024	768	Мультимедиа

Иллюстрация возможностей стандартов



Первые пробы внедрения UHDTV

Добро пожаловать в реальность Ultra HD!

Мир сверхновых технологий.

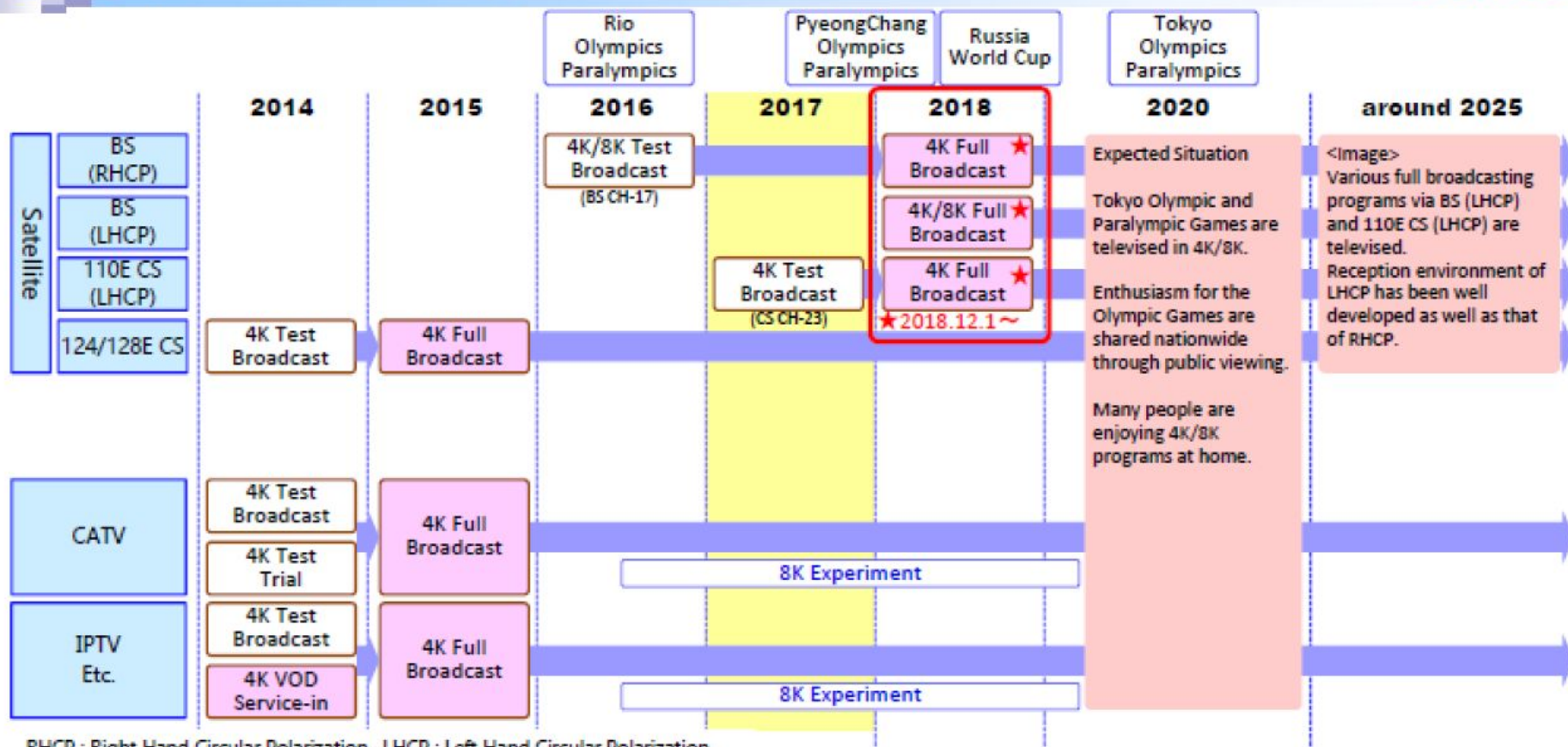
ЯПОНИЯ	2006
НИДЕРЛАНДЫ	2008
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ	2012
РОССИЯ	2013

«Дорожная карта» проекта 4K/8K UHDTV в Японии



ARIB

Japan's Roadmap for 4K/8K

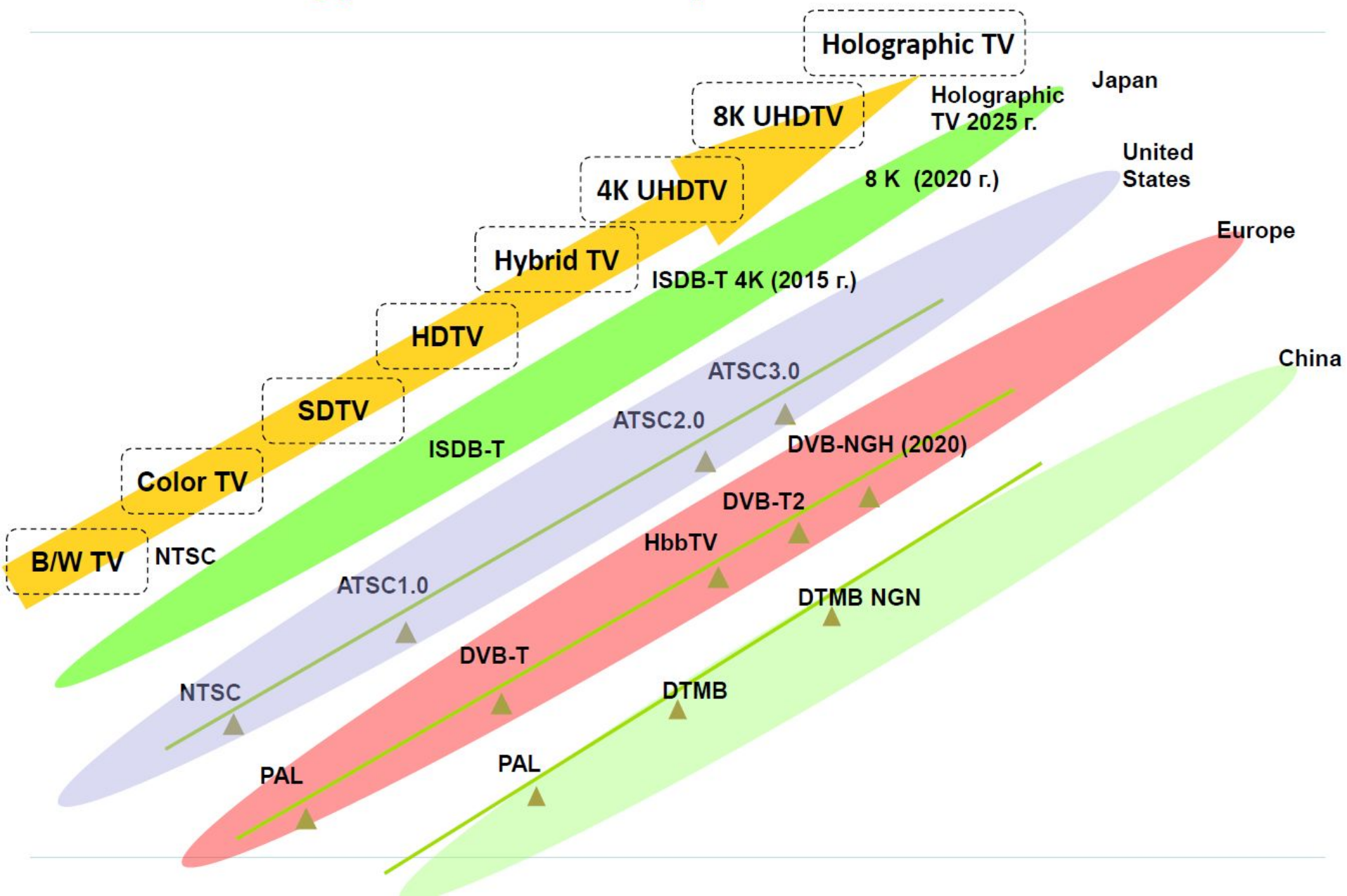


RHCP : Right Hand Circular Polarization , LHCP : Left Hand Circular Polarization

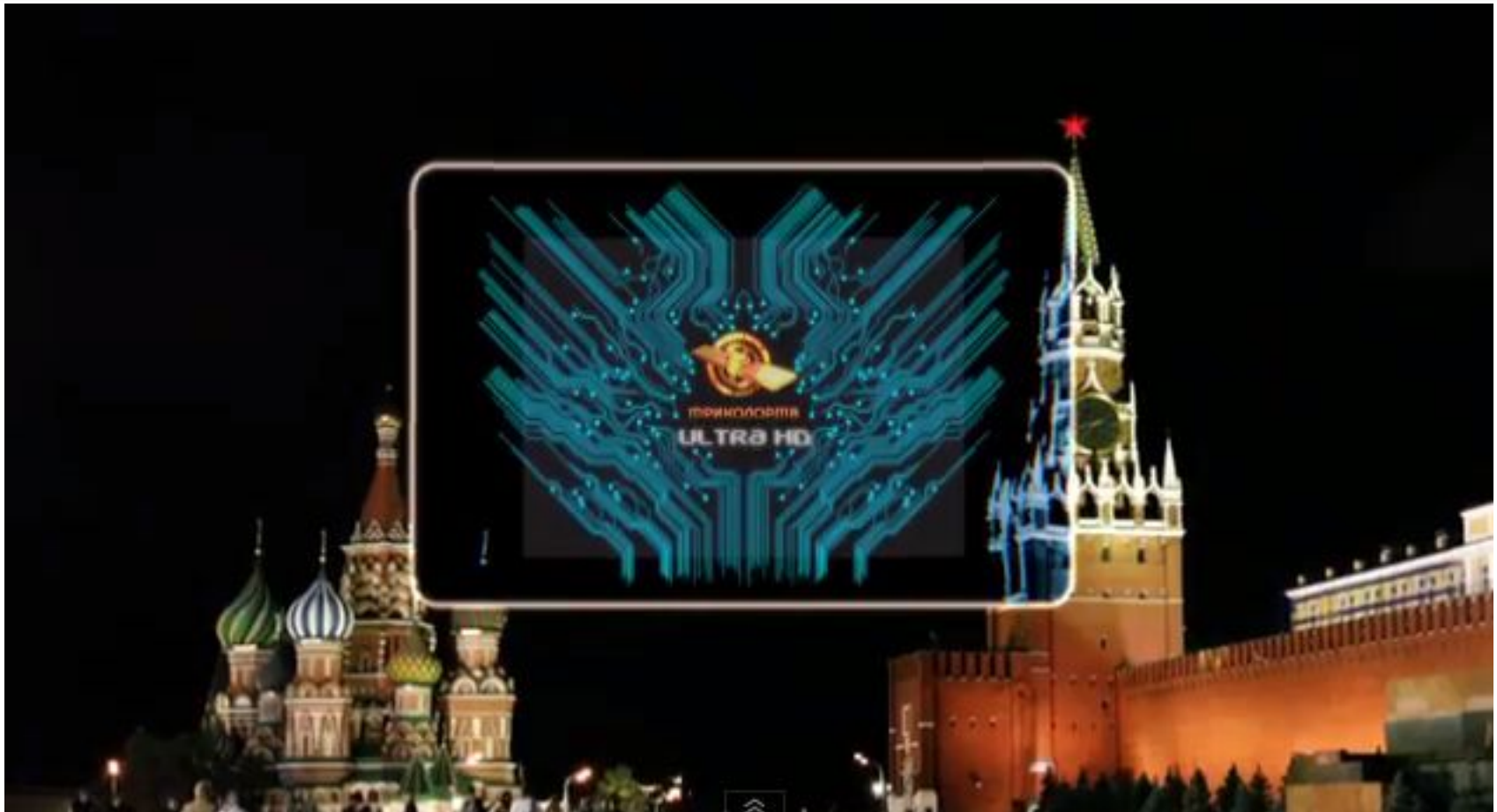


«Дорожная карта» развития систем цифрового TV в мире до 2025г.

NERC DTV
National Engineering Research Center



Трансляция UHDTV в России

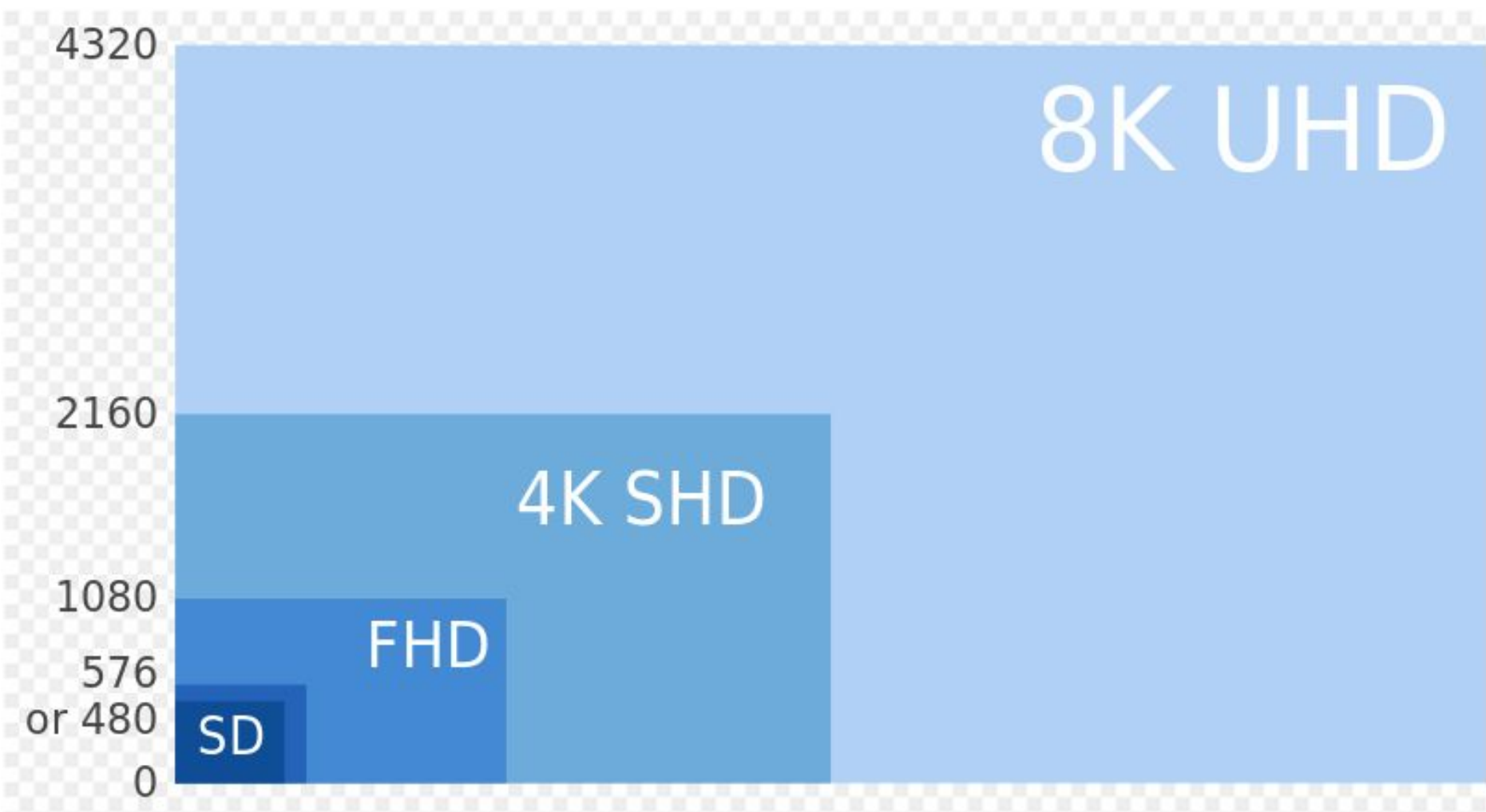


Первая публичная трансляция UHDTV в России была проведена 27 июня 2013 года спутниковым оператором «Триколор ТВ» в партнерстве с LG Electronics, Eutelsat, Ericsson и телеканалом Russian Travel Guide (RTG), входящим в холдинг Bridge Media



Председатель Оргкомитета «Сочи 2014» Дмитрий Чернышенко рассказал, что на зимних олимпийских играх в Сочи в 2014 году впервые в истории олимпийских телетрансляций съёмка осуществлялась в формате Super

Стандарты сверхвысокой четкости; 8K UHD, 4K UHD



Разрешение 4K превосходит другой стандарт — 2K — приблизительно вдвое по каждой стороне кадра.

Стандарты цифрового кино

Стандарт	Разрешение, пикселей	Соотношение сторон	Всего пикселей
Полнокадровый 4K	4096 × 3112	1,32:1	12 746 752
Академический 4K	3656 × 2664	1,37:1	9 739 584
Широкоэкранный 4K	4096 × 1714	2,39:1	7 020 544
Кашетированный 4K	3996 × 2160	1,85:1	8 631 360
Ultra HD 4K	3840 × 2160	16:9	8 294 400

24 октября 2012 года разрешение 4K, принятое также для телевидения сверхвысокой чёткости, обозначается как *Ultra HD*. Решение принято Ассоциацией потребителей электроники (CEA).

Тенденции



ННК провела трансляции олимпиады из Рио и ЧМ по футболу из Москвы в формате 8 К



HDR (High Dynamic Range – Dolby video) расширение динамического диапазона градаций яркости
HFR (High Frame Rate) – увеличения частоты кадров
WCG (Wide Color Gamut) – расширенная цветовая палитра



HEVC over DVB-DASH рекомендуемый формат вещания в 4 К
SMPTE 2110 рекомендуемые форматы производства в 4 и 8 К

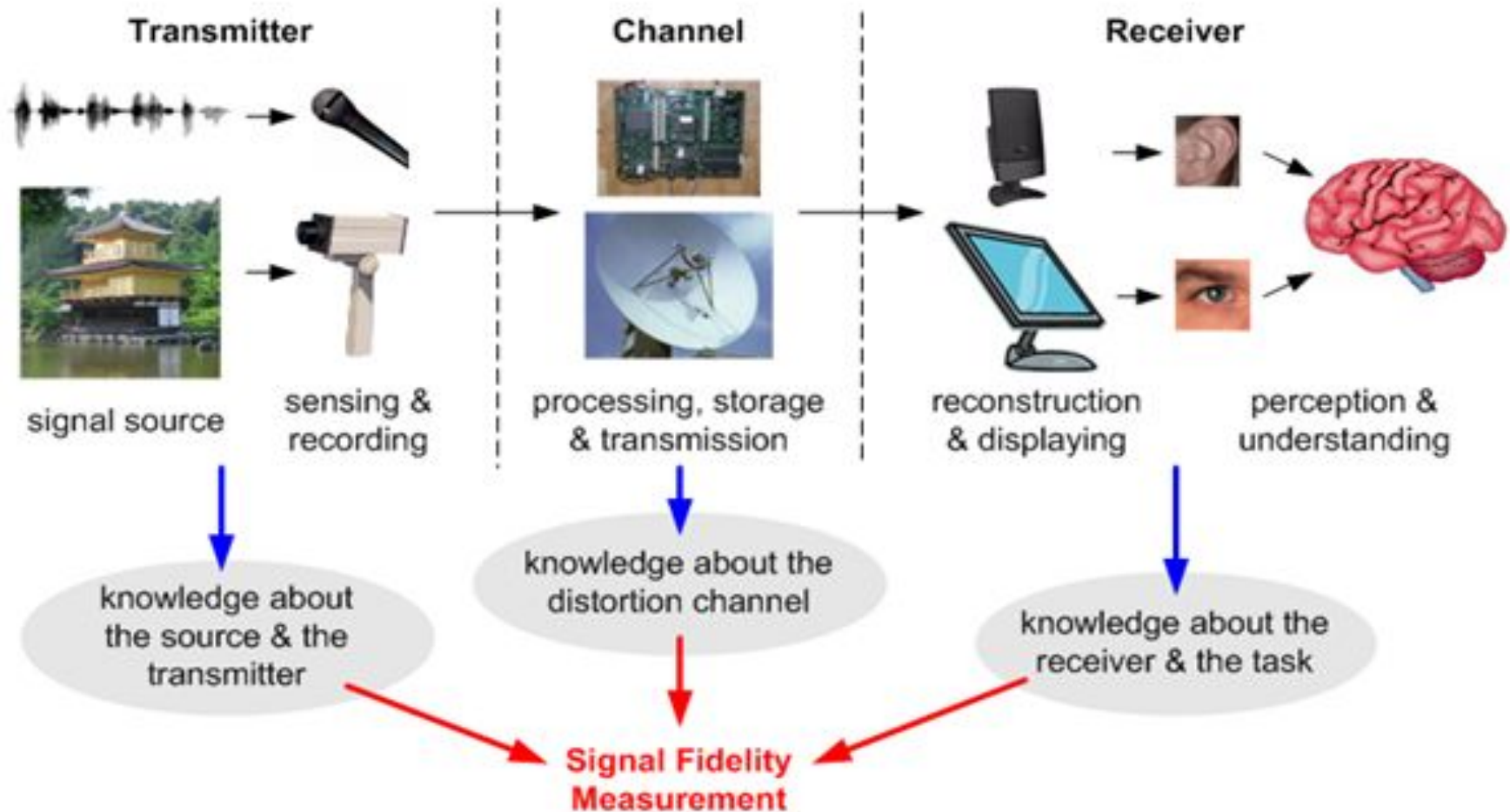


VR 360⁰ (3D Virtual Reality) – трансляция сферического видео



Голографическое телевидение

Источники аудиовизуальной информации и приемники



Источники аудиовизуальной информации и приемники

- В настоящее время техника передачи изображения достигла уровня практической незаметности пользователем искажений вносимых каналом передачи и наступила пора говорить о «погружении пользователя в среду передаваемого действия», аналогично надо поступить и со звуком (в радиовещании эти проблемы решаются последние 30 — 50 лет). Самое главное, что звуковое и видео воздействия должны быть гармонично связаны между собой.
- Технически, мы можем создать каналы передачи до пользователя сколь угодно совершенными (что определяет их стоимость), поэтому все ученые и разработчики бьются над оптимизацией их параметров.

Источники аудиовизуальной информации и приемники

- Самая сложная задача : перенос сигнала из места действия в место его воспроизведения, например в комнату, с иллюзией присутствия в месте действия (решается первичной обработкой сигнала). Частично решена для звукового вещания и на начальной стадии для телевидения.
- Для понимания требований и структуры оборудования головных трактов звукового и телевизионного вещания необходимо вспомнить параметры информации об окружающей среде и параметры систем восприятия человека.
- Окружающая нас среда характеризуется полями: тяготения, акустическим (включая вибрацию), электромагнитным, химического и

Источники аудиовизуальной информации и приемники

- Человек реагирует на эти поля, их изменения, причем, параметры его анализаторов и мозговой деятельности сформировались в результате эволюции так, чтобы максимально возможно учесть жизненно необходимую информацию из всей информации об окружающей среде. (диапазон чувствительности анализаторов, по уровню, по спектру воздействия и по их взаимодействию).

Источники аудиовизуальной информации и приемники

Человек получает информацию посредством
основных органов чувств:

- глаза (зрение),
- уши (слух),
- вестибулярный аппарат (чувство равновесия и положения в пространстве, ускорение, ощущение веса),
- кожа (осязание, ощущение боли, температуры),
- язык (вкус),
- нос (обоняние).

Источники аудиовизуальной информации и приемники

- Учитывая огромные диапазоны изменения внешних воздействий, сформировались общие логарифмические зависимости восприятия от воздействия — закон Вебера-Фехнера: сила ощущения p пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя S :

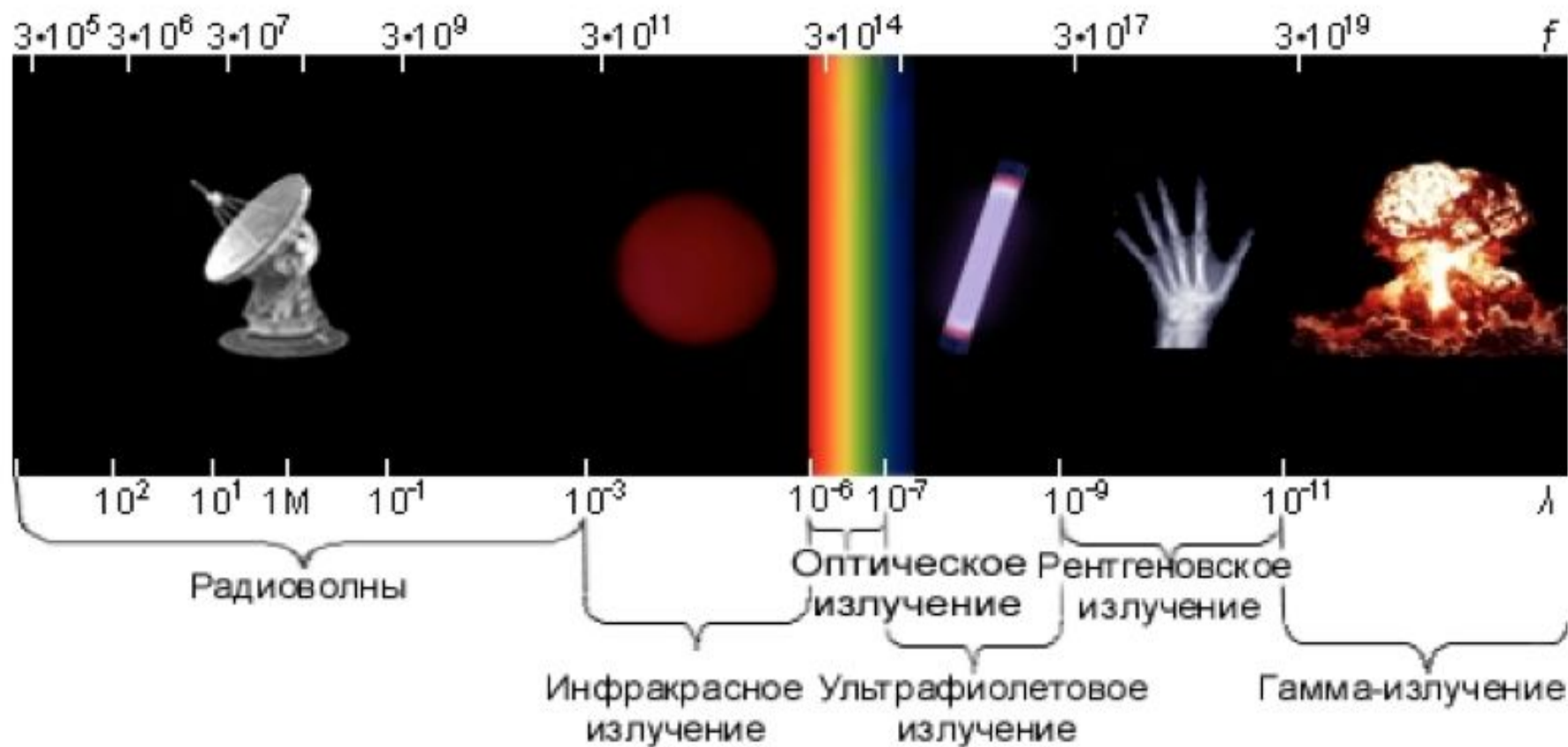
$$p = k * \log\{S\} \setminus \{S_0\}$$

где S_0 — граничное значение интенсивности раздражителя: если $S < S_0$, раздражитель совсем не ощущается.

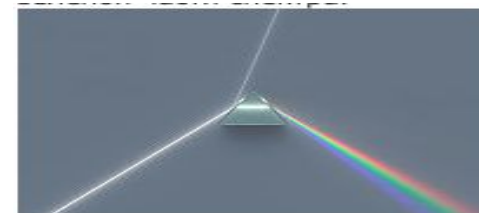
- Закон справедлив для воздействия всех полей.

- ◆ **Физиологические основы** формирования зрительных образов в зрительной системе
- ◆ **Параметры** зрительного анализатора
- ◆ **Согласование характеристик** зрительной системы с ТВС
- ◆ **Механизмы** зрительного восприятия как эталон оптимальной системы обработки изображений

Шкала электромагнитный излучений



Основные спектральные цвета



Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
Красный	625—740	480—400	1,68—1,98
Оранжевый	590—625	510—480	1,98—2,10
Желтый	565—590	530—510	2,10—2,19
Зеленый	500—565	600—530	2,19—2,48
Голубой	485—500	620—600	2,48—2,56
Синий	440—485	680—62	0 2,56—2,82
Фиолетовый	380—440	790—680	2,82—3,26

Иллюстрация Качественных зависимостей параметров: энергии фотонов, частоты и длины волны для различных видов излучений



Две теории объясняют природу света. Причём, обе теории физически обоснованы и подтверждаются экспериментами.

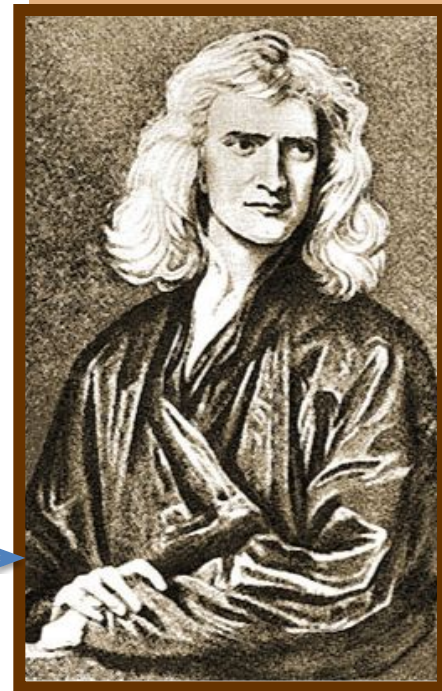


**Гюйгенс Христиан
(1629-1695)
нидерландский физик,
основоположник
волновой теории света**



1690 год: «Трактат о свете».
Свет – электромагнитная волна, способная огибать препятствия.

1704 год: «Оптика».
Свет – поток частиц.



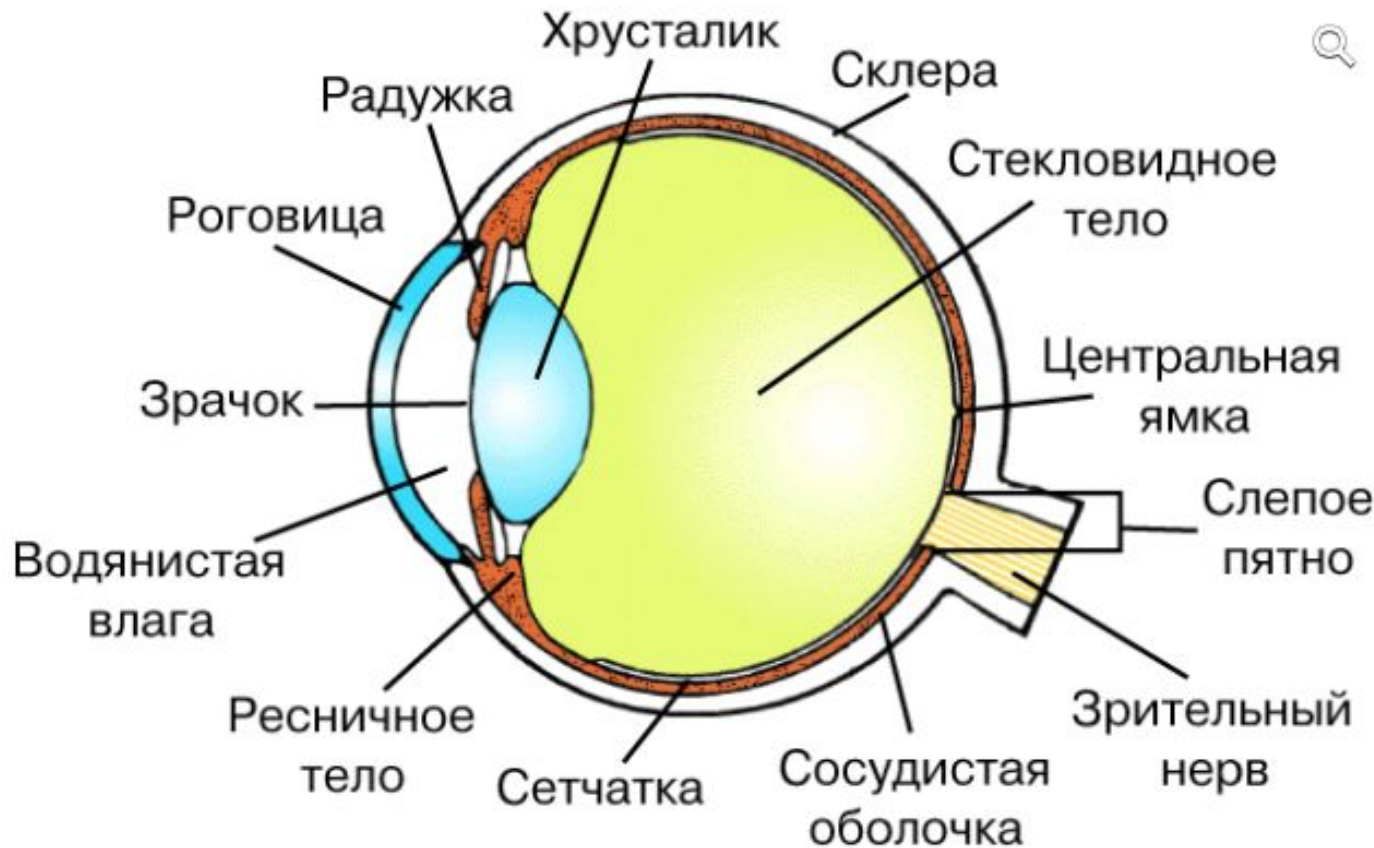
**Ньютон Исаак
(1643-1727)
английский физик,
основоположник
корпускулярной теории
света**

Свет – это сочетание двух форм материи: вещество и поле. Эту двойственность света называют дуализмом.

Свет – видимая часть излучения, одновременно поток частиц (фотонов) и электромагнитная волна.

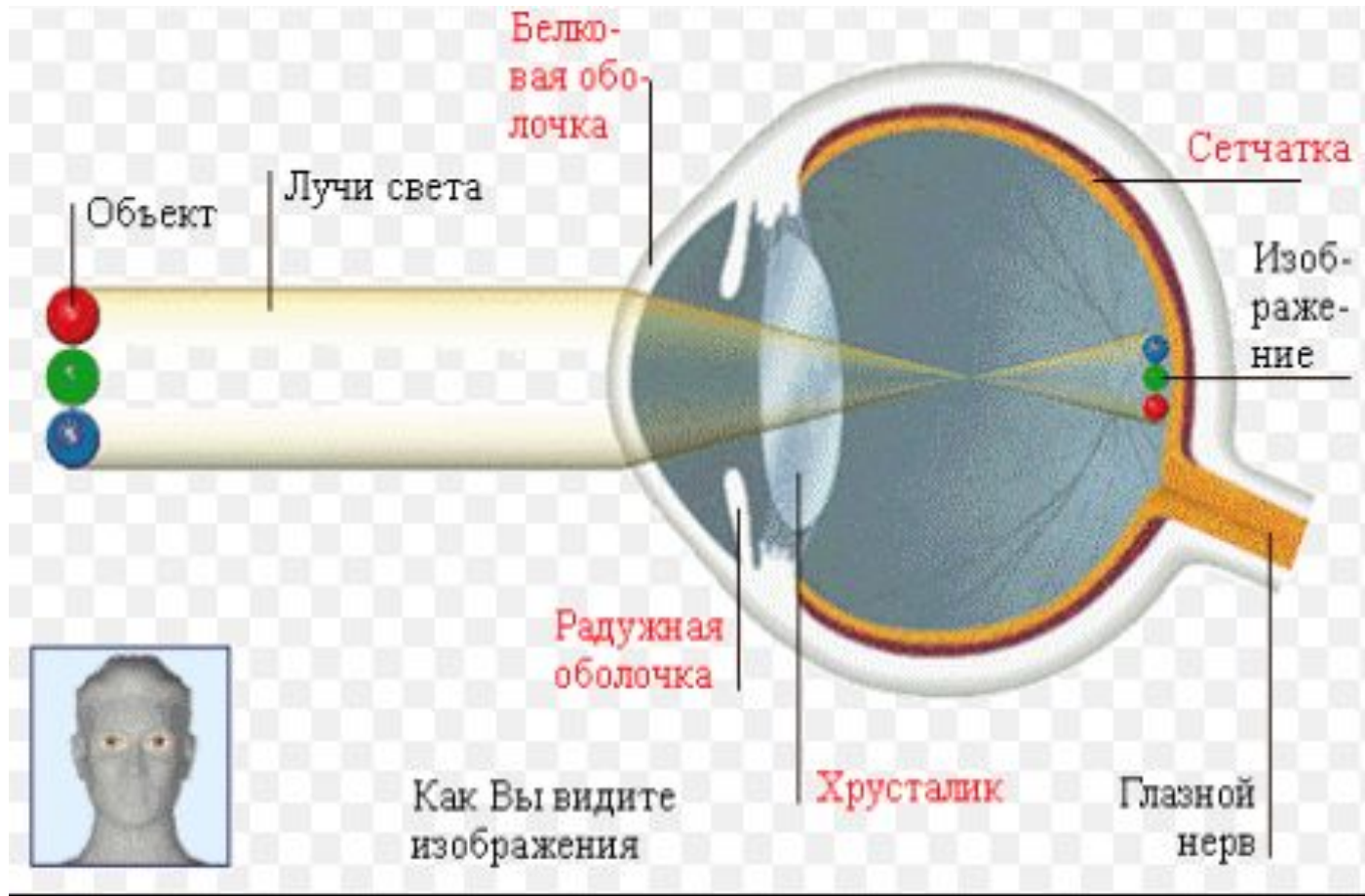


Строение глаза человека



Клетки-рецепторы, расположенные в сетчатке, делятся на два вида: **колбочки** и **палочки**. В этих клетках, вырабатывающих фермент родопсин, происходит преобразование **энергии света** (фотонов) в **электрическую энергию** нервной ткани, т.е. фотохимическая реакция.

Как мы видим?

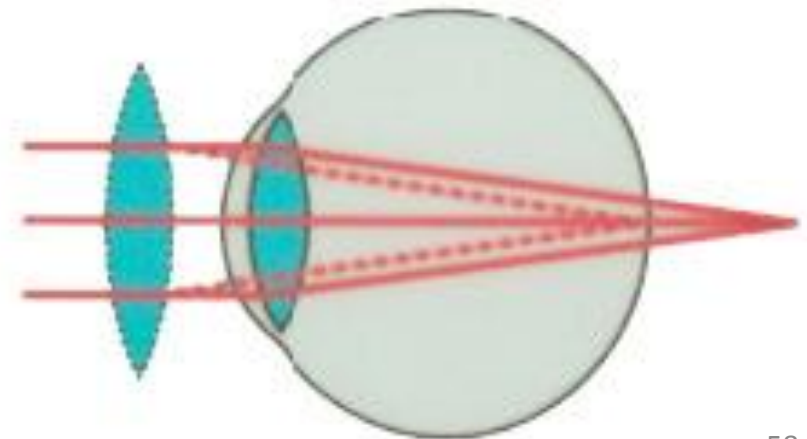
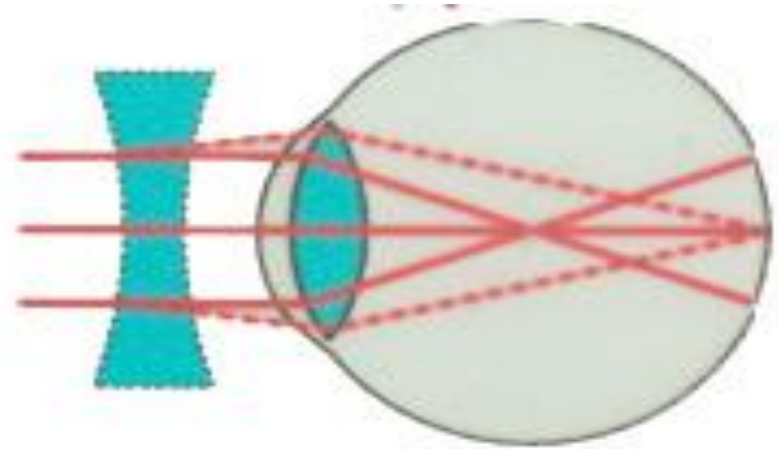
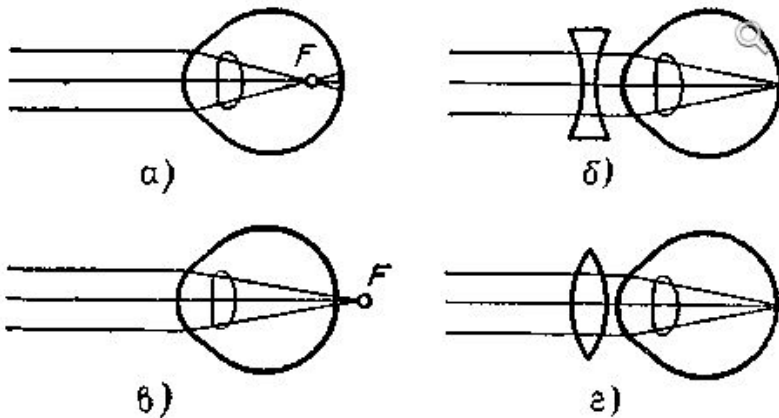


Свойства зрительного анализатора

- ◆ Разрешающая способность (острота зрения)
- ◆ Адаптация
- ◆ Аккомодация
- ◆ Бинокулярность
- ◆ Инерционность
- ◆ Цветовосприятие



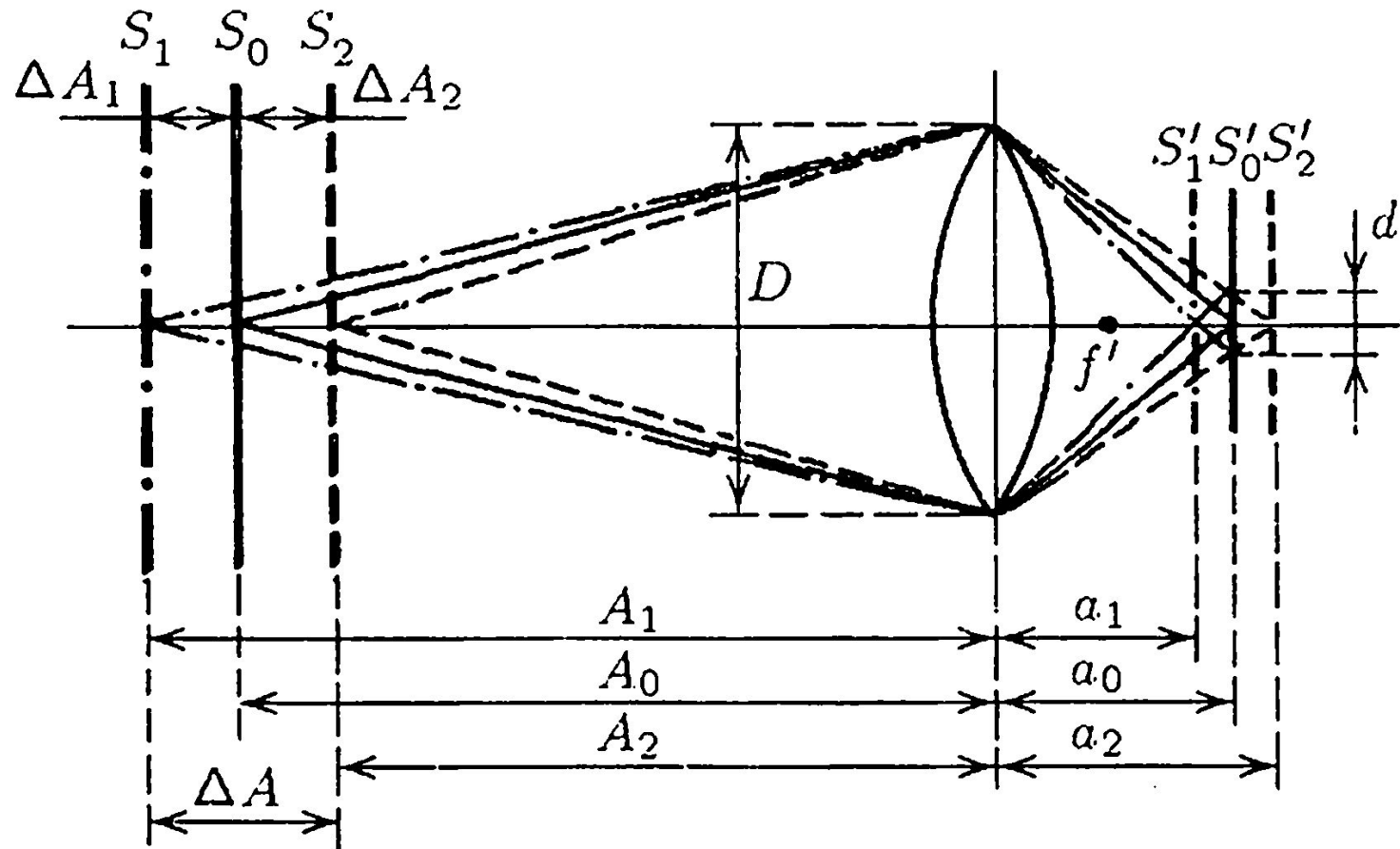
Фокусное расстояние оптической системы



Роговица
Камерная влага
Хрусталик
Стекловидное тело

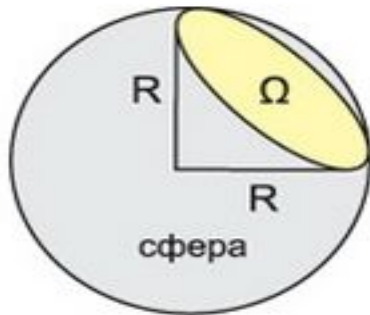
Формируют оптическую
систему с фокусным
расстоянием: 18,9...22,8мм.

Характеристики оптического изображения



К определению глубины
резкости

Световые характеристики



Телесный угол Ω

Единица измерения: стерадиан (sr)
 $\Omega = S/R^2$

Стерадиан (sr) – телесный угол (конус) с центром в сфере радиуса R, который вырезает из сферы поверхность площадью R^2

Световой поток F

Единица измерения: люмен (lm)

$$F = I \times \Omega$$

Один люмен – это световой поток, испускаемый точечным источником с силой света одна кандела в телесный угол один стерадиан.

$$1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \times \text{ср}$$

$$1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \times 1 \text{ ср}$$

Сила света I

Единица измерения: кандела (cd)

$$I = F/\Omega$$

Сила света – это отношение светового потока, направленного от источника в пределах телесного угла, охватывающего это направление, к этому углу

$$1 \text{ кд} = 1 \text{ люмен} / 1 \text{ стерадиан}$$

$$1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ ср}$$



Освещенность E

Единица измерения: люкс (lx)

$$E = F/S$$

Освещенность – это отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади поверхности

$$1 \text{ люкс} = 1 \text{ люмен} / \text{м}^2$$

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ лм} / \text{м}^2$$

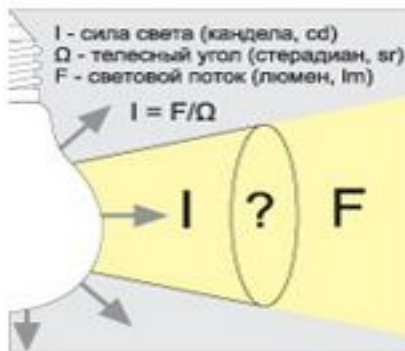
Яркость L

Единица измерения: нит

$$L = (I/S) \times \cos \alpha$$

Яркость – это отношение силы света элемента поверхности к площади его проекции, перпендикулярной рассматриваемому направлению

$$1 \text{ нит} = 1 \text{ кд} / \text{м}^2$$



Характеристики светового излучения

Световой поток –
(мощность э/м
излучения), **лм.**



Luminous Flux
Total Power (lumen)
"Light Power"

Сила света (в ед. тел.
угла), **кд**



Luminous Intensity
Total Power/Solid Angle
"Candle Power"

$\Phi = 683P$ на частоте
 $\lambda_0 = 555\text{nm}$



1. Световой поток – лм,
2. Сила света – кд,
3. Освещенность – лк,
4. Яркость – кд/м²

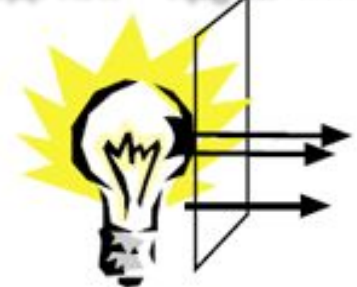
Освещенность –
световой
поток/м² – **лк** (лм/м²)



Illuminance
Total Power/Unit Area
"Illumination"

Яркость – сила
света **!**

в ед. пл. – **кд/м²**



Luminance
Total Power/Solid Angle/Projected Area
"Brightness"

Освещенность в плоскости оптического изображения E_0

$$E_0 = \frac{\rho_{об} \tau E_{об} \ddot{O}^2}{4(1 + m)^2},$$

$E_{об}$ – освещенность объекта;

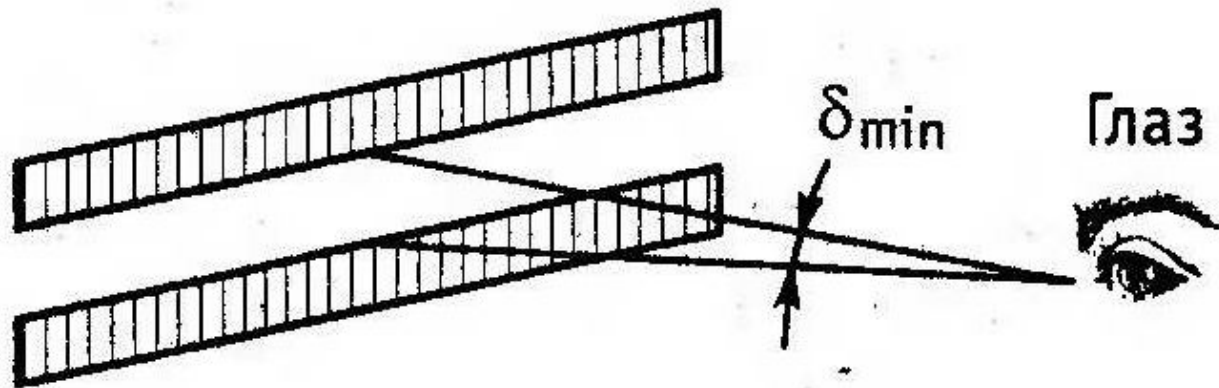
$\rho_{об}$ – коэф. отражения, и парам. объектива;

τ – коэффициент прозрачности объектива

$\ddot{O}^2 = D/f^\circ$ – относительное отверстие объектива, где D – диаметр входного зрачка, f° – фокусное расстояние;
 $m = Y_0 / Y_{об}$ – линейный масштаб изображения;

Разрешающая способность и острота зрения

(Число строк. Формат кадра)



К определению разрешающей способности зрения

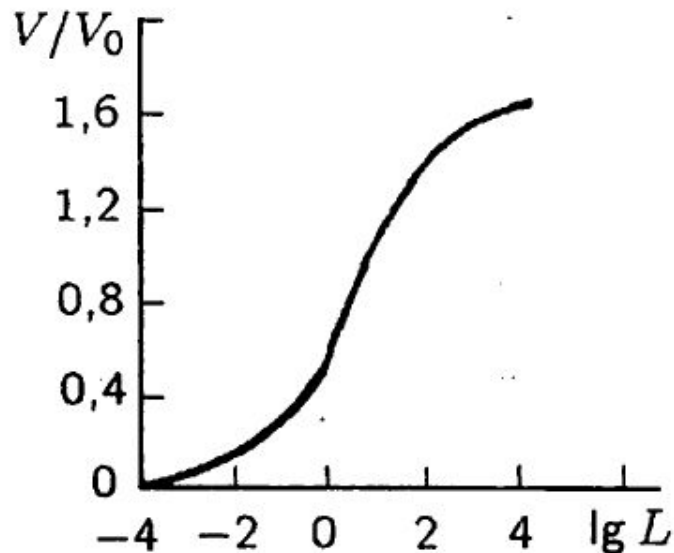
Разрешающая способность
принята -
Острота
зрения -

$$\delta_{\min}^{-1}$$

$$(\delta_{\min} \approx 1')$$

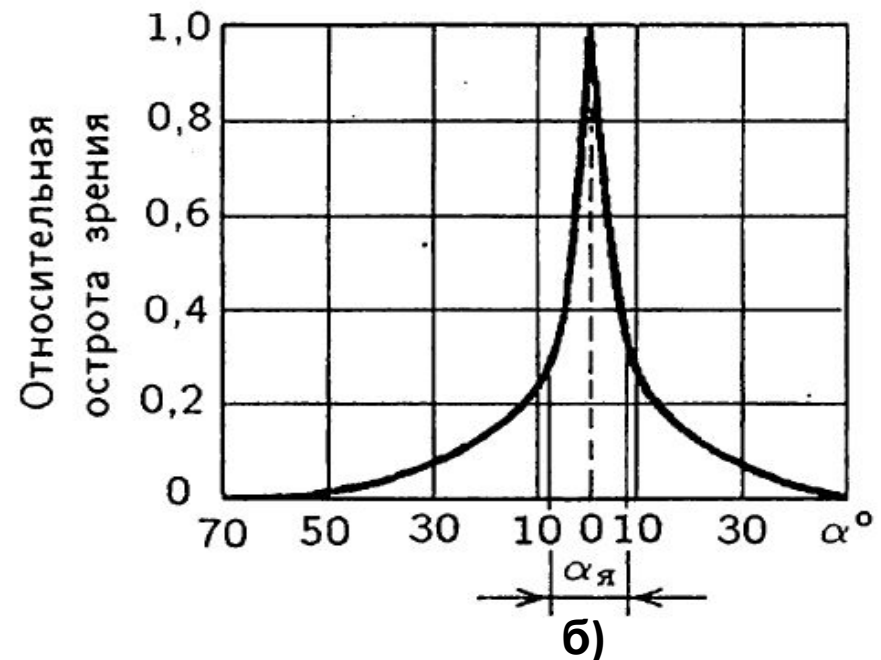
Разрешающая способность и острота зрения (Число строк. Формат кадра)

- разрешающая способность- $1\phi - V_0$
- острота зрения- $V = 1/V_0$



а)

Зависимость относительной остроты зрения V/V_0 от яркости L



б)

Изменение относительной остроты зрения по мере удаления от центрального углубления сетчатки на угловое расстояние α

Соответствие цветовой температуры к искусственным источникам света.



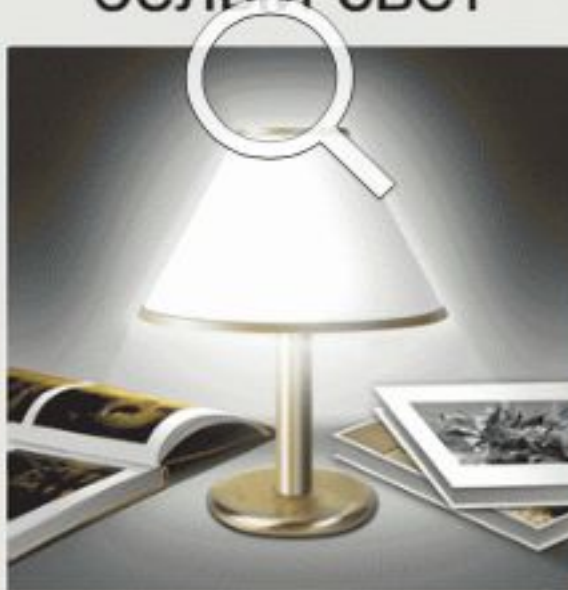
2700K

Теплый
белый свет



4200K

Естественный
белый свет



6400K

Холодный
белый свет

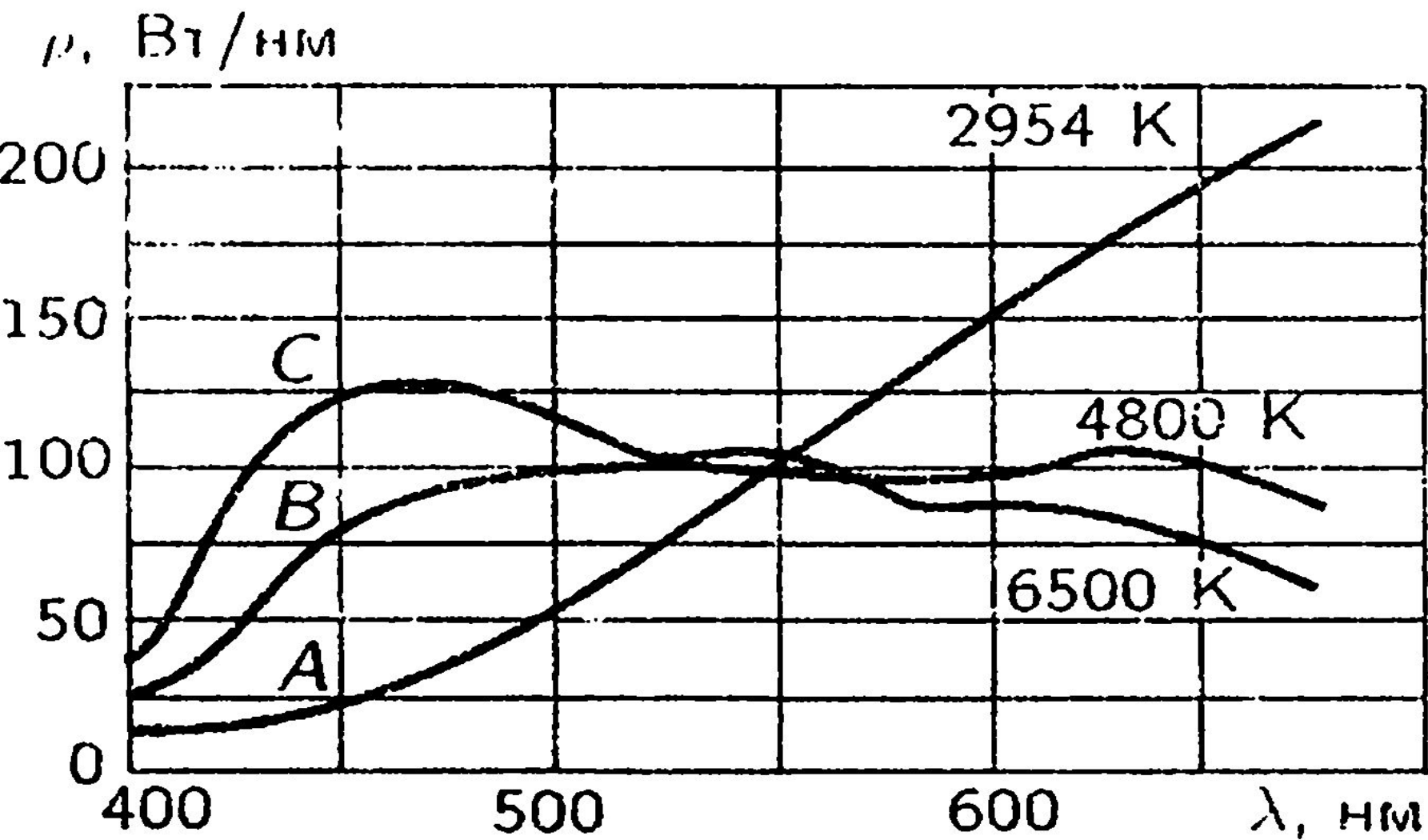


Стандартизованные источники освещения по МКО

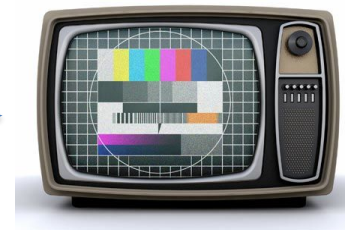
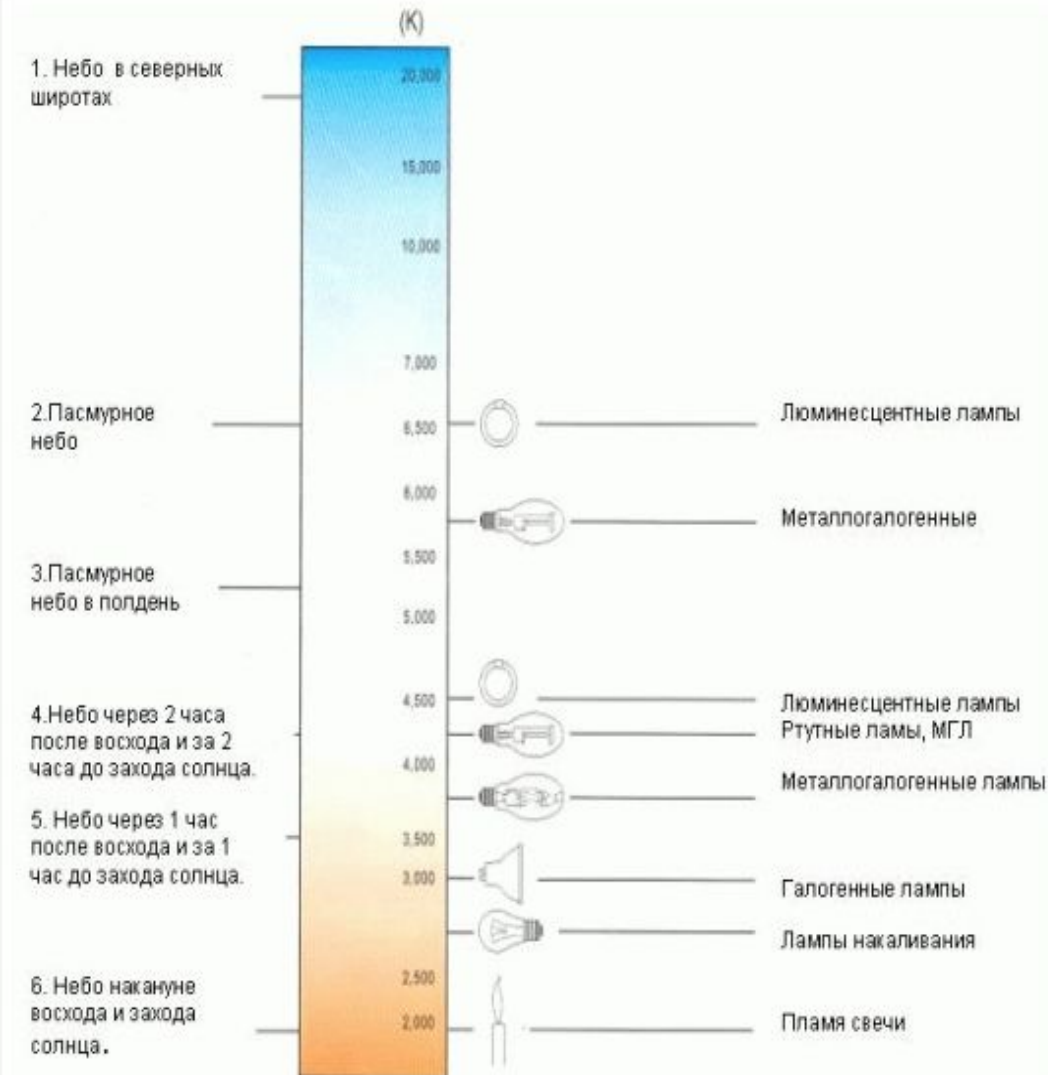
Источник освещения	Цветовая температура, К	Характеристика излучения	Координаты цветности на цветовом графике $X\text{Y}$	
			X	Y
A	2854	Вольфрамовая лампа накаливания	0,448	0,407
B	4800	Желтые фазы дневного света (облачный день)	0,348	0,352
C	6500	Голубоватые фазы дневного света (солнечный день при голубом небе)	0,310	0,316
D6500	6500	Европейский эталонный источник для ЦТ (свечение люминофоров телевизора)	0,313	0,329

В результате за эталонный источник света (опорный белый) в США принят источник C, а в Европе — источник D6500.

Спектральное распределение мощности в излучении нормированных источников А, В, С



Цветовая температура разных источников освещения

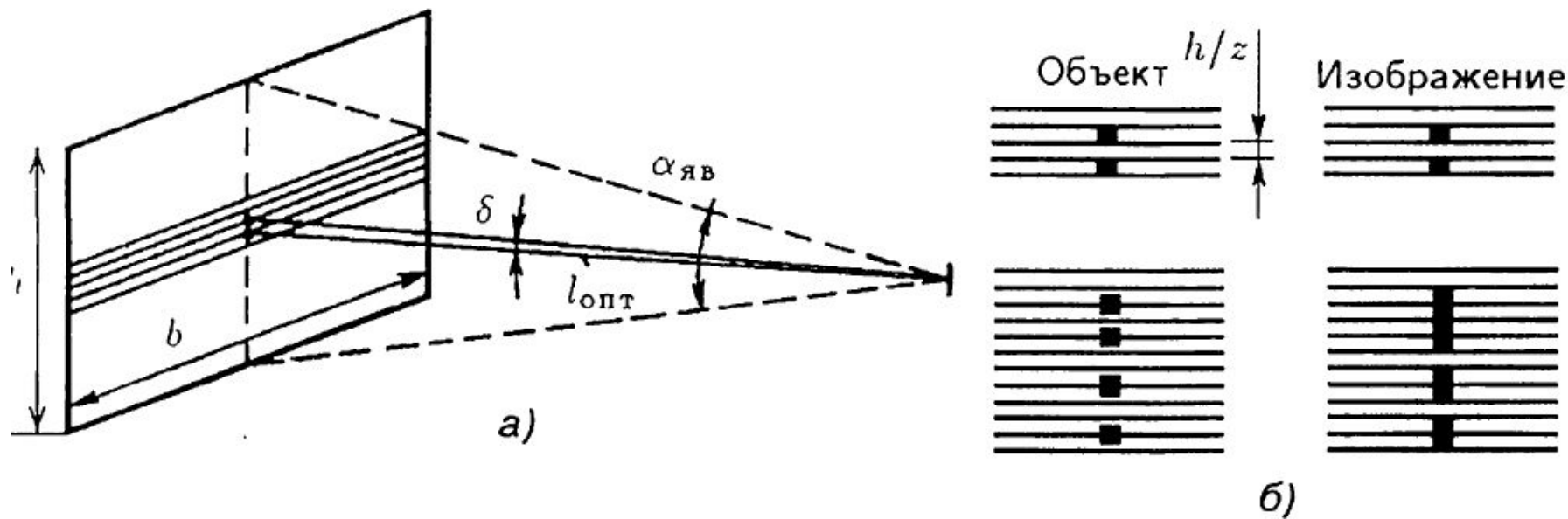


Кинескоп
D65



Студийные
светильник
и
3200

Число строк разложения и четкость в вертикальном направлении



$\alpha_{я}$ - поле ясного зрения по вертикали (12°); $\alpha_{яг}$ - по горизонтали

$$N_{я} = (\alpha_{яг} / \delta_{\min}) (\alpha_{яв} / \delta_{\min}) = (16 \cdot 60 / 1) (12 \cdot 60 / 1) = 0,7 \cdot 10^6.$$

$N_{я}$ — число элементарных участков регистрирующих информацию в поле $\alpha_{я}$

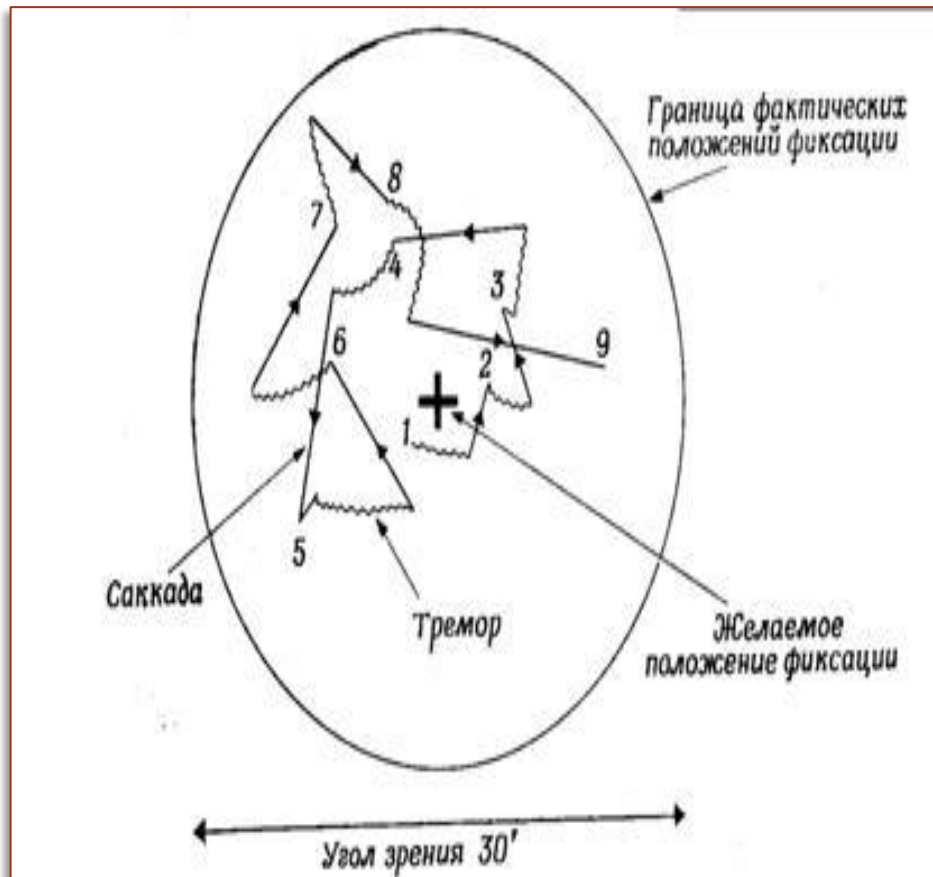
HD 1920 x 1080

HD 1280 x 720

SD 720 x 576

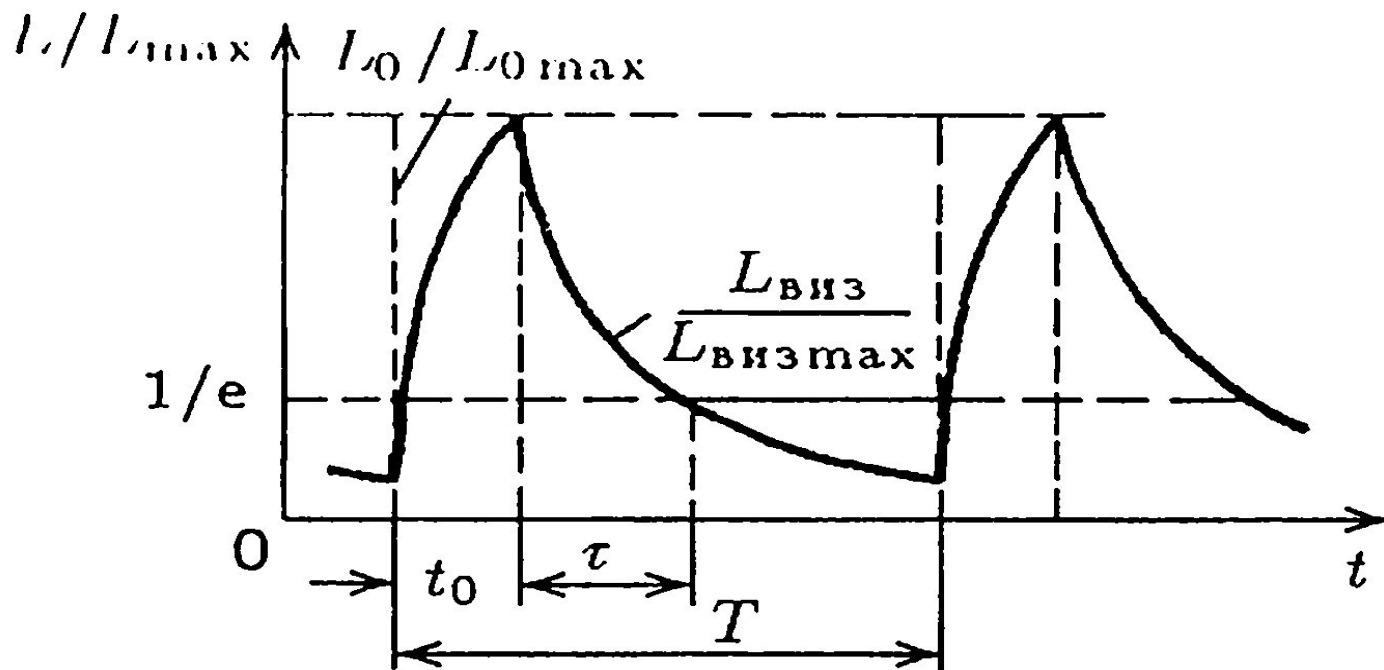
Сканирование взглядом объектов наблюдения

- 1. **Дрейф** – относительно медленное (около 0,2с) практически прямолинейное движение с протяженностью 5 – 15 угловых минут.
- 2. **Тремор** – (мелкое дрожание) колебательное синусоидальное движение с частотой 48 – 50Гц с размахом, близким к расстоянию между светочувствительными рецепторами.
- 3. **Саккада** – скачкообразное перемещение взгляда с размахом несколько угловых минут и угловой скоростью перемещения порядка сотен градусов в секунду с периодичностью 1 – 2 скачка в секунду.



Критическая частота слияния мельканий (F_k)

Число кадров, передаваемых в секунду



$$f_{\text{кр}} \approx 9,6 \lg L + 26,8 .$$

Критическая частота мельканий возрастает с увеличением яркости и угловых размеров мерцающих элементов. Для изображений с яркостью до нескольких сотен кандел на квадратный метр частоту критического мелькания принимают равной примерно 50 Гц.

Критическая частота слияния мельканий (F_k)

Число кадров, передаваемых в секунду

Аналитическое выражение зависимости (F_k)
определено для :

- 1. Интенсивности светового раздражителя

$$F_k = a \lg L + b$$

Где L – интенсивность раздражающего света,
 a и b – постоянные коэффициенты

(Зависимость называется законом Ферри -
Портера).

- 2. Размеров поля зрения

$$F_k = a \lg j + b$$

Где j - телесный угол поля зрения
 a и b постоянные коэффициенты.

Видимая яркость мелькающих изображений

Для формы и длительности световых импульсов определены аналитические зависимости, связывающие эти параметры с видимой яркостью мелькающих изображений:

- 1. Форма световых импульсов $B(t)$ связана с видимой яркостью зависимостью

$$B_{\text{вид}} = \frac{\int_0^T B(t) dt}{T}$$

Эта зависимость известна как закон Тальбота.

- 2. Длительность светового импульса t связана с видимой яркостью $B_{\text{вид}}$ зависимостью, определенной Лазаревым:

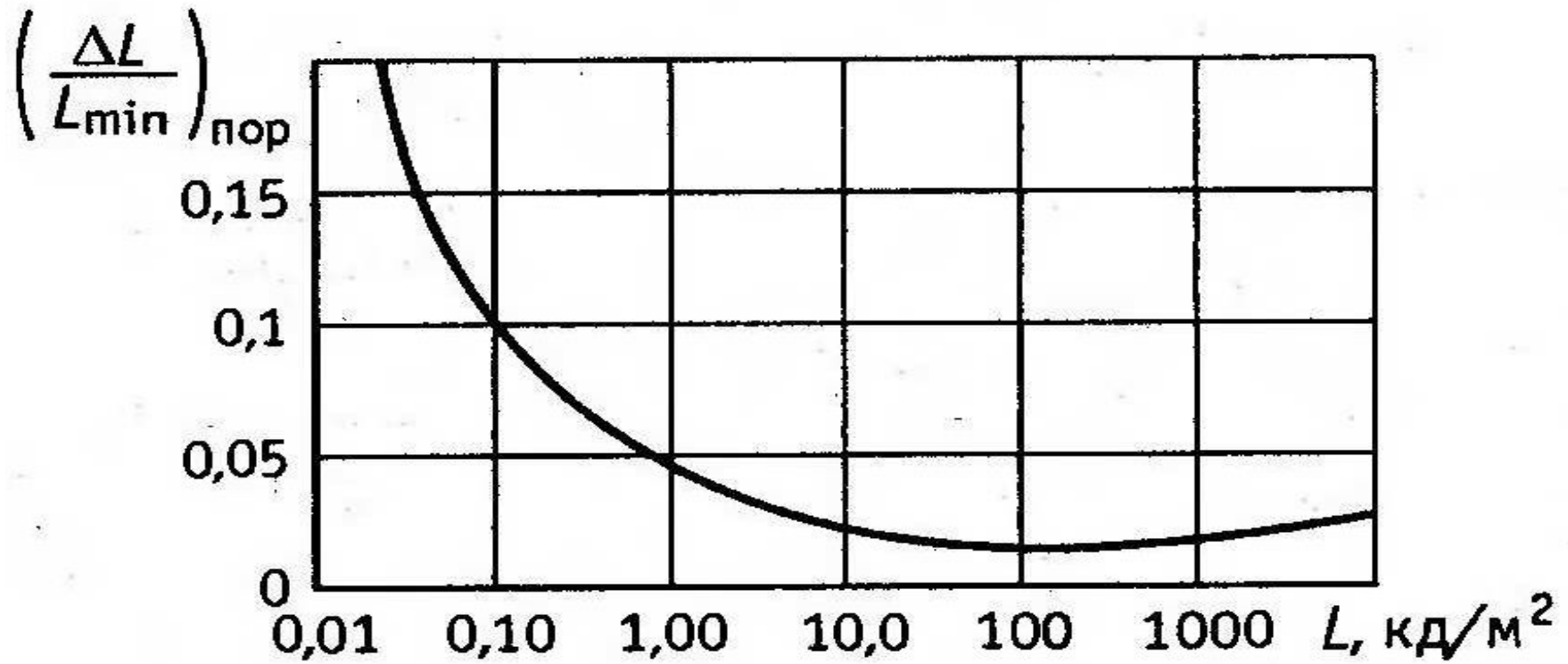
$$B_{\text{вид}} = a + b e^{-ct}$$

Где t – длительность светового импульса,
 a и b – постоянные коэффициенты, c – коэффициент пропорциональности

Восприятие градаций яркости

- Различительной чувствительностью зрительного анализатора (контрастной чувствительностью) называется способность различать яркости объектов. Зрительный анализатор различает объекты в диапазоне яркостей, составляющем до 9 порядков.
- Зависимость различительной чувствительности от интенсивности светового раздражителя определяется законом Вебера – Фехнера:
$$E = K \ln L + C$$
- Где E – видимая яркость
 L – интенсивность светового раздражителя
 K и C – постоянные коэффициенты
- Величина разностного порога (едва заметного прироста видимой яркости) по данным различных исследователей составляет от 1: 64 до 1: 164

Контрастная чувствительность глаза, контраст и число воспринимаемых градаций яркости в изображениях



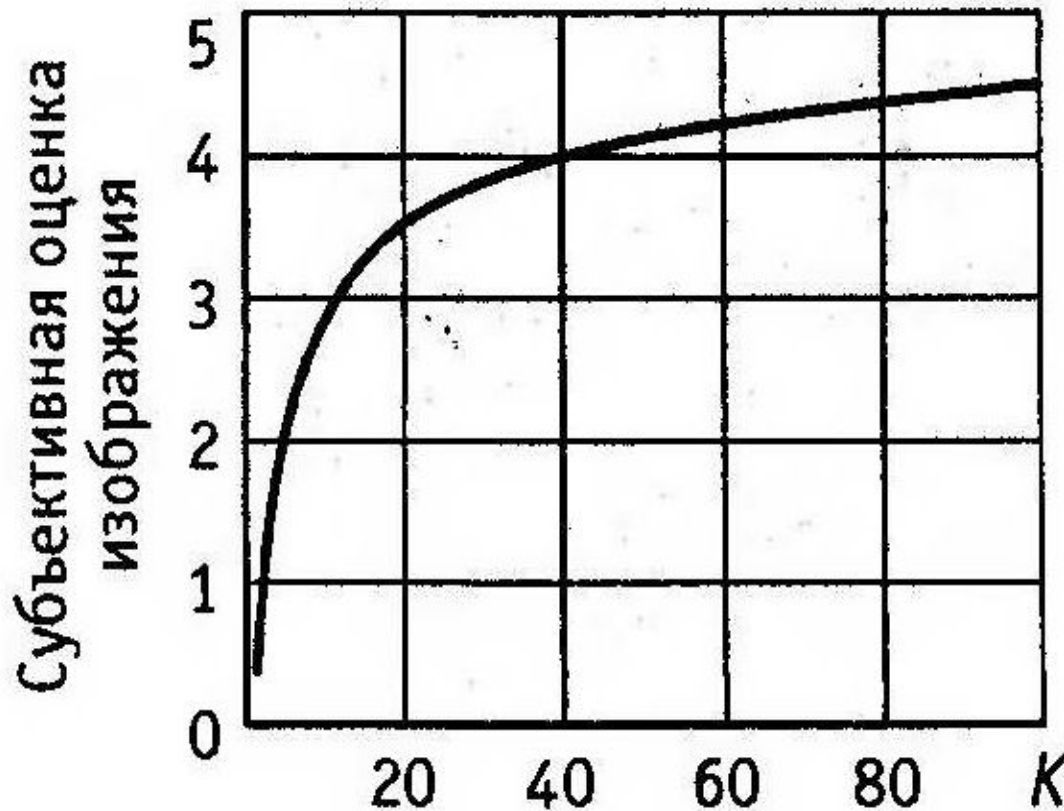
$$\Delta E = k \frac{\Delta L}{L_{\min}} \quad \text{где}$$

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min}$$

k – коэффициент пропорциональности.

Контрастная чувствительность глаза, контраст и число воспринимаемых градаций яркости в изображениях

$$m \approx \frac{\ln(L_{\max}/L_{\min})}{\sigma} \approx \frac{2,3}{\sigma} \lg K.$$



$$\left(\frac{\Delta L}{L_{\min}} \right)_{\text{пор}} = \sigma = \text{const}$$

$$K = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}.$$

При заданном контрасте K глазом воспринимается m - кол-во ступеней изменения яркости (градаций яркостей)

Яркостные параметры ТВ изображения

- Средняя яркость ≈ 30 кд/м²
- Максимальная яркость $\approx 100...300$

кд/м²

- Контраст

$$K' = \frac{L_{\max} + L_{\text{пар}}}{L_{\min} + L_{\text{пар}}} = K_{\text{из}} \frac{1 + L_{\text{пар}}/L_{\max}}{1 + L_{\text{пар}}/L_{\min}}, \text{ т.е. } K' < K_{\text{из}}$$

- Число полутонов- $m_{\text{из}} = \gamma m_{\text{об}} \times$

где $m_{\text{из}}$ и $m_{\text{об}}$ – соответственно числа градаций яркости телевизионного изображения и наблюдаемого объекта; γ – коэффициент пропорциональности, равный числу градаций яркости изображения, воспроизводящих одну градацию яркости объекта (в данном случае $\gamma < 1$).

$$\lg K_{\text{из}} = \gamma \lg K_{\text{об}}, \text{ т.е. } K_{\text{из}} = K_{\text{об}}^{\gamma}$$

$L_{\text{пар}}$ – паразитные засветки экрана

Установлено:

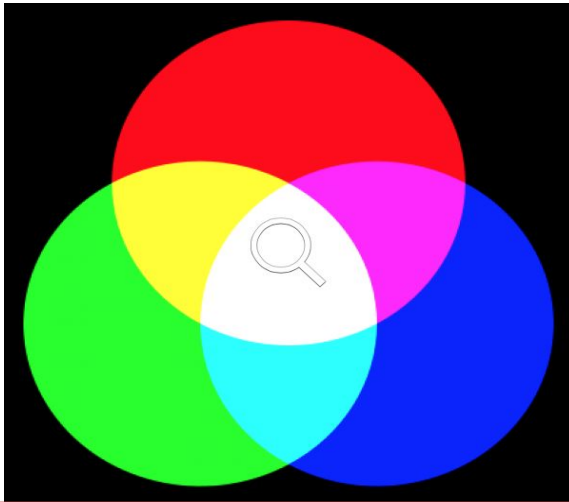
- яркость и контраст передаваемых объектов значительно больше, чем может обеспечить телевизионная система при воспроизведении изображения этих объектов;
- яркость объектов может достигать нескольких тысяч кд/м^2 ;
- Контраст может достигать значений 1000 и выше;
- максимальная яркость кинескопов – порядка 350 кд/м^2 , ЖК – $450 - 550 \text{ кд/м}^2$, плазмы $850 - 1500 \text{ кд/м}^2$;
- максимальный контраст изображения может составлять 100-200 и контраст в мелких деталях – 25-50.

Вывод:

динамический диапазон изменения яркости оригинала, в большинстве случаев больше динамического диапазона изменения яркости телевизионного изображения.

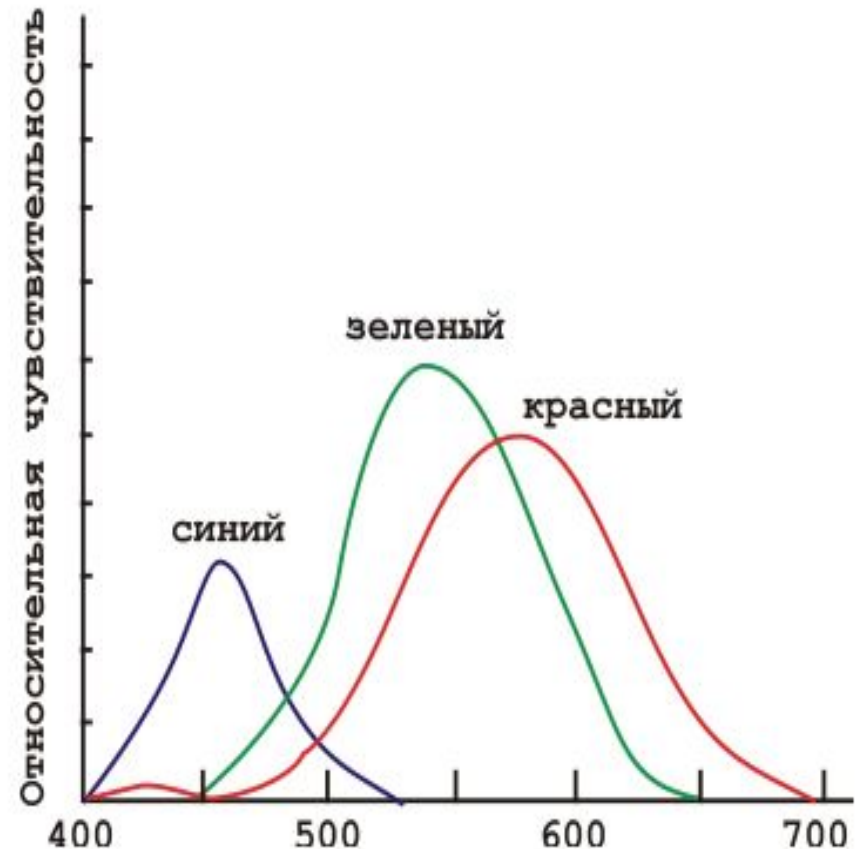
ГВЧ предусматривает расширение динамического диапазона градаций яркости - HDR

Кривые зависимости чувствительности зрительного анализатора от длины волны



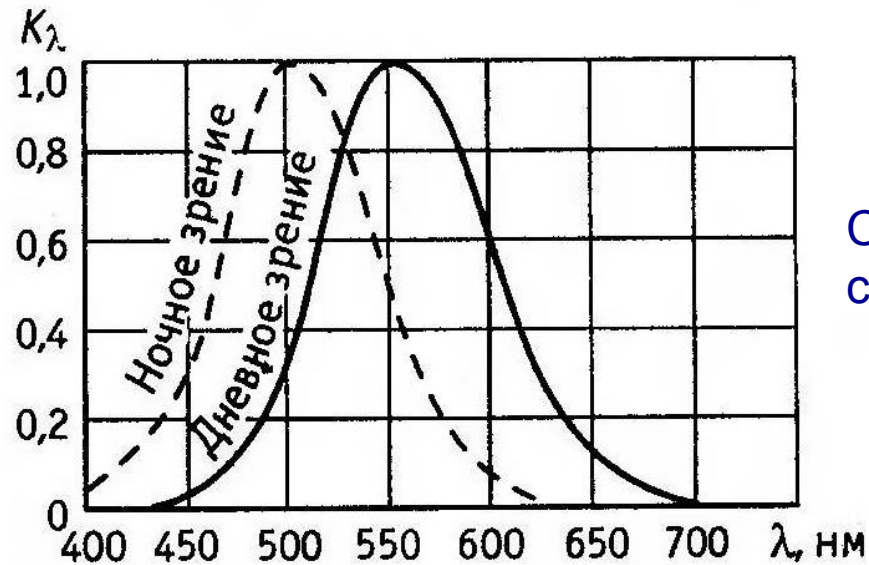
Теория трехцветного зрения справедлива, если наблюдаемый объект имеет размеры – более 30' (угловых минут). (**красный**, **зеленый**, **синий**)

Для объектов имеющих угловые размеры в пределах 10 - 30' - воспринимаются **красный**, **зеленый**

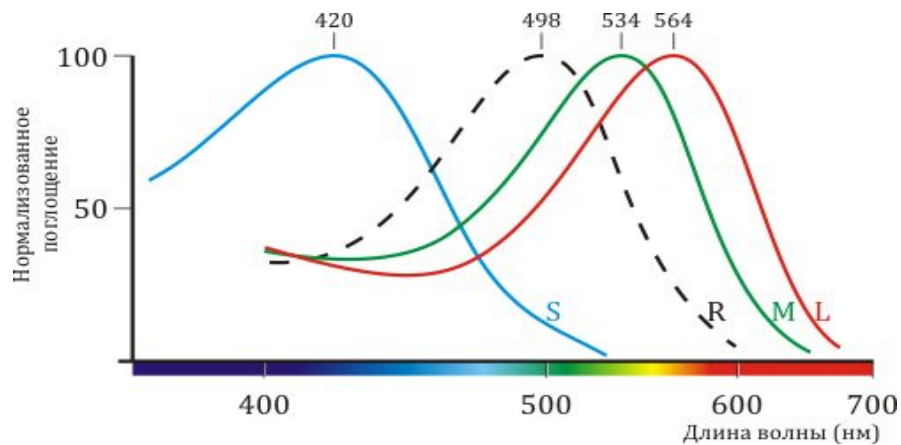


Объекты, имеющие угловые размеры менее 10' - ахроматические

Международная комиссия по освещению (МКО)

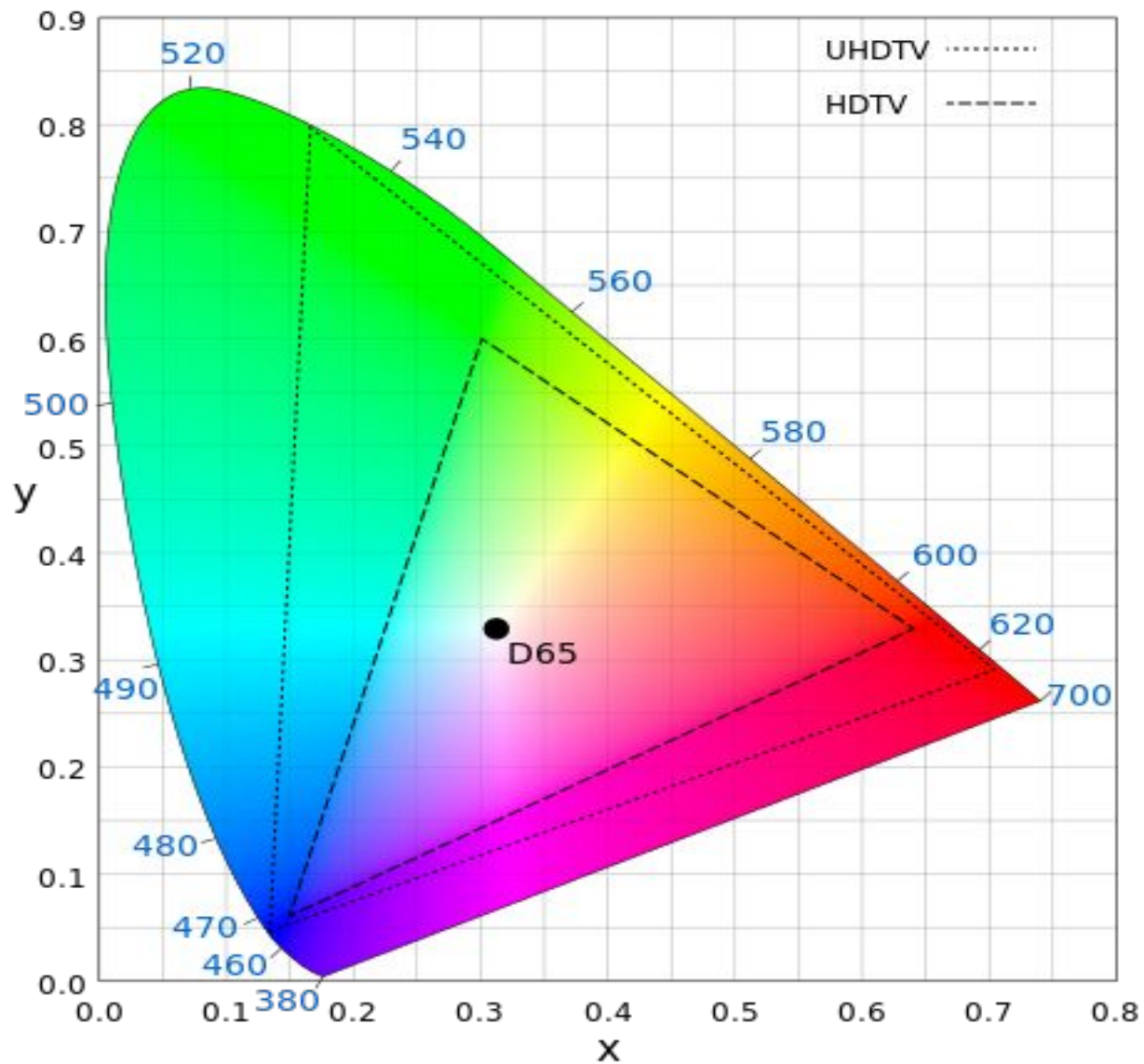


Стандартная кривая относительной спектральной видности глаза



Светочувствительности колбочек человеческого глаза

Диаграмма цветности МКО



WCG (Wide Color Gamut) – расширенная цветовая палитра

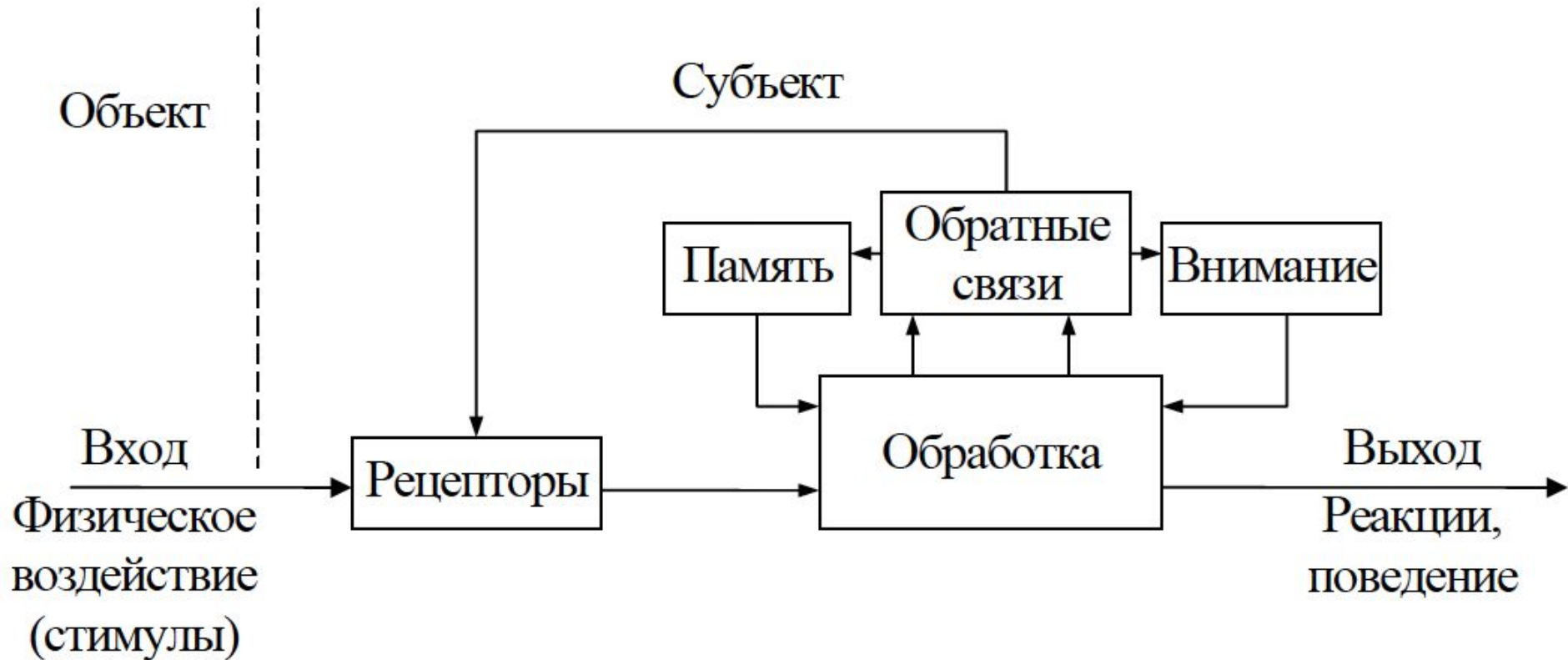
Стандарт белого цвета в России для мониторов 5600 К – цвет белого облака в солнечную погоду

	<i>Интенсивность</i>	<i>Тон</i>	<i>Насыщенность</i>
<i>Уменьшенное значение</i>			
<i>Исходное значение</i>			
<i>Увеличение значения</i>			

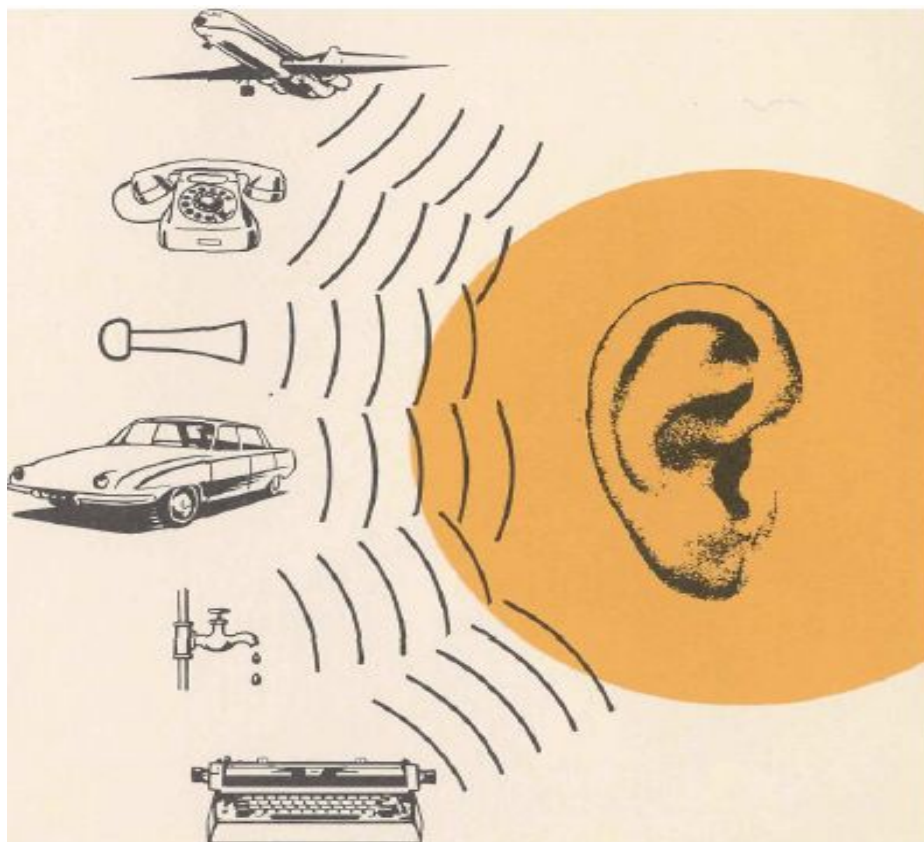
Физика	Психофизика	Психология	
Зрительный стимул	Свет	Зрительное ощущение	Зрительное восприятие
Лучистая энергия	Световая энергия	Цветовое ощущение	
Спектральный состав	Цвет		
Характеристики лучистой энергии	Характеристики света и цвета	Характеристики цветового ощущения	Факторы внешнего вида, определяющие восприятие
Лучистый поток а. Энергетическая яркость б. Облученность в. Лучистая отражательная способность г. Лучистая пропускательная способность	1. Световой поток а. Яркость б. Освещенность в. Световая отражательная способность г. Световая пропускательная способность	1. Светлота	Апертура (1—5) Источник света (1—8) Освещенность (1—3) Характеристики объекта: Поверхность (1—11) Объем (1—9)
Спектральное распределение (Относительный спектральный состав, качество)	Цветность 2. Доминирующая (или дополнительная) длина волны 3. Чистота цвета	Ощущение цветности 2. Цветовой тон 3. Насыщенность	Характеристики внешнего вида 1. Светлота 2. Цветовой тон 3. Насыщенность 4. Размер 5. Форма 6. Расположение 7. Мелькание 8. Сверкание 9. Прозрачность 10. Глянец 11. Блеск

¹⁾ J. of the Opt.Soc. of America, V, 33, 552 (1943).

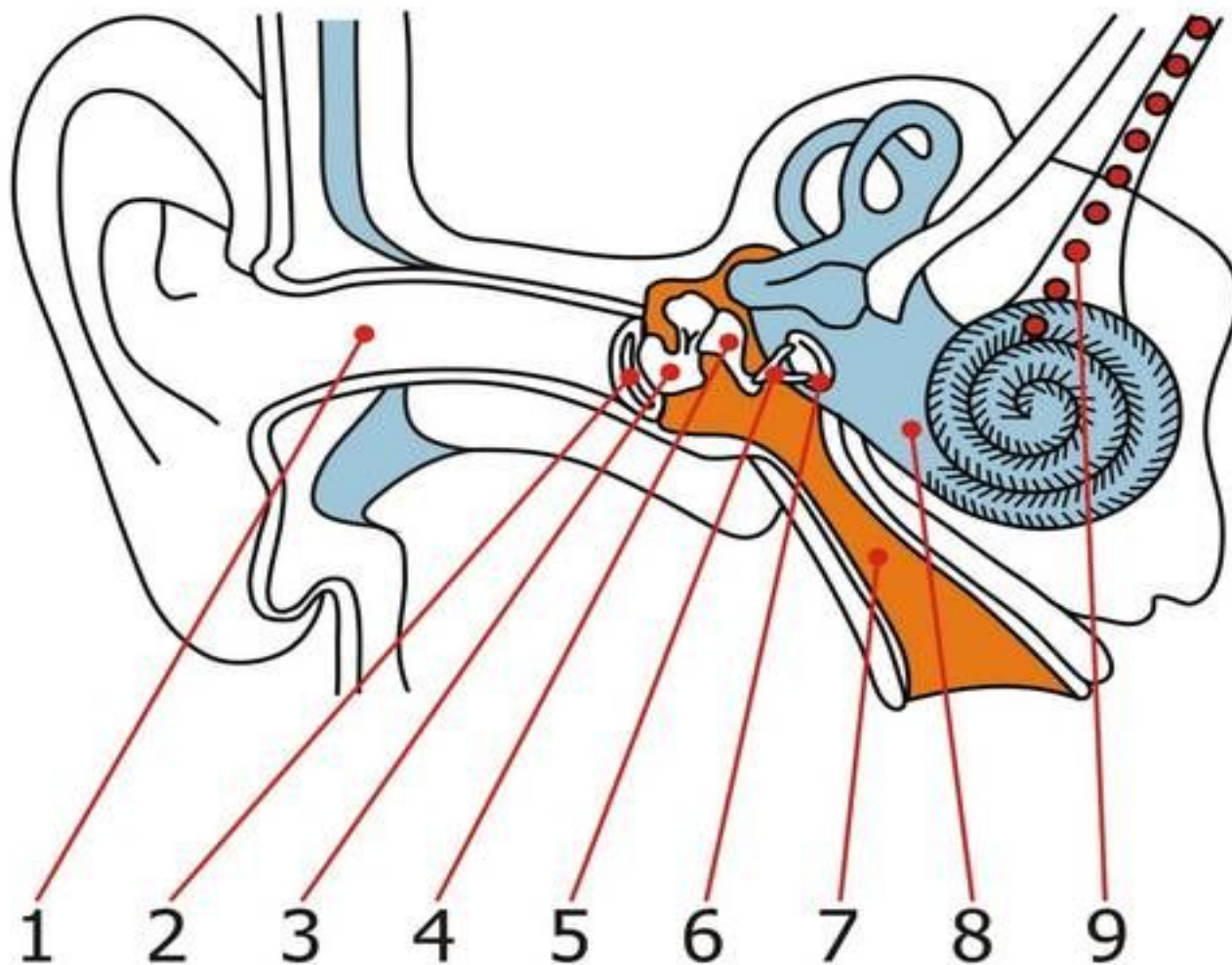
Прохождение сигналов в процессе восприятия



Строение человеческого уха и его основные характеристики



СТРОЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО УХА.



1. Слуховой канал 2. Барабанная перепонка 3. Молот 4. Наковальня 5. Стремечко 6. Овальное окно 7. Евстахиева труба 8. Улитка 9. Слуховой нерв

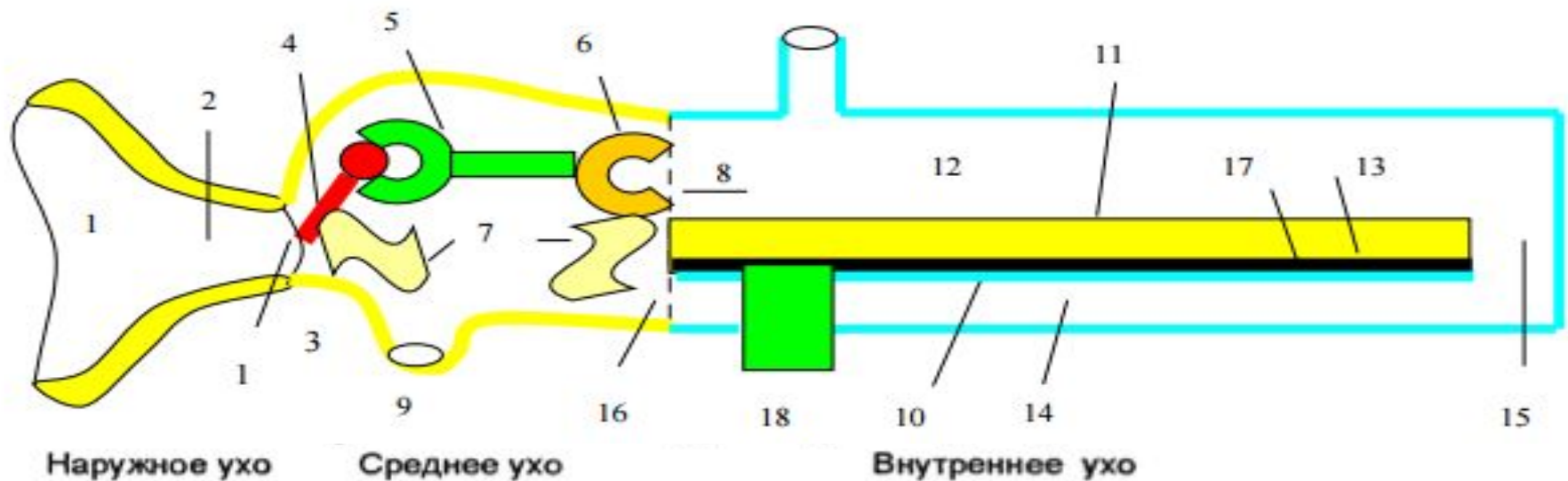


Рис. 3.1. Устройство органа слуха

- 1- ушная раковина – акустическая рупорная антенна;
- 2 – слуховой проход – короткий волновод;
- 3 – барабанная перепонка;

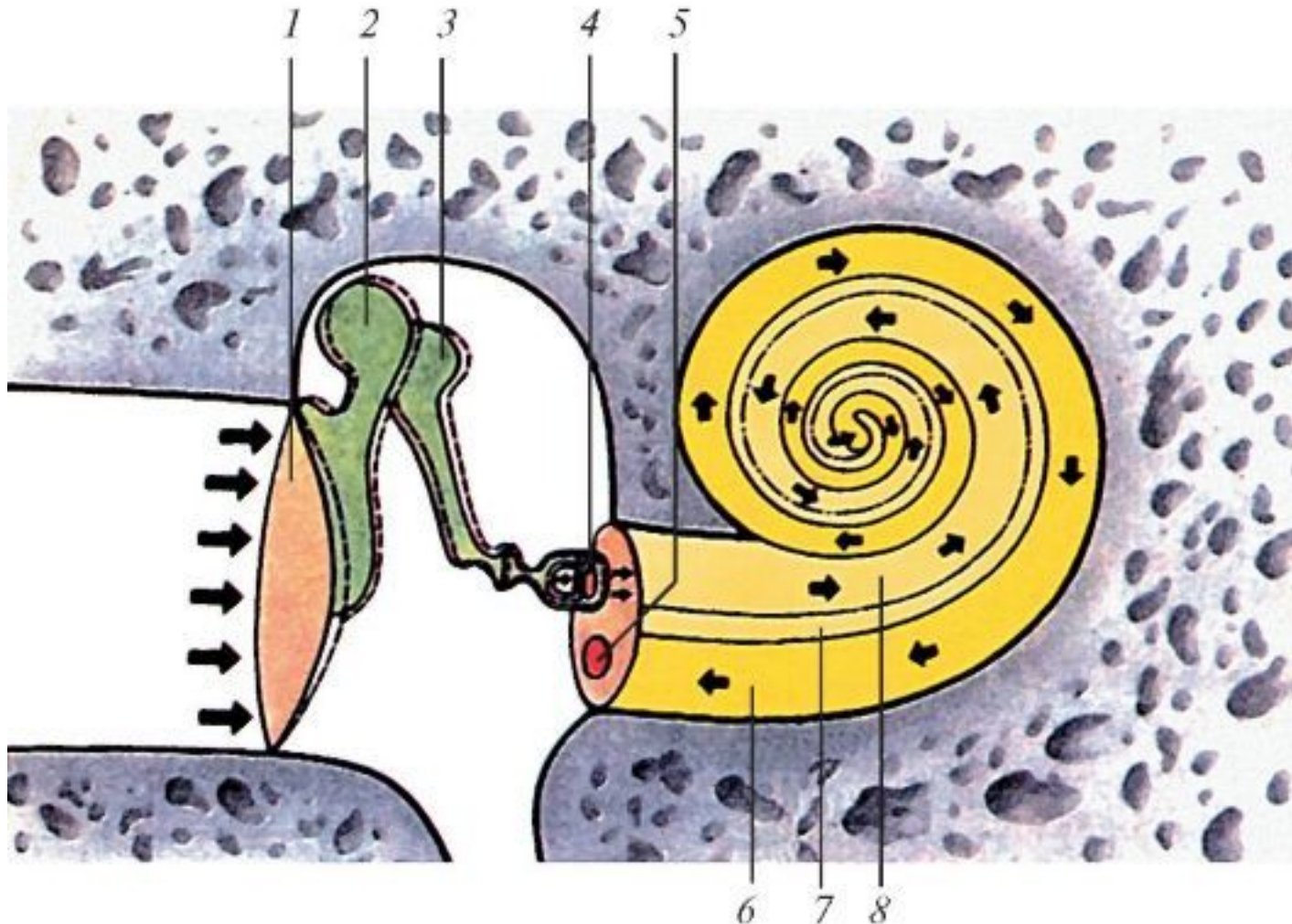
Наружное ухо.

- 4 – молоточек;
- 5 – наковальня;
- 6 – стремя ;
- 7 – мышцы;
- 8 – овальное окно;
- 9 – евстахиева труба;

Среднее ухо

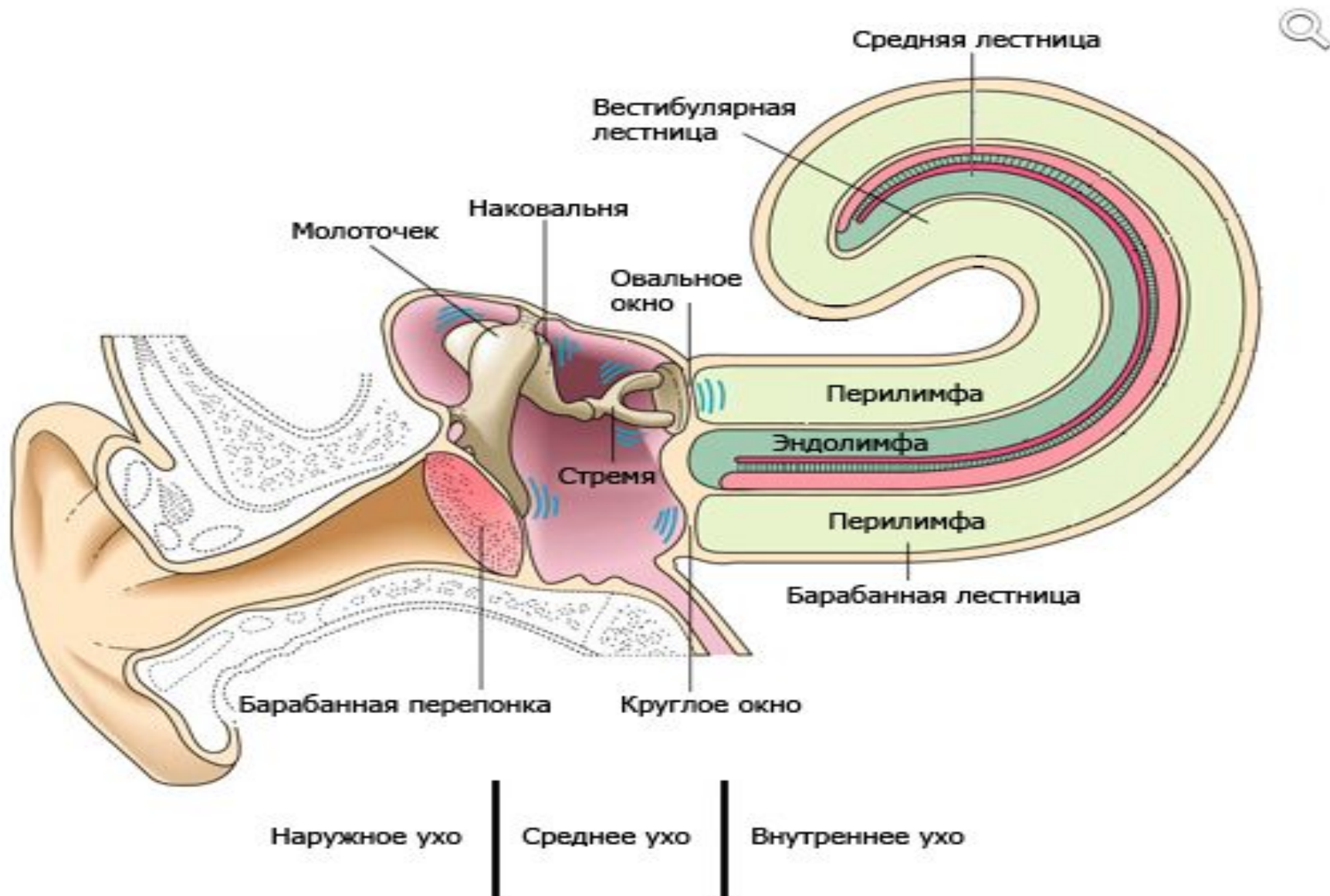
- 10 – основная мембрана;
- 11 – мембрана Рейснера;
- 12 – лестница преддверия, заполнена перилимфой;
- 13 – срединная лестница, заполнена эндолимфой;
- 14 – лестница барабана, заполнена перилимфой;
- 15 – геликоте́рма; 16 – окно улитки;
- 17 – кортиев орган; 18 – слуховой нерв.

Рецепторное поле слуха – около 22 тысяч волосковых клеток, чувствительных к давлению и деформации основной мембраны

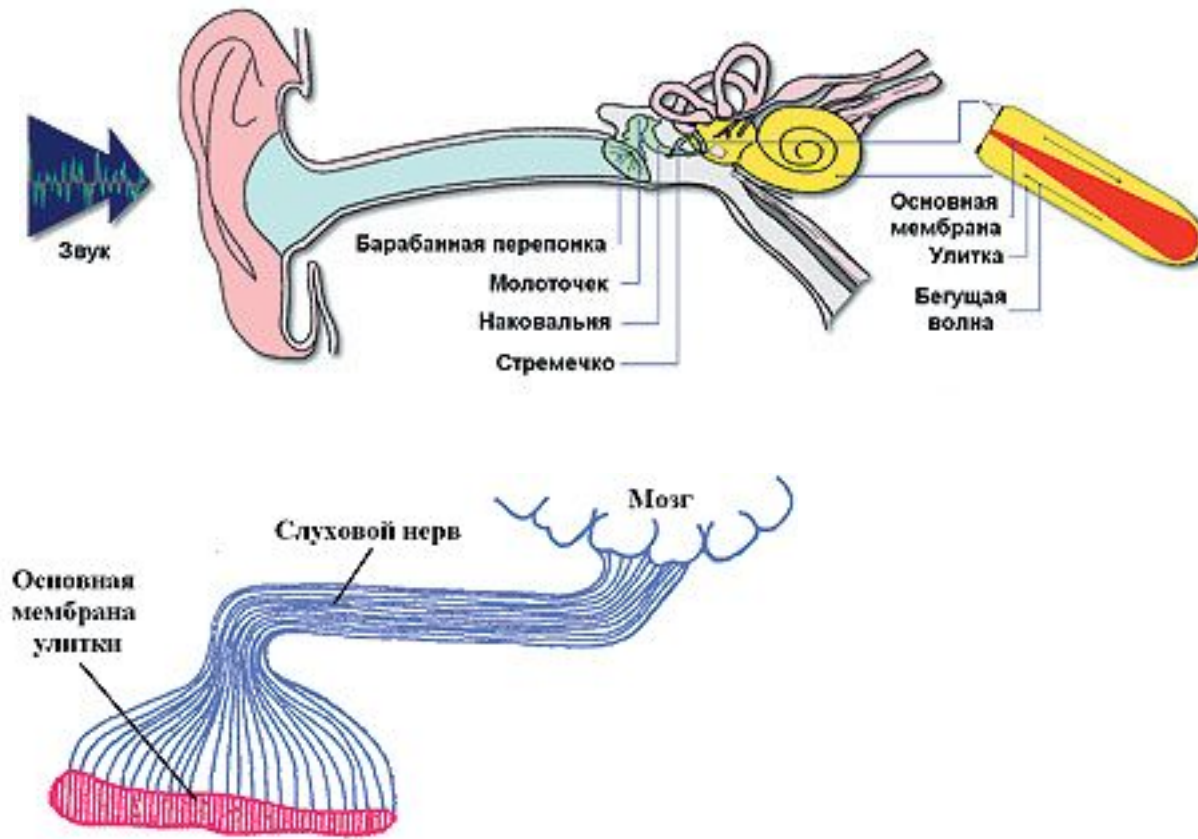


Распространение звуковой волны (показано стрелками) в наружном, среднем и внутреннем ухе:

- 1 - барабанная перепонка;
- 2 - молоточек; 3 - наковальня; 4 - стремя; 5 - круглое окно; 6 - барабанная лестница; 7 - улитковый проток; 8 - лестница преддверия



Внешнее ухо



Слуховой канал — это трубка длиной около 2,7 мм и диаметром 0,7 мм, открытая с одной стороны и закрытая с другой, где находится барабанная перепонка — жесткая коническая мембрана. В столбе воздуха, заключенном в слуховом канале, возникают стоячие волны, и слуховой канал действует как четвертьволновый резонатор.

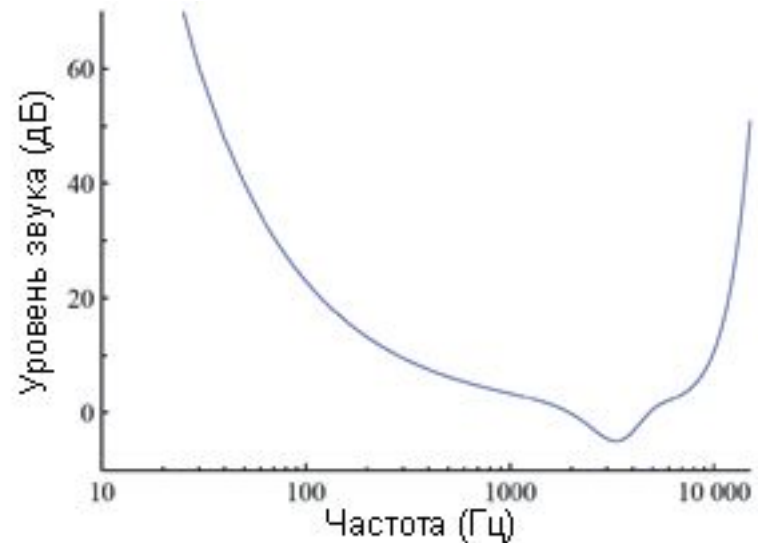
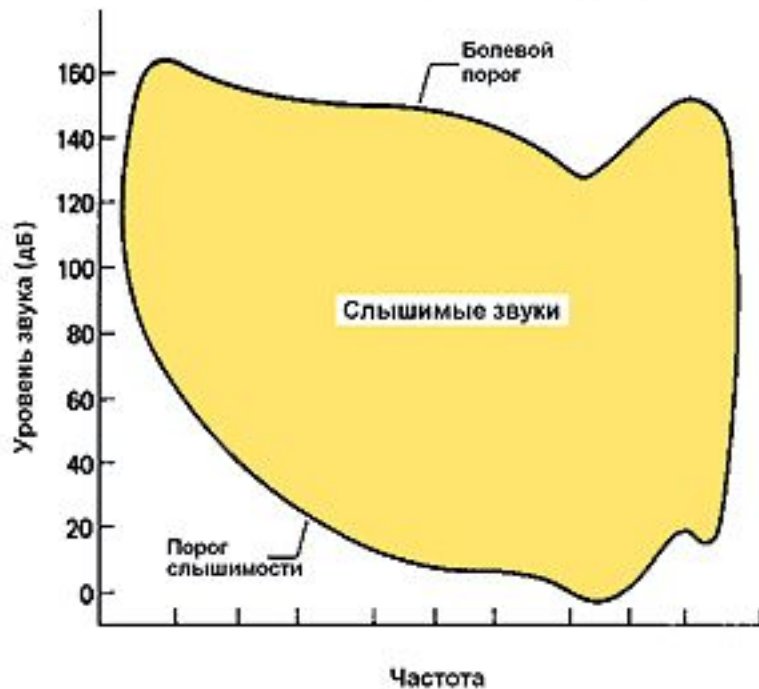
Первый резонанс на частоте примерно 3 кГц находится в частотном диапазоне звуков речи человека, что приводит к усилению колебаний в диапазоне частот 2...5 кГц, причем усиление составляет 5...10 дБ. Таким образом, внешнее ухо обеспечивает повышенную чувствительность слуховой системы к звуковым колебаниям, соответствующим речи человека.



В функции среднего уха входит ограничение амплитуды звуковых колебаний, передаваемых к овальному окну внутреннего уха.

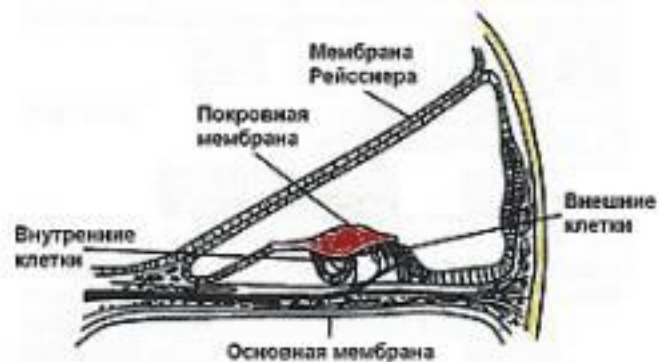
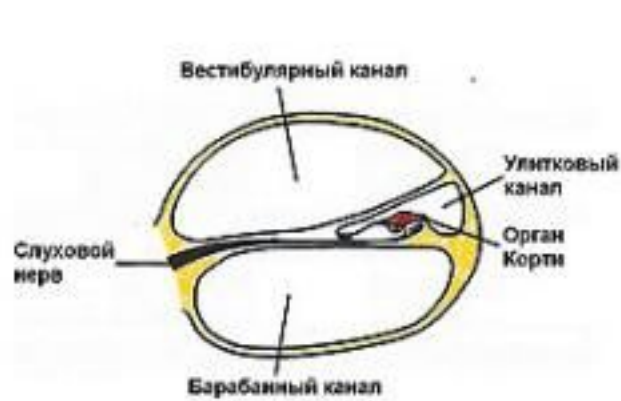
При увеличении уровня звука уменьшается давление на овальное окно. При еще большем увеличении уровня звука мышцы среднего уха более туго натягивают барабанную перепонку, что также приводит к уменьшению усиления.

Таким образом, среднее ухо представляет собой нелинейную систему с автоматическим регулированием усиления.

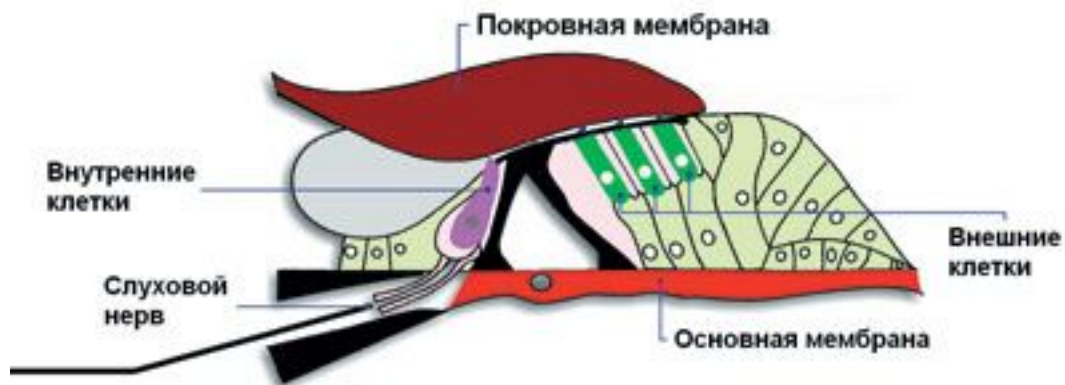


Порог слышимости чистого тона

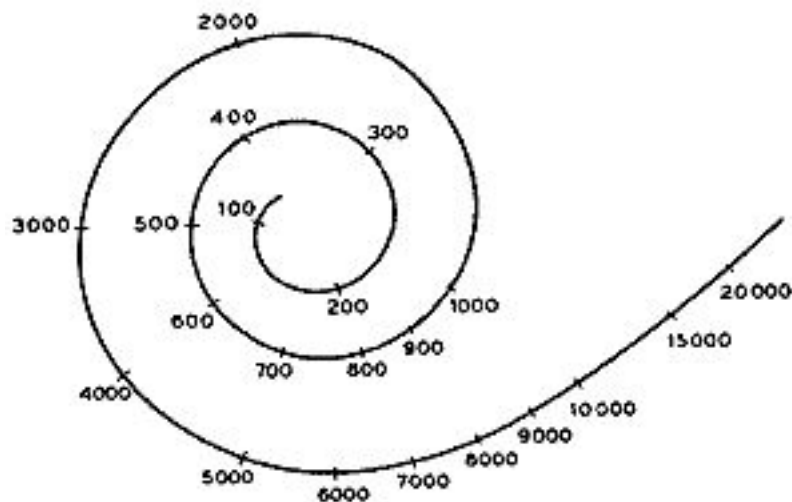
Внутреннее ухо: общее представление



Поперечное сечение улитки внутреннего уха



Строение органа Корти

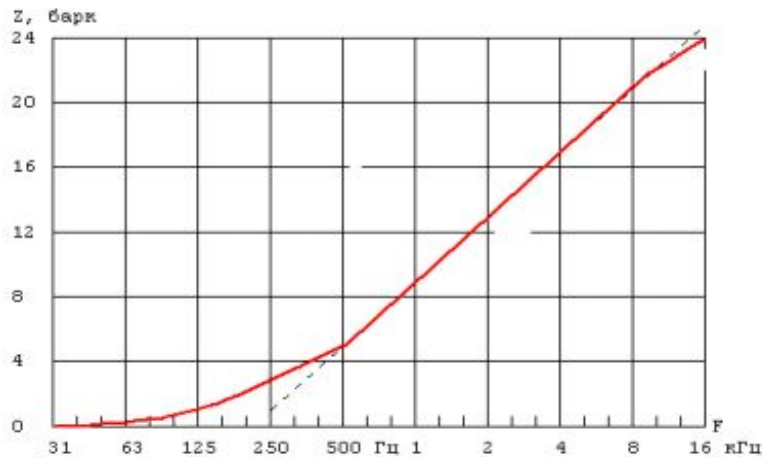
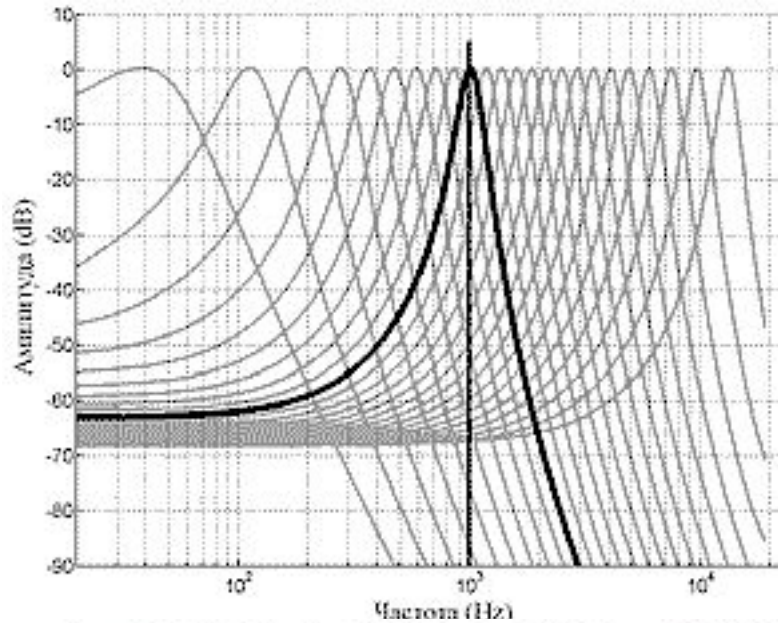


Гидродинамические волны во внутреннем ухе были впервые обнаружены Георгом фон Бекешом, который работал в Будапеште в 30...40-х годах прошлого века. За это открытие в 1961 году он был удостоен Нобелевской премии в области биологии.

Основная мембрана проходит через ушной лабиринт от основы до вершины. **Профиль и упругость мембраны значительно изменяются вдоль ее длины.** Ширина мембраны составляет около **0,15 мм** у основания улитки и **0,5 мм** — у геликотремы. Мембрана **тонкая (0,04 мм)** вблизи овального окна, сравнительно **толстая (0,5 мм)** — вблизи вершины. **Эластичность** основной мембраны также сильно **меняется вдоль** ее длины (**примерно в 100 раз**). Мембрана сравнительно **жесткая у основания** улитки и **мягкая** — у геликотремы.

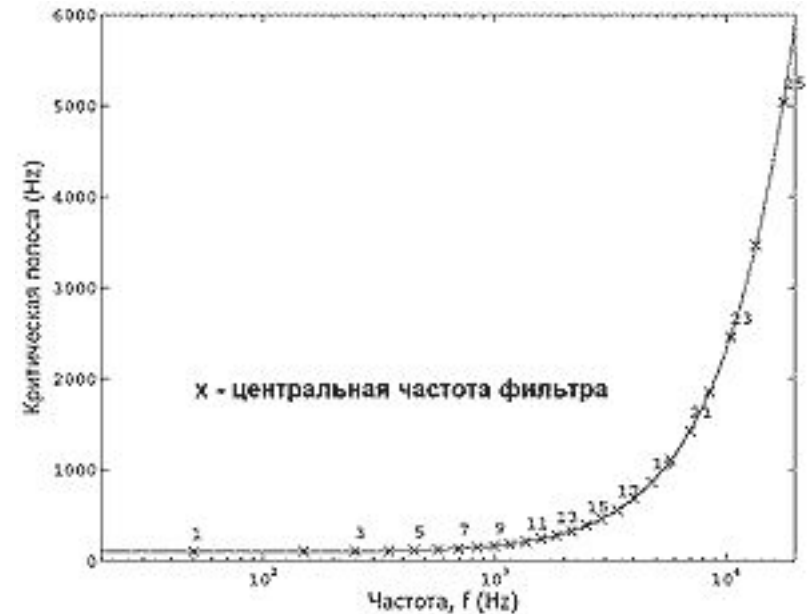
Амплитуда поперечных колебаний основной мембраны ничтожно мала. При уровне звука в 80 дБ она составляет примерно миллионную долю миллиметра в точке с максимальной интенсивностью поперечных колебаний. При уровне звука, соответствующего обычной негромкой речи, амплитуда колебаний становится близкой диаметру атомов.

Частотный отклик точек основной мембраны



Зависимость высоты тона в барках от частоты в герцах

Критическая полоса как функция частоты



Стандартом MPEG установлены нижние границы критических полос слуха: 20, 100, 200, 300, 400, 510, 630, 770, 920, 1080, 1270, 1480, 1720, 2000, 2320, 2700, 3150, 3700, 4440, 5300, 6400, 7700, 9500, 12000, 16000 Гц. Критические полосы слуха оказалось удобно использовать в качестве единицы субъективной высоты тона, которую называли **барк**.

Ухо- приемник звука

Основные части

Происходящие процессы

слуховой канал

вынужденные колебания

барабанная перепонка

резонанс

молоточек

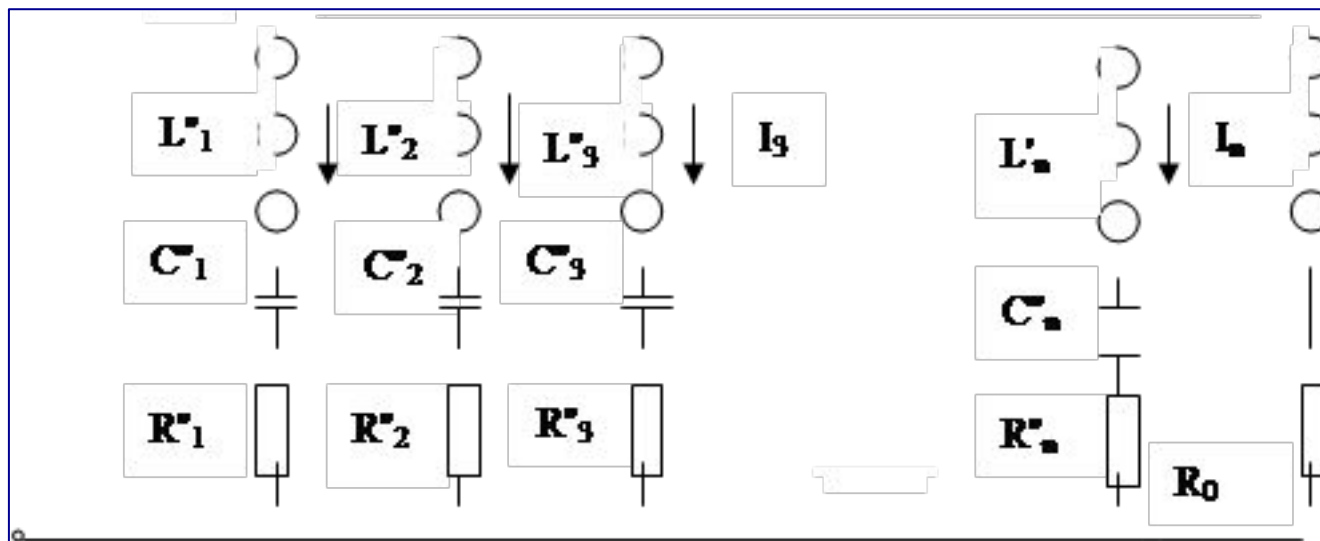
сложение колебаний
и их корректировка

наковальня

стремечко

передача колебаний через
косточки и жидкость в
мозг

жидкость



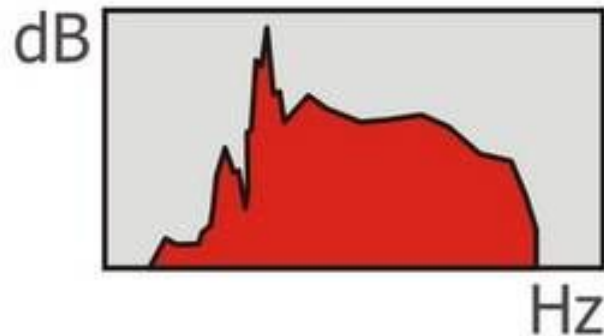
Эквивалентная схема содержит ~ 140 параллельных звеньев – резонаторов, моделирующих волокна базиллярной мембраны, включенные последовательно индуктивности L'_i ; эквивалентны массе лимфы, ток в резонаторах пропорционален скорости колебаний волокон. Избирательность резонаторов невелика.

Для частоты 250 Гц полоса пропускания резонатора равна ~ 35 Гц ($Q = 7$), для частоты 1000 Гц – 50 Гц ($Q = 20$) и для частоты 4000 Гц – 200 Гц ($Q = 20$).

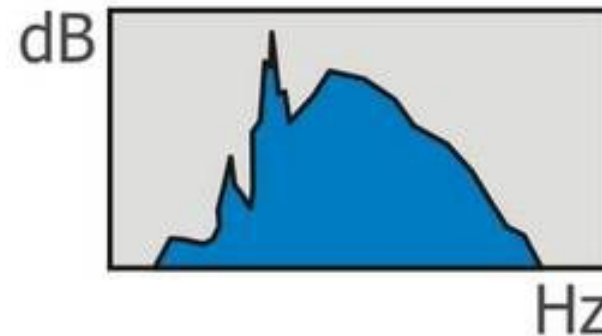
Спектральный состав звукового сигнала до и после прохождения через ушную раковину



спектр
источника



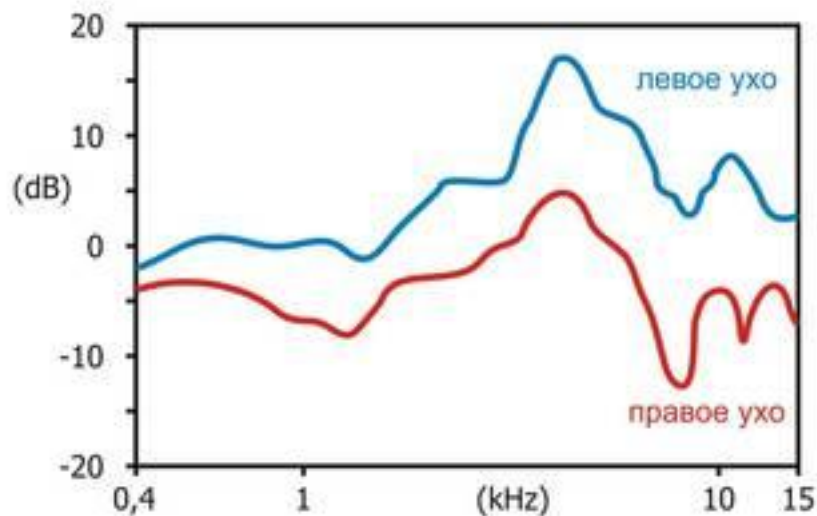
спектр
после
прохождения
ушной раковины



Строение человеческого уха и его основные характеристики.



Локализация по интенсивности
звукового
сигнала



Вид АЧХ звукового сигнала после
прохождения через правую и левую
ушные раковины

Разность времени $\Delta\tau_6$ прихода одинаковых фаз звука к ушам равна

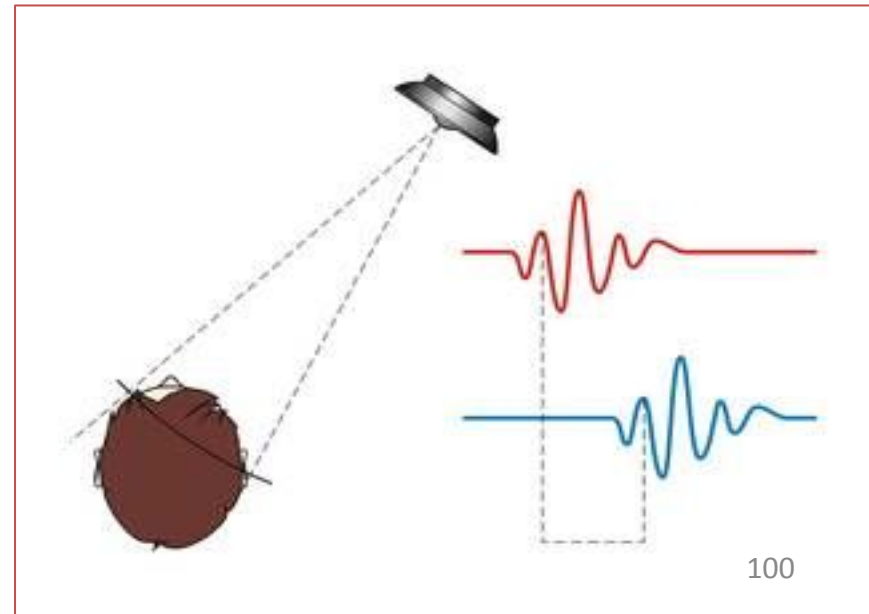
$$\Delta\tau_6 = \Delta\ell / c_{зв}, \quad (3.11)$$

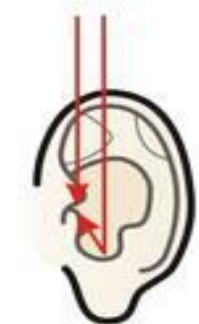
где $\Delta\ell$ — разность хода звуковой волны до левого и правого уха.

$$\Delta N_\Sigma = \Delta N_6 + K_{экр} \Delta\tau_6. \quad (3.13)$$

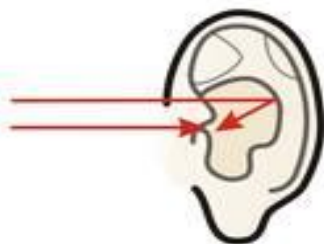
Величины ΔN_6 и $\Delta\tau_6$ являются не только линейными функциями азимутального угла, но зависят также от частоты. Они изменяются при переходе от одной частотной группы слуха к другой, оставаясь примерно постоянными в пределах одной критической полосы слуха. На низких частотах ниже 500 Гц $\Delta N_6 \ll K_{экр} \Delta\tau_6$. В диапазоне средних частот от 500 до 5000 Гц оба фактора ΔN_6 и $\Delta\tau_6$ примерно в равной степени определяют оценку азимута источника звука.

Локализация по временной разнице звуковых сигналов





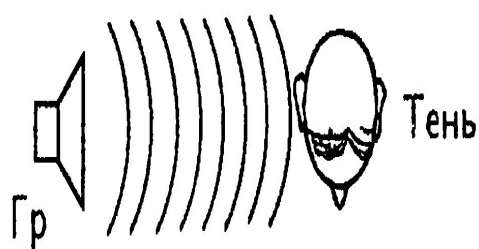
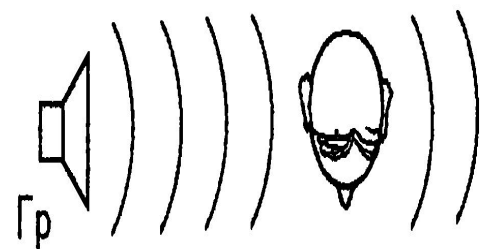
источник
сверху



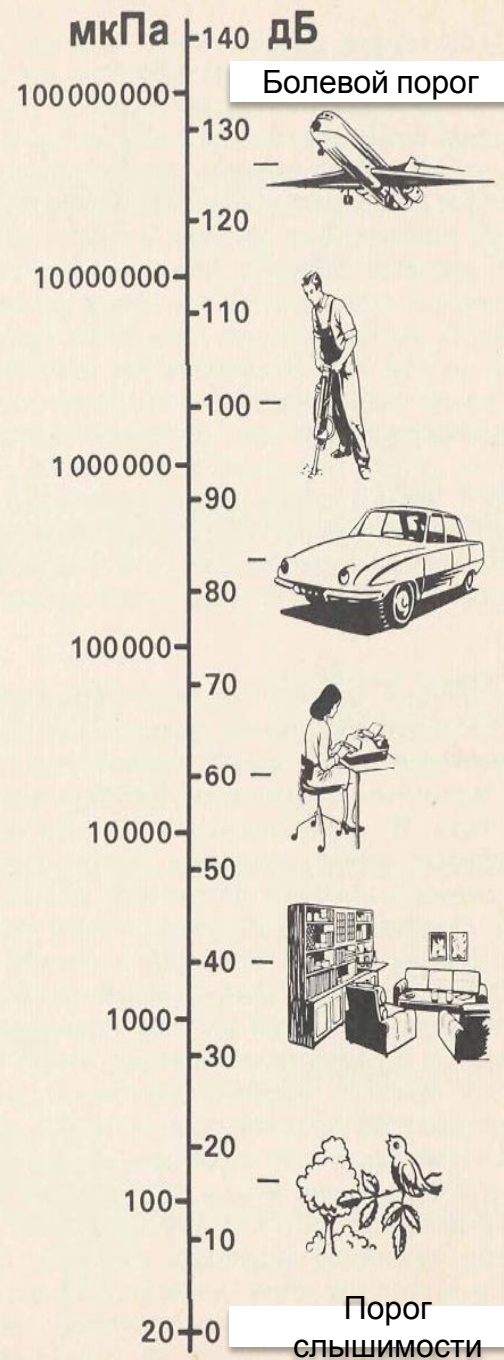
источник
спереди

Низкие частоты

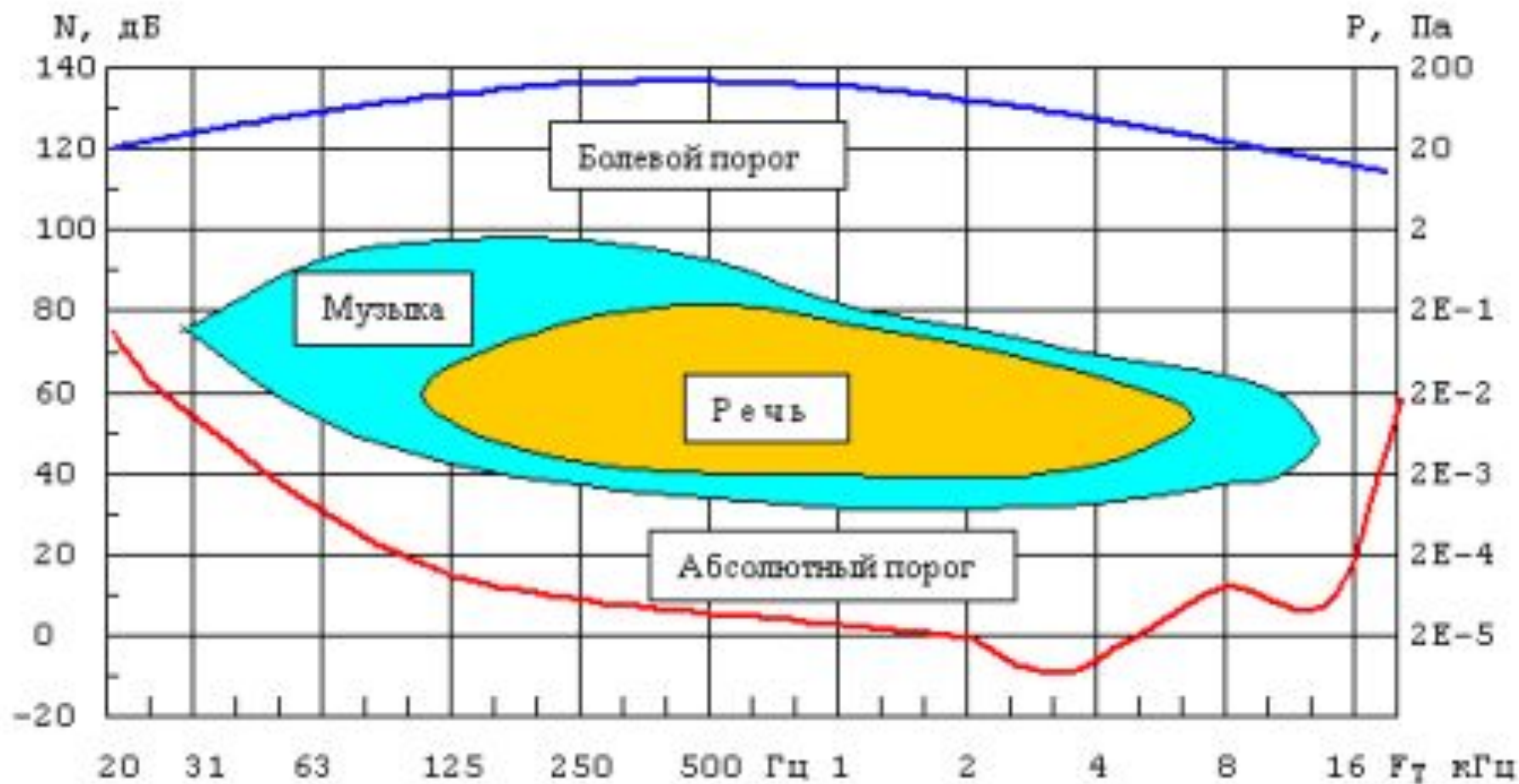
Высокие частоты



Образование акустической
тени



Области слышимости звука



В результате длительных исследований удалось измерить ширину и расположение частотных полос, в пределах которых действует маскирование. Эти полосы получили название *критических* и в полосе слухового восприятия их насчитывается 25. В области низких слышимых частот ширина критической полосы менее 100 Гц, в районе 2 кГц она равна 300 Гц и возрастает до 4 кГц в области высших воспринимаемых частот (рис. 2.9).

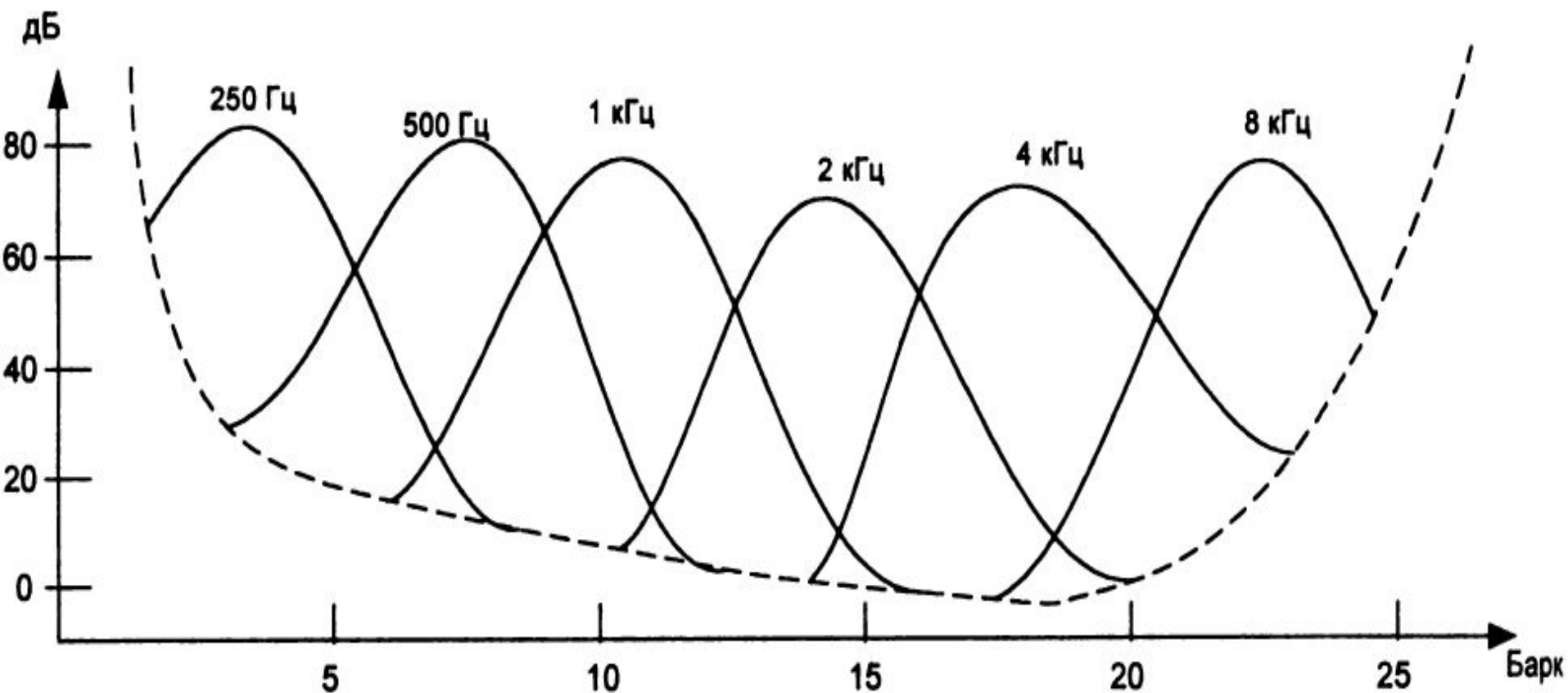


Рис. 2.9. Критические полосы человеческого слуха

При одновременном воздействии на слух двух сигналов один из них может не прослушиваться на фоне другого сигнала. Этот эффект называется *маскировкой*. Маскирующее действие различных звуков выявляется экспериментально путем оценки повышения уровня порога слышимости испытательных синусоидальных сигналов или узкополосных шумов $N_{\text{пс}}$ относительно уровня абсолютного порога слышимости $N_{\text{апс}}$. Маскировка $\Delta N_{\text{м}}$ рассчитывается в децибелах как разность этих двух уровней:

$$\Delta N_{\text{м}} = N_{\text{пс}} - N_{\text{апс}}. \quad (3.1)$$

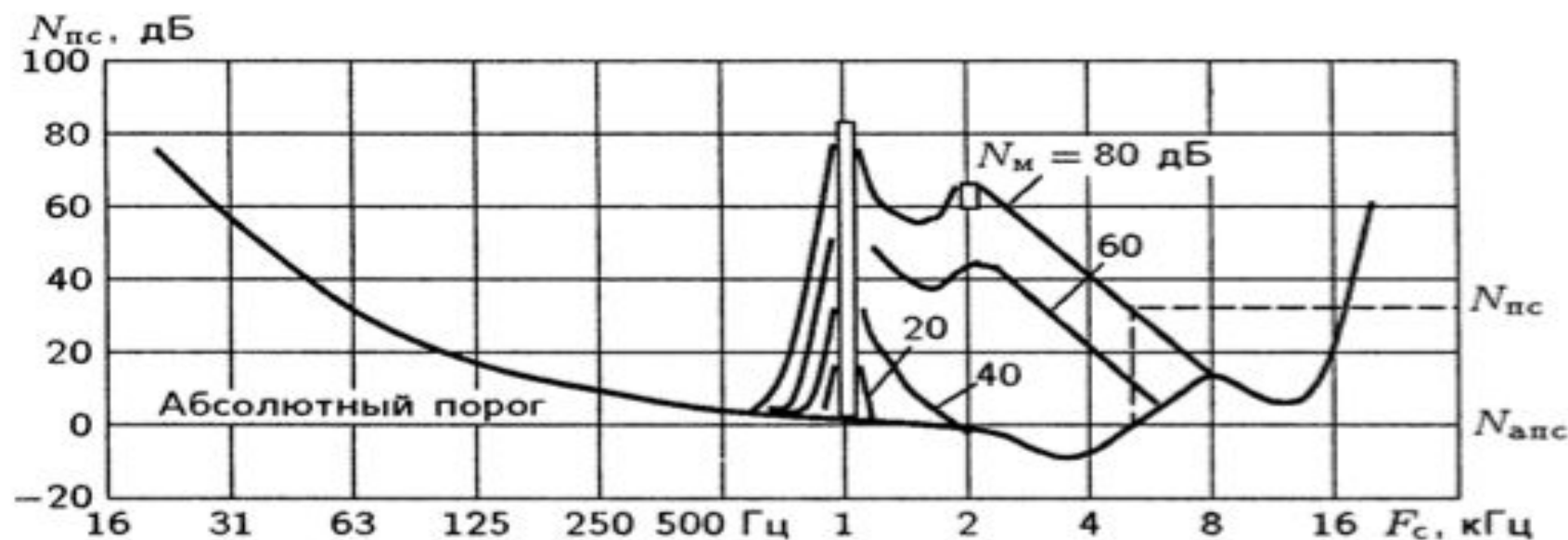


Рис. 3.8. Кривые порога слышимости тона с частотой F_c при маскировке тоном с частотой $F_m = 1$ кГц

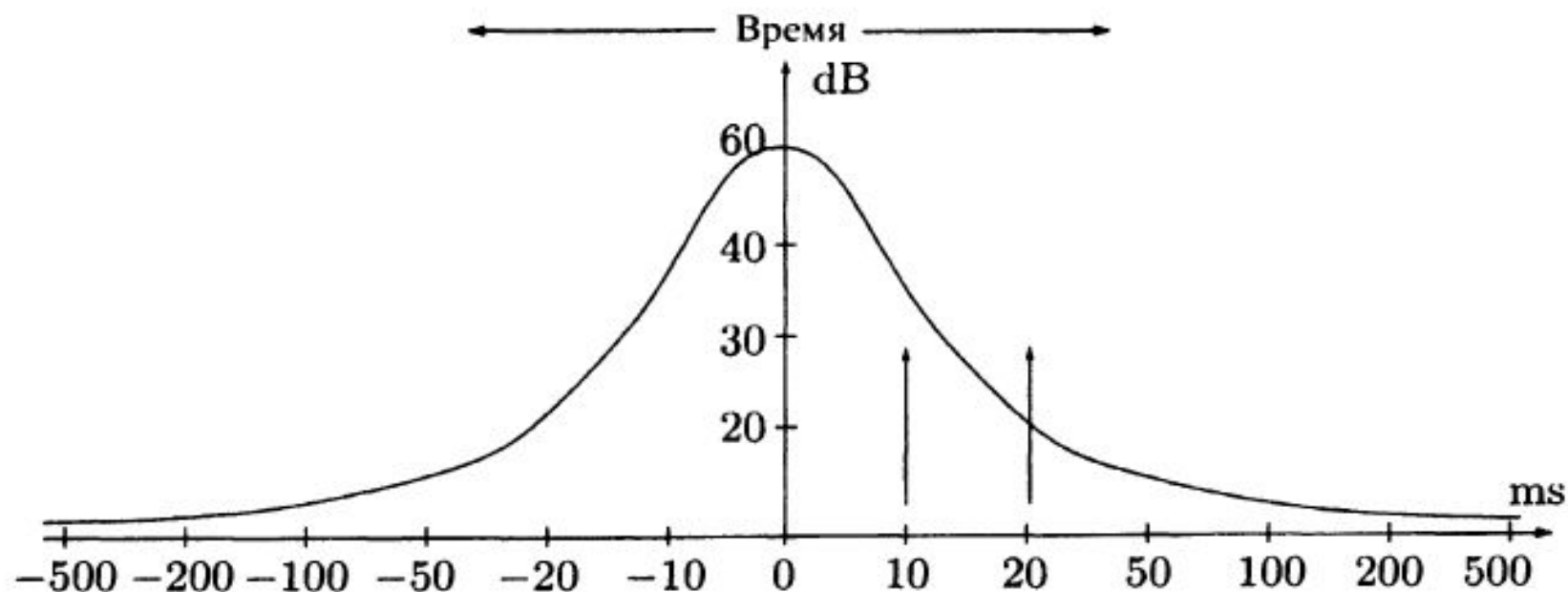


Рис. 6.6. Порог и маскирование звука.

Временное маскирование происходит, когда громкому звуку A частоты f по времени предшествует или за ним следует более слабый звук B близкой частоты. Если интервал времени между этими звуками не велик, то звук B будет не слышен. Рис. 6.6 иллюстрирует пример временного маскирования. Порог временного маскирования от громкого звука в момент времени 0 идет вверх сначала круто, а потом полого. Более слабый звук в 30 дБ не будет слышен, если он раздастся за 10 мсек до или после громкого звука, но будет различим, если временной интервал между ними будет больше 20 мсек.¹⁰⁵

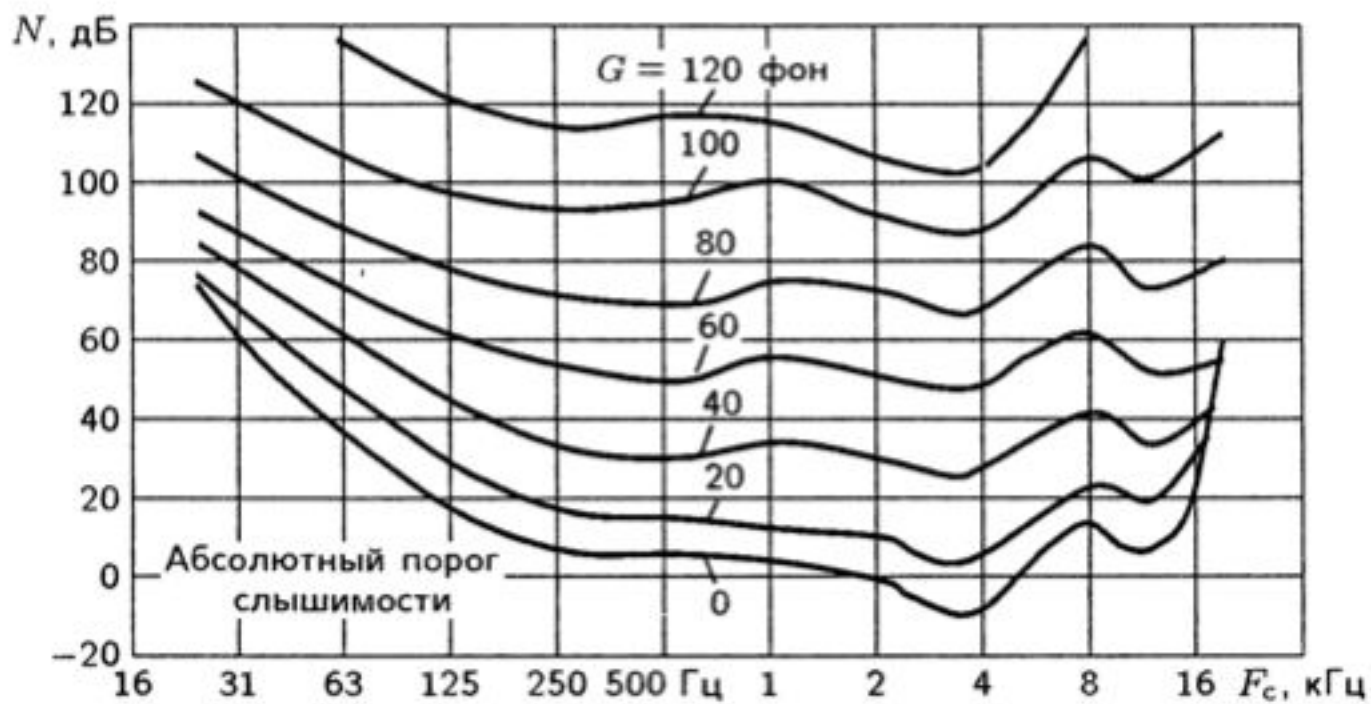


Рис. 3.14. Кривые равного уровня громкости

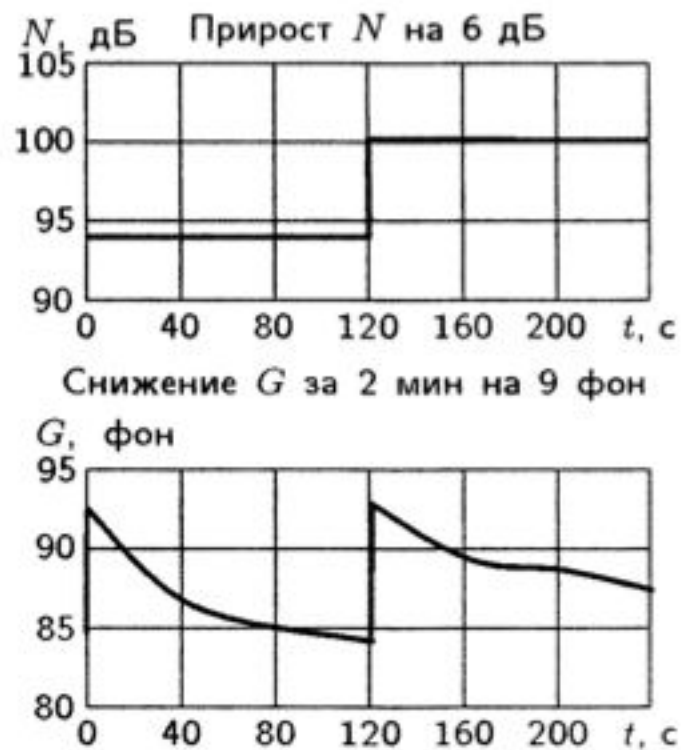


Рис. 3.20. Графики адаптации слуха при увеличении звукового давления

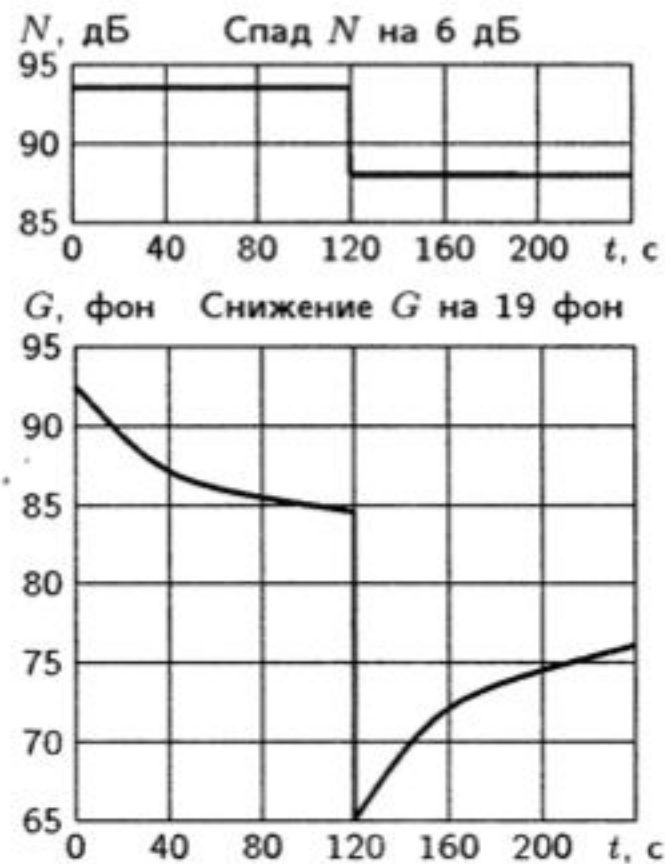


Рис. 3.21. Графики адаптации слуха при уменьшении звукового давления

Октавой называется разница по высоте между двумя тонами, при которой они воспринимаются как тождественные. Октава является основным интервалом, определяющим периодичность музыкального строя. Помимо октавного разбиения музыкальный строй разбивается на три регистра: низкий, средний и высокий. Октава состоит из семи основных тонов и пяти дополнительных — всего 12 интервалов. Они образуют высотный интервал, называемый полутоном. Интервальный коэффициент для полутона и треть октавы равен

$$h = 2^{1/12} = 1,06 \text{ и } h = 2^{1/3} = 1,26. \quad (3.8)$$

В электроакустике и аудиотехнике в основном используют октавные и третьоктавные шкалы частот. Это позволяет сразу по графикам АЧХ определять крутизну среза фильтров в дБ/октаву. Частотный интервал в октавах

$$n = 3,33 \lg(F_{\text{в}}/F_{\text{н}}). \quad (3.9)$$

Если задано число октав n , то

$$F_{\text{в}}/F_{\text{н}} = 2^n. \quad (3.10)$$

Таким образом, восприятие высоты тона пропорционально логарифму изменения частоты звука

Нелинейность слуха

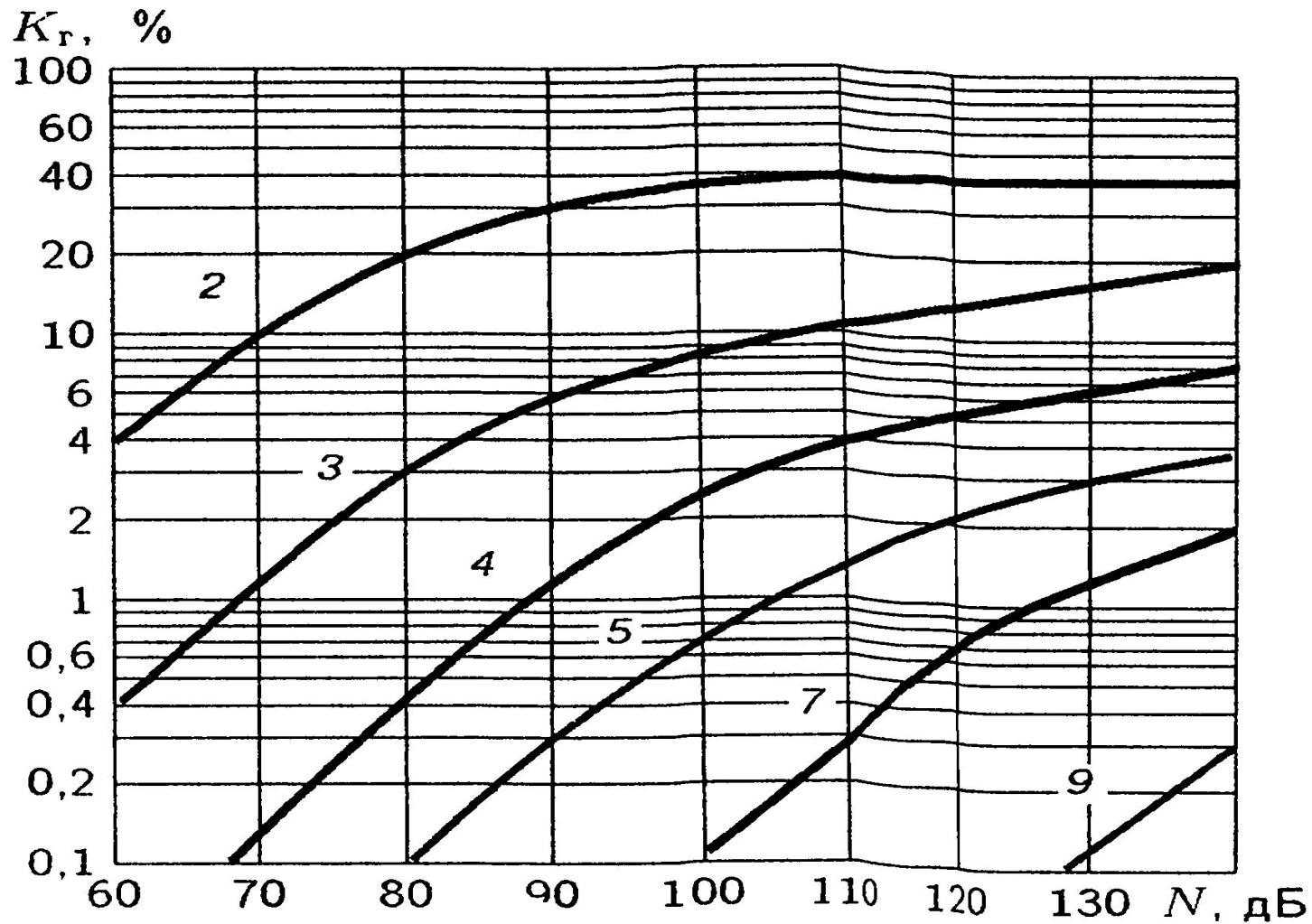


Рис. 3.23. Зависимость коэффициента субъективных гармоник от уровня звукового давления (2–9 – номера гармоник)