

## *Лекция №1*

---

### *Слайд №1*

---

- Здравствуйте!
- Ну что - начнём с официоза.
- Меня зовут Вольхин Юрий Николаевич.
- Я ведущий инженер АО «Центральное конструкторское бюро автоматики».
- Мои контакты для связи приведены на этом слайде.
- Сфера моих профессиональных интересов совпадет с названием нашего курса «Приёмные устройства диапазона СВЧ и радиофотоника».
- Разве что одно уточнение – «Сверхширокополосные приёмные устройства диапазона СВЧ, которые перекрывают верхнюю часть дециметрового диапазона длин волн, весь сантиметровый диапазон длин волн и часть миллиметрового диапазона длин волн.
- Эти приёмные устройства предназначены для размещения на различных боевых авиационных платформах – от различных самолётов и вертолётов – до различных ракет.
- Правда, в последнее время, мы иногда спускаемся с небес на землю – оказалось, что наши наработки в области защиты рождённых летать оказались весьма востребованы в области защиты рождённых ползать – а так же ездить – по поверхности земли.
- Так вот – этими сверхширокополосными приёмными устройствами СВЧ я занимаюсь уже лет 40-к.
- Ну а радиофотоникой занялся относительно недавно – лет 10-ть назад.
- Правда, зарплату мне платят как раз за первую часть «названия» курса, а радиофотоникой я занимаюсь, в основном в режиме хобби.
- Да - и пока вы слушаете официальную часть – просьба расписаться в этих листках – напротив своей фамилии – это мне нужно для отчётности.

- Просьба к старостам групп - поставить какой-нибудь «крыжик» рядом со своей фамилией, а так же внизу листа указать номер своего мобильного и e-mail.

---

## *Слайд №2*

---

- Далее – о том, что нам с вами предстоит сделать в обозримом будущем.

- Продолжительность курса – 2 семестра.

- Программа текущего семестра у нас будет такой:

- до 19 февраля вам – всем 3-м группам - я прочитаю 4-ре лекции.

- Так же в этом семестре у каждой из 3-х групп будет по 9-ть практических занятий, причём у РТм – 191 и РТм – 192 эти практические занятия буду проводить я, а у КРм-191 – думаю, хорошо вам знакомый Осипов Евгений Вадимович.

- Так же – в этом семестре – каждый из вас должен будет выполнить курсовую работу. Задания на эту курсовую работу вы получите через пару недель – на одном из практических занятий.

- Курсовая работа должна будет оформлена по установленным требованиям и подписана мной и Валерием Ивановичем Левченко.

- За курсовую работу выставляется оценка.

- Так же вам надо будет оформить – в свободной форме - результаты выполнения одного из практических заданий.

- Семестр должен будет завершиться недифференцированным зачётом.

- После 19 февраля вас распустят на «вольные хлеба» – до апреля – мая. Но на этих «вольных хлебах» мы будем с вами встречаться для проведения консультаций.

- Методы контроля за образовательным процессом будут традиционными – с «контрольными точками» в виде контрольной «недели», которая будет иметь место с 30.03.20г. по 12.04.20г. и, собственно, зачётной недели, которая будет иметь место с 01.06.20г. по 07.06.20г..

- Оценка ваших достижений в процессе обучения будет оцениваться по 100-бальной системе.

- Начисляться эти баллы будут по методике, которую использует Валерий Иванович Левченко – т.е. львиную долю баллов вы будете получать за посещаемость.

- Но с этой методикой вы знакомы лучше меня. А кто не знаком – пусть обратится за разъяснениями к своим со-группникам.

- Ну - разумеется - мы с вами будем встречаться на консультациях, о месте и времени которых будет объявлено дополнительно.

---

### *Слайд №3*

---

- Далее - собственно об этом курсе.

- Сразу хочу сказать, что «нормальное» преподавание данного курса – в данных обстоятельствах - невозможно в принципе.

- Объясню почему.

- Радиотехника – это такой кентавр, с «телом» в виде современной техники СВЧ – акцентирую – **современной** техники СВЧ – и «головой» в виде фотоники.

- Так вот - за исключением присутствующих здесь - 3-х сотрудников ЦКБА – никто из вас – скорее всего - вообще не имеет никакого представления о современной технике СВЧ.

- Поверьте – у меня для такого заявления есть все основания. Дело в том, что я - в течении последних 12-ти лет – на общественных началах – веду некие образовательные мероприятия с условным названием «Основы техники СВЧ».

- Эти мероприятия - абсолютно добровольно – посещают студенты ОмГТУ (с радиотехнического факультета) и студенты ОмГУ (с радиофизического факультета), которые думают о своём будущем.

- Так вот для них – в 100% случаев - всё то, что я рассказываю о современной технике СВЧ – является абсолютно новым материалом.

- И не от хорошей жизни – у нас в ЦКБА - был организован т.н. Корпоративный университет, в рамках которого так же читается курс «Основы техники СВЧ». Он состоит примерно из 60-ти часовых лекций и практических занятий – т.е., как минимум, 40 пар. Так вот - даже после этого курса – его слушатели лишь только-только перестают быть «слепыми котятками».

- А у нас – вместо 40-ка - на всё-про-всё 13 пар – 4 лекции и 9 практических занятий. И это вместе с фотоникой.

- А что такое фотоника? Часто её отождествляют с оптикой – а **это неправильно**, так как оптика специализируется только на излучениях т.н. оптического – т.е. видимого – диапазона длин волн.

- А область «интересов» фотоники – в дополнении к излучениям оптического диапазона длин волн – распространяется на излучения и ультрафиолетового, и инфракрасного диапазонов длин волн.

- Или другими словами – **оптика – это лишь один из разделов фотоники**.

- Но даже про оптику ваши знания, скорее всего, ограничиваются тем небольшим фрагментом, который вам преподавался в рамках курса общей физики.

- Вот почему я и делаю такие заявления о невозможности «нормального» - **для магистратуры** - преподавание данного курса.

- Поэтому, мы - с Вадимом Евгеньевичем - будем преподавать вам этот курс – скажем так – «контурно» – с большой научно-популярной составляющей.

- Так же многие фрагменты будут преподаваться в таком «ремесленном ключе» - когда некоторые утверждения не будут подкрепляться никакими алгебраическими выкладками. Поэтому, вам их придётся принимать, что называется, «на веру».

---

*Слайд №4*

---

- Так же имеет место напряжённость с различного вида методическими материалами и учебниками (да и те супостатские).

- На данный момент мы можем предложить следующее – заходить вот на этот сайт, который мы с коллегами создали лет 8-м назад и тогда-же практически законсервировали.

- Сейчас этот сайт «разморожен» и в ближайшее время начнёт активно заполняться новыми материалами.

- А кроме того, на заглавной странице этого сайта довольно подробно разъясняются причины, по которым радиофотоника оказалась в сфере интересов специалистов в области техники СВЧ.

- Таким образом - если называть вещи своими именами – на вас мы будем обкатывать принципиально новый – практически – в федеральном масштабе - курс магистерской подготовки.

- Поэтому, мы особо зверствовать не будем – отношение к вам будет максимально лояльным – особенно к тем, кто будет добросовестно посещать занятия.

- Ну, а если после первого же «прогона» этот курс не прикроют, то он будет развиваться и за год-другой мы его доведём до «магистерского» уровня – причём «без дураков» - по «гамбургскому» счёту. Во всяком случае, уже сейчас в ЦКБА идёт оборудование нескольких помещений для проведения лабораторных работ, которые состоятся в следующем семестре.

- Так же я надеюсь на то, что среди вас найдётся хотя бы 2-3 человека, которые выразят желание принять активное участие в создании этого курса. Так что приглашаю к сотрудничеству добровольцев – и в том числе за рамками официальной учебной программы.

---

**Слайд №5**

---

- И - в заключении официальной части - хочу сказать следующее.
  - Надо осознавать, что радифотоника - это профессия для экономики 6-го технологического уклада.
  - Я сейчас не буду особо долго распространяться об этих укладах - всё это вы сможете прочитать на уже упомянутом сайте - там в правом нижнем углу есть сноска - «учебные материалы». Кликнув её, там - в литературных источниках - вы обнаружите 2 файла по этой тематике.
- 

**Слайд №6**

---

- Ну, а если коротко, то с рубежа 18-го - 19-го веков и к началу 21-го века, человечество прошло 5 технологических укладов - и сейчас вступает в 6-й. Кстати говоря - я сейчас тут стою, а вы тут сейчас сидите - именно по этой причине - так как Министерство науки и высшего образования РФ требует от ВУЗов подготовки специалистов для экономики 6-го технологического уклада.

- А где эти специалисты будут работать?
- Из этой таблицы видно, что Россия только-только начала входить в **5-й** технологический уклад.

- Во всяком случае - в Омске - в течении ближайших лет 5-ти - такие специалисты, скорее всего, точно не будут востребованы, так как в ЦКБА - на проектном уровне - это дело практически заглохло, а в ОНИИПЕ, хоть и создана лаборатория, которая, в данный момент, занимается экспериментами в области радиофотоники, но чем это кончится - пока неизвестно. Есть ещё несколько учреждений и предприятий в Томске, Саратове, Москве, Перми, Санкт-Петербурге и Таганроге, где пытаются культивировать радиофотонику, но и у них пока всё в зачаточном состоянии.

- А вот специалистов в области СВЧ техники с руками оторвут – и у нас в Омске: в ЦКБА, в ОНИИП, на радиозаводе им А.С. Попова, и ещё на десятках отечественных предприятий, причём как в «столицах», так и на периферии. Да и шансов устроится во всякие там МТС или Билайн специалистам в области техники СВЧ намного больше, чем у «неспециалистов» в этой области. Да и радиофотонику без знания техники СВЧ освоить просто невозможно.

- Это я к чему. Если среди вас найдутся желающие получить начальную профессиональную подготовку в области современной техники СВЧ – то предлагаю после лекции подойти ко мне и пообщаться.

- Ну вот - вступительная часть окончена. Переходим собственно к первой лекции.

---

### *Слайд №7*

---

- В настоящий момент лазерные технологии получили самое широкое распространение в самых различных областях науки и техники – от резки металлов до стоматологии и офтальмологии.

---

### *Слайд №8*

---

- В системах хранения и снятия информации

---

### *Слайд №9*

---

- Если говорить о приложениях лазерного излучения в военном деле, то прежде всего на ум приходят лидары – локаторы, в которых в качестве зондирующего сигнала используется лазерное излучение.

---

**Слайд №10**

---

- Здесь показан принцип действия лидара

---

**Слайд №11**

---

- Эти лидары могут использоваться в различных лазерных прицелах и дальномерах.

---

**Слайд №12**

---

- Навигационных системах – и в частности – в сканерах поверхности земли.

---

**Слайд №13**

---

- Ну, и конечно – в системах высокоточного оружия – например, таких....

---

**Слайд №14**

---

- Или таких ...

---

**Слайд №15**

---

- Ну и в различных других системах вооружений – которые упоминаются в некоторых произведениях не совсем научной фантастики...

---

**Слайд №16**

---

- и уж совсем малонаучной фантастики.

---

**Слайд №17**

---

- Так же следует упомянуть про использование лазеров для управления химическими и другими технологическими процессами.

- Такого рода примеры можно перечислять бесконечно, но, в данном случае, бессмысленно, так как всё это - **к радиофотонике** - **не имеет никакого отношения**.

- А что имеет? И каковы основные причины её появления?

---

**Слайд №18**

---

- Можно абсолютно обосновано утверждать, что появление радиофотоники - это абсолютно закономерный итог развития систем передачи информации на большие расстояния.

- Первая такая система была создана с использованием телеграфных аппаратов **Самуэля Морзе**.

---

**Слайд №19**

---

- С использованием таких аппаратов – в середине 19-го века была проложена первая межконтинентальная телеграфная линия связи – по дну Атлантического океана.

- Однако, телеграфные линии обладали одним существенным недостатком – они требовали прокладки металлических проводов – или другими словами – были проводными. И пытливые умы занимал вопрос – а нельзя ли обойтись без проводов?

---

**Слайд №20**

---

- И первое, что приходило на ум – использовать световые сигналы.
  - Нельзя сказать, что подобная мысль была какой-то абсолютно революционной, так как световые сигналы использовались человечеством с незапамятных времён.
  - Однако, в 19 веке произошла первая научно-техническая революция, в результате которой человечество вышло на качественно новый уровень развития.
- 

**Слайд №21**

---

- И первым на этом уровне проявил себя **Александр Грэхэм Бэлл**.
- 

**Слайд №22**

---

- Он известен миру, прежде всего, как изобретатель проводного телефона.
  - Надо сказать, что Бэлл был очень интересным и разносторонним человеком – рекомендую поискать о нём информацию в интернете – для тех, кто хочет стать настоящим инженером это будет очень полезно.
  - Удивление вызывает уже одно то, что по профессии он был врачом, и в Бостонский университет его пригласили не как физика или инженера, а как специалиста по заболеваниям слухового аппарата.
  - И в частности, им была создана, одна из известнейших, и кстати говоря, до сих пор успешно функционирующая «Лаборатория Бэлла».
- 

**Слайд №23**

---

- Результаты деятельности этой лаборатории за прошлый век приведены на этом слайде.

---

**Слайд №24**

---

- Так вот, Белл придумал фотофон, принцип действия которого приведён на этом слайде.

---

**Слайд №25**

---

- А на этом слайде показано, как этот фотофон эксплуатировался в «полевых» условиях.

---

**Слайд №26**

---

- К сожалению – в отличие от проводного телефона – фотофон Белла – не имел коммерческих перспектив, так солнце было весьма капризным источником света – ночью не светит, а днём – за тучи норовит спрятаться. Да и земная атмосфера – как среда распространения «информационного» оптического сигнала – тоже имела массу нареканий. Но о проблемах распространения света в земной атмосфере мы поговорим позже.

Короче, в конце 19-го века наука и техника не были готовы решить две научно-технические задачи:

- создания искусственного источника оптического излучения, работоспособность которого не зависела бы ни от времени суток, ни от состояния атмосферы,

- создания канализирующей оптическое излучение среды, по которой оптический сигнал мог бы распространяться так же эффективно, как электрический ток распространялся по медным телефонным проводам.

### *Слайд №27*

---

- А тут ещё вот эти два гения человечества – почти синхронно – изобрели другой метод беспроводной связи – радио.

- И практически все передовые силы науки и техники – а так же огромные финансовые и материальные ресурсы – были брошены на развитие радиосвязи, которая доминировала, практически, весь 20 век.

- Но всё хорошее когда-нибудь кончается - и радиосвязь уткнулась в некоторые пределы, которые были обусловлены физическими законами этого мира.

- О чём тут идёт речь?

---

### *Слайд №28*

---

- Известно, что львиная доля информации на дальние расстояния всегда передавалась в виде наборов импульсных сигналов – начиная с аппаратов Морзе и кончая современными спутниковыми системами связи.

- А перед учёными и инженерами всегда стояла задача увеличения скорости связи.

- И вот эта гонка за скоростью, всегда неизбежно сопровождалась повышением несущих частот, на которых работали приёмные и передающие устройства систем связи.

- На одной из своих лекций, академик **Дианов Евгений Михайлович** сказал, что увеличение передачи информации - в течении всего 20-го века – осуществлялось, в основном, лишь за счёт увеличения несущей частоты.

---

**Слайд №29**

---

- Так были постепенно освоены километровые, метровые, сантиметровые и миллиметровые диапазоны длин волн.

---

**Слайд №30**

---

- Чтобы понять упомянутое выше утверждение академика Дианова, надо вспомнить курс радиотехнических цепей и сигналов.

- На этом слайде показана последовательность видеоимпульсов во временной области и в частотной области.

- Представление сигнала в частотной области, как правило, принято называть спектром сигнала.

- Так вот, ширина этого спектра обратно пропорциональна длительности видеоимпульсов  $\tau$ .

- А это значит – чем короче импульсы – тем шире спектр.

- А теперь составим нехитрую последовательность логических умозаключений.

- Хочешь передавать информацию с большей скоростью – передавай большее количество импульсов в единицу времени.

- А если хочешь передавать большее количество импульсов в единицу времени используй более короткие импульсы.

- А более короткие импульсы имеют более широкий спектр.

- Таким образом круг замыкается – хочешь передавать информацию с большей скоростью – используй линию с большей шириной полосы пропускания.

---

---

**Слайд №31**

---

- А если речь идёт о **радио**линии, то тут всё ещё круче, так как спектр модулированного видеоимпульсами радиосигнала в 2 раза шире спектра последовательности этих видеоимпульсов.

- И потому частота передатчика не может быть ниже ширины хотя бы 1-го «лепестка» спектра передаваемой последовательности видеоимпульсов.

- Поэтому - хочешь иметь большую скорость передачи информации по радиолнии – повышай частоту передатчика.

- К стати говоря – апофеозом этой гонки за скоростью стало создание волоконно-оптических линий связи, имеющих полосы в сотни гигагерц и частоты несущих в сотни терагерц.

- Но вернёмся к нашей истории про развитие радиосвязи.

---

**Слайд №32**

---

- Итак, в первые 10-летия 20-го века учёными и инженерами активно осваивались всё более высокочастотные диапазоны радиосвязи.

- Сначала освоили длинные волны, потом - перешли на средние. Это переход особых проблем не создал, так как средние волны, как и длинные – благополучно огибают земную поверхность.

- И проблема увеличения дальности радиосвязи решалась просто – за счёт увеличения мощности радиопередатчика.

---

**Слайд №33**

---

- При переходе к коротким волнам – случилась заминка, так как короткие волны наотрез отказались огибать земную поверхность.

- Но заминка была короткой – так как вскоре выяснилось, что короткие волны благополучно отражаются как от верхних ионизированных слоёв атмосферы – которые приято называть ионосферой, так и от поверхности нашей планеты.

- И более того, оказалось, что такая ионосферная связь может осуществляться хоть с обратной стороной земли - даже при использовании относительно маломощного - в сотню-другую Ватт – любительского радиопередатчика.

- Понятно, что идея ионосферной связи взялась «не с потолка» - в её основе лежали конкретные идеи и открытия, за которые человечество должно быть благодарно...

---

### ***Слайд №34***

---

- ***Оливеру Хэвисайду...***

---

### ***Слайд №35***

---

- и сэру ***Эдуарду Эплтону***, который за свои работы по тематике ионосферы в 1947 году получил Нобелевскую премию.

- Кстати говоря - здесь и далее - вы будете узнавать имена учёных и инженеров, о которых ранее не слышали.

- Поэтому, в настоящий момент - на упомянутом выше сайте ***[www.radiophotonics.ru](http://www.radiophotonics.ru)*** – в разделе «Учебные материалы» создаётся подраздел «Учёные и инженеры», в котором будет приведена информация об упоминаемых - в данной и последующих лекциях - малоизвестных широким массам персонажах.

---

### **Слайд №36**

- Но вернёмся к особенностям распространения коротких волн.
  - Оказалось, что ионосфера довольно капризная дама – ночью она одна – а днём другая.
  - При этом, как оказалось, в неизменном состоянии она существует не более 5 минут, а потом – может измениться до неузнаваемости.
  - И это требует постоянного контроля за её состоянием – иначе ни о какой надёжной и устойчивой дальней радиосвязи на коротких волнах и мечтать не приходится.
  - И все эти проблемы особо остро начали проявляться при приближении частоты передатчика к 30 МГц.
  - Более того, оказалось, что существует некая **"красная линия"** – т.н. **максимальная применимая частота**.
  - Если значение частоты передатчика окажется выше этой частоты, то излучаемые им электро-магнитные волны будут просто прошивать ионосферу насквозь и устремляться на поиски внеземных цивилизаций.
  - Поэтому, на частотах выше максимальной применимой частоты – значение которой как раз и лежит где-то в окрестности этих самых 30-ти МГц – ионосферная коротковолновая связь **становится невозможной**.
  - И тут я хочу акцентировать ваше внимание на одном моменте.
  - Сейчас вы узнали, что существует некая максимальная частота, на которой ещё можно осуществлять коротковолновую ионосферную связь.
  - А это значит, что и скорость передачи информации по таким коротковолновым радиоприемам тоже ограничена.
  - Оценим – хотя бы грубо – **предел этой скорости**.
-

### **Слайд №37**

- Для формирования устойчивого радиоимпульса требуется хотя бы десяток периодов частоты несущей – т.е. частоты излучения передатчика.

- Значение максимальной применимой частоты ионосферной коротковолновой связи, как было сказано выше, лежит в окрестностях 30-ти МГц.

- Таким образом, период излучения передатчика для случая максимальной применимой частоты составляет порядка одной тридцатой микросекунды, а минимальная длина радиоимпульса – **0.3 микросекунды**.

- А это значит, что при осуществлении ионосферной коротковолновой радиосвязи можно излучать не более 1 радиоимпульса в одну микросекунду.

- А это значит, что “чистая” – без всяких там спектральных уплотнений и прочих “неспортивных приёмов” - скорость передачи информации – в данном случае составит всего **1 Мб/с**.

- Понятно, что это грубая оценка, но вам в данном случае надо осознать - что для коротких волн существует **предельная скорость передачи информации, обусловленная свойствами ионосферы**.

- Ну а что делать, если позарез нужна более высокая “чистая” скорость передачи информации по радиолинии - и как следствие, радиосвязь на **более высоких** частотах или на **более коротких** волнах?

---

### **Слайд №38**

- Выход один – передавать электро-магнитные волны «по прямой» - на расстояния в пределах прямой «радиовидимости» - от одной радиовышки к другой.

- При этом, каждая радиовышка оснащается приёмником радиосигнала и передатчиком радиосигнала, которые и образуют **радиорелейный ретранслятор**.

- Приёмник принимает сигнал с соседней радиовышки, усиливает его, немного сдвигает по частоте, после чего этот сдвинутый по частоте сигнал поступает на радиопередатчик и излучается в направлении следующей вышки. А от той вышки – к следующей – и так на расстояния до тысяч километров.

- Так работает радиорелейная линия. И работают они на частотах выше 30 МГц – т.е. в метром, дециметровом, сантиметровом и даже миллиметровом диапазонах длин волн.

---

### ***Слайд №39***

---

- Кстати говоря, считается, что радиорелейная связь была изобретена **19-летним** бельгийским студентом итальянского происхождения Эмилем Гуарини Форесио в 1899 году.

- Надеюсь, вы услышали меня, господа бакалавры?

- Специально для тех, кто не услышал - повторяю - радиорелейная связь была изобретена 19-ти летним парнем.

---

### ***Слайд №40***

---

- Итак, радиорелейные линии связи были созданы для осуществления дальней радиосвязи на частотах от 30 МГц и выше – теоретически до бесконечности, что позволяло - опять же чисто теоретически – до той же самой бесконечности повышать скорость передачи информации.

- И рабочие частоты радиорелейных линий довольно активно - и довольно успешно – начали повышать.

- Так например, уже в 1931 г. была построена экспериментальная радиорелейная линия с рабочей частотой **1.67 ГГц**. Ретрансляторы этой линии были установлены на расстоянии нескольких 10-ков километров друг о друга на противоположных берегах Ла-Манша - один на французском, другой на английском.

---

### **Слайд №41**

---

- Приём и передача электромагнитных волн ретрансляторами велась с использованием параболических антенн, диаметром около **3 м**. Данная линия была построена **Laboratoires Central de Telecommunications**, которая являлась французским подразделением уже тогда знаменитой **International Telephone and Telegraph Corporation**.

- Руководил постройкой этой линии **Андрэ Габриэль Клавир**, которого - спустя 40 лет, как и положено...

---

### **Слайд №42**

---

- только в некрологе ☺ - назовут пионером микроволновой - или говоря по-нашему, СВЧ - радиорелейной связи.

- Но оказалось, что и тут есть ограничения, которые наложены «Великим архитектором».

---

### **Слайд №43**

---

- Оказалось, что с ростом частоты выше 30 МГц уровень затухания в атмосфере начинает возрастать чуть ли не по экспоненте, а на некоторых частотах – этот уровень просто резко подскакивает.

- Поэтому, при создании всё более высокоскоростных - а значит, и более высокочастотных радиорелейных линий - всё сильнее обострялись проблемы, связанные с увеличением уровня затухания сигнала в атмосфере.

- Как можно было с этим справиться?

- Самый простой способ - это увеличение мощности передатчика. Но до бесконечности увеличивать эту мощность было нельзя.

---

#### *Слайд №44*

---

- Поясню почему. На радиовышке передатчик ретранслятора находится рядом с приёмником. **Да** - они смотрят в разные стороны. **Да** - передатчик излучает на немного другой частоте. Но всё равно - какая-то паразитная наводка на **высокочувствительный** приёмник со стороны **мощного** передатчика существует. И при определённой мощности передатчика эта наводка становится настолько сильной, что **появляются проблемы с достоверностью** передаваемой информации.

- Поэтому, **фактически единственным** способом решения данной проблемы является **не столько увеличение** мощности передатчика, а **уменьшение расстояния** между радиовышками с ретрансляторами.

- Таким образом, при создании всё более высокоскоростных - и как следствие, более высокочастотных, радиорелейных линий связи - **неизбежно** приходилось уменьшать расстояние между ретрансляторами.

---

#### *Слайд №45*

---

- На этом слайде приведены данные радиорелеек, которые, фактически приблизились к тем пределам скорости, которые радиорелейки, вероятно, уже не переступят никогда.

- Откуда такая уверенность? Поясню.

- Я сознательно не буду акцентировать ваше внимание на линии производства ***E-Band Communications*** и ***Tyco Electronics***, которые предлагают линии со скоростью от 1.25 до 3 Гб/с с частотой несущей до 86 ГГц и рабочим расстоянием между ретрансляторами до 5-6 километров.

- Это «американские» фирмы, а это значит, что в рабочей документации на эти линии всегда - где-нибудь - ну очень мелким шрифтом - написано, что-то типа того - «...указанные рабочие расстояния обеспечивают устойчивую работу линии только при нереально-благоприятных состояниях атмосферы». Например, при нулевой влажности - как посреди какой-либо Сахары.

- Поэтому, я больше доверяю японцам из фирмы ***NEC*** - которые честно говорят, что если вы купите наши ретрансляторы ***ePASOLINC***, то мы вам гарантируем скорость передачи информации до 1.2 Гб/с на частотах до 86 ГГц, но ретрансляторы вам придётся расставить на расстоянии всего нескольких сотен метров друг от друга.

- И если задаться целью, сделать радиорелейку с более высокой скоростью передачи информации, то расстояние между ретрансляторами вообще ***сократится до 10-ков метров***.

- И кому нужна такая радиорелейка - ведь проще - и дешевле - будет протянуть волоконно-оптическую линию связи, скорость передачи информации в которой будет на порядки выше.

- Итак - где-то во 2-й половине 20-го века стало очевидным следующее - развитие радиорелейных линий связи начинает «упираться» в естественные - природные - ограничения. При этом, дальнейшее увеличение скорости передачи информации в таких линиях - за счёт увеличения частоты несущей до 100 ГГц и выше - было физически возможно, но делать это не имело смысла - по чисто экономическим причинам.

- Поэтому, снова возникла идея о реализации линий связи с использованием волн оптического диапазона. Тем более, что по некоторым компонентам фотофона Белла - за первые 50-60 лет 20-го века имели место серьёзные подвижки

---

**Слайд №46**

---

- При этом, например, примитивная лампа накаливания – по ряду причин - в качестве источника оптического сигнала уже не рассматривалась. И в частности – из-за низкого КПД,

---

**Слайд №47**

---

- спонтанности излучения

---

**Слайд №48**

---

- и широкого спектра излучения. Какие проблемы создаёт широкий спектр? Поясняю.

---

**Слайд №49**

---

- Есть такая характеристика среды, как коэффициент преломления, который, как правило, равен корню квадратному из диэлектрической проницаемости.

- И если волна проходит через границу раздела между двумя средами с различными коэффициентами преломления, происходит изменение направления движения волны.

- Ну так что – преломляется и преломляется. Какая тут проблема?

- А проблема в том, что диэлектрические проницаемости сред – а, значит, и коэффициенты преломления – частотно зависимы. А это значит, что каждая «цветовая» составляющие спектра лампы накаливания будет преломляться под «индивидуальным» углом преломления.

---

### *Слайд №50*

---

- Эту частотная зависимость диэлектрической проницаемости – коэффициента преломления – принято называть **дисперсией**.

- Первым этот эффект обнаружил сэр Исаак Ньютон, разложив при помощи призмы «дневной свет» на «цвета радуги».

- Такая же природа у «радуги», и у завораживающей игры разноцветных огоньков на гранях брильянта. Это не может не радовать романтически настроенные натуры вообще - и женщин, в частности.

---

### *Слайд №51*

---

- Но в нашем случае - это делает нам головную боль, так как широкополосное излучение лампы накаливания - по мере удаления от источника - начинает «расходиться» в пространстве. А нам-то - для обеспечения надёжной оптической связи - нужно прямолинейное распространение оптического луча.

- А как этого можно добиться в рамках имеющейся в нашем распоряжении планеты Земля с конкретными физическими законами?

---

### *Слайд №52*

---

- Только одним способом - предельного сужения спектра излучения - желательного до **монохроматического** состояния. В этом случае дисперсия, практически, бессильна - и, по крайней мере, не будет расщепления луча на границах сред,

***Слайд №53***

- что позволит сфокусированному монохроматическому лучу - в идеале - распространяться довольно долго, далеко и прямолинейно.

---

***Слайд №54***

- И более того, может многократно переотражаться без заметного ухудшения фокусировки.

---

***Слайд №55***

- И какие успехи были достигнуты наукой и техникой в области создания источников монохроматических сигналов на момент, когда релейные линии передачи начали буксовать по части увеличения скорости передачи информации за счёт увеличения частоты несущей?

- Довольно существенные - и прежде всего - в области фундаментальной науки.

- Ну - во-первых - в 1988 году - нашим соотечественником Столетовым были проведены первые фундаментальные исследования фотоэффекта.

---

***Слайд №56***

- В 1900 году Максом Планком были заложены основы квантовой теории.

---

---

**Слайд №57**

---

- 1905 год - для объяснения фотоэффекта - **Альбертом Эйнштейном** вводится понятие фотона - как кванта электромагнитного излучения. Эту дату можно назвать **началом истории фотоники**.

---

**Слайд №58**

---

- 1911 год – сэр **Эрнст Резерфорд** придумал планетарную модель атома.

---

**Слайд №59**

---

- А в 1913 году – **Нильс Бор** дал теоретическое обоснование планетарной модели Резерфорда с использованием квантовой теории Планка.

---

**Слайд №60**

---

- А в 1917 году – опять-таки Эйнштейн - теоретически предсказал возможность индуцированного излучения - которое сейчас, как правило, называют лазерным.

---

**Слайд №61**

---

- К началу 30-х годов прошлого века – **Вернером Гейзенбергом**, **Полем Дираком** и **Эрвином Шредингером** - были сформулированы основные постулаты квантовой физики.

---

*Слайд №62*

---

- В 1954 году – **Прохоровым Александром Михайловичем**, **Басовым Николаем Геннадьевичем** и **Чарльзом Хардом Таунсом** (Charles Hard Townes) - была экспериментально подтверждена возможность индуцированного излучения, теоретически предсказанная Эйнштейном в 1917 году.

- С этим событием связано одно заблуждение. Многие почему-то считают, что эти ребята в 1954 году изобрели лазер.

- Так вот - в 1954 году – они всего лишь - экспериментально - доказали теоретическую гипотезу Эйнштейна 1917 года. И всё!!!

---

*Слайд №63*

---

- И экспериментальная установка, на которой эта гипотеза была доказана, выдавала индуцированное излучение в сантиметровом диапазоне длин волн – где-то в районе 20-30 ГГц. И потому она называлась (и сейчас называется) – **MASER** - **microwave amplification by stimulated emission of radiation** или установка усиление микроволн с помощью индуцированного (стимулированного) излучения.

- На слове «микроволновый» тут не стоит зацикливаться, так как англо-саксы почему-то СВЧ диапазон называют микроволновым, хотя речь при этом идёт о дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн.

---

**Слайд №64**

---

- А первый «настоящий» лазер – или ***light amplification by stimulated emission of radiation*** – **устройство** усиление света с помощью индуцированного (стимулированного) излучения – был создан **Теодором Мейманом**. Что интересно – Нобелевскую премию он не получил. По моему – это одна из самых «чёрных» страниц Нобелевского комитета по физике.

- Рабочим телом лазера был рубиновый стержень с двумя строго параллельными торцами, каждое из которых было строго перпендикулярно продольной оси рубинового стержня. На одном из этих торцев – напылением серебра - было сформировано зеркало со 100% отражением, а на другом - полупрозрачное зеркало с 95% отражением. В физике такие штуки принято назвать резонаторами Фабри-Перо.

- Этот стержень был размещён внутри спиральной ксеноновой лампы от фотовспышки, а уже потом, вся эта конструкция была помещена в цилиндр с зеркальной внутренней поверхностью - чтобы максимум фотонов, излучаемых импульсной лампой - попадал на рубиновый стержень.

---

**Слайд №65**

---

- Рассмотрим принцип действия лазера Меймана.

- Итак - ксеноновая лампа даёт яркую вспышку белого цвета, который, как известно, в своём спектре содержит кучу фотонов самых различных цветов - от красного до фиолетового. Все эти цвета можно увидеть, если «белый» свет пропустить через треугольную призму.

И вот все эти разноцветные фотоны обрушиваются на рабочее тело лазера - рубиновый стержень.

---

*Слайд №66*

---

- Однако, обрушиваются то все, а вот поглощаются и излучаются - или одним словом, переизлучаются только «красные» фотоны с длиной волны в **694 нм** – как и предполагал Эйнштейн.

- Не видел нигде информации на этот счёт, но излучаются они, скорее всего, равномерно во все стороны. Однако, не все эти направления излучения фотонов равнозначны.

- Если фотоны двигаются не параллельно продольной оси рубинового стержня - или другими словами - неперпендикулярно плоскости зеркал на торцах стержня - они улетают в пространство за пределы рубинового стержня - т.е. в никуда.

- А те переизлучённые фотоны, которые подлетают к левому торцу под прямым углом, то они отражаются обратно в стержень.

- А те переизлучённые фотоны, которые подлетают к правому торцу под прямым углом, по большей части отражаются обратно в стержень, но часть этих фотонов излучается в пространство - параллельно продольной оси симметрии стержня.

- И количество этих отражённых от торцевых зеркал под прямым углом фотонов - благодаря непрерывной внешней накачке излучением ксеноновой лампы - непрерывно растёт.

- И, как следствие, увеличивается количество фотонов, проходящих через полупрозрачное зеркало на правом торце рубинового резонатора Фабри-Перо.

---

---

**Слайд №67**

---

- Интенсивность этого излучения непрерывно возрастает и в какой-то момент достигает некоторого предельного значения - уровня насыщения, характерного для данной конструкции лазера. При этом, происходит как бы "выдавливание" этими "накапливаемыми" фотонами всех других фотонов, которые потенциально могли бы двигаться по другим направлениям.

- Если проводить аналогию с электронными усилителями - этот процесс напоминает процесс выдавливания слабого сигнала сильным в режиме ограничения усилителя.

- Какими особенностями отличается излучение с правого торца лазера.

- Во-первых, это практически **монохроматическое** излучение с длиной волны **694 нм**.

- Во-вторых, все фотоны этого излучения двигаются по строго параллельным друг-другу траекториям.

- И в третьих, данное излучение является когерентным. Что это означает? А это означает то, что соотношение фаз излучаемых с правого торца рубинового стержня фотонов остаётся неизменным в каждый момент времени.

- Что это даёт?

---

**Слайд №68**

---

- Первое - это даёт возможность сфокусировать луч лазера практически «в точку».

- Второе - и в этой точке может быть создана просто чудовищная плотность энергии - позволяющая буквально плавить камни.

- И третье - даёт возможность излучать тот самый знаменитый «лазерный луч», который не расходится в пространстве даже больших расстояниях от излучающего его лазера.

- Но в качестве источника оптического сигнала для оптической линии связи - лазер интересен – прежде всего - по следующим причинам:

- возможностью фокусировки «в точку», что позволяет эффективно загонять излучение лазера в оптоволокно через торец диаметром около **10 мкм** - и это становится возможным благодаря монохромности лазерного излучения и параллельности движения составляющих его фотонов;

- возможностью распространения оптического излучения по оптоволокну с минимальными потерями - это тоже благодаря монохромности;

- низким уровнем всех типов шумов - от амплитудных до фазовых - и это благодаря когерентности излучения.

- И что немаловажно, при коммерческой эксплуатации оптических линий связи - более высоким, чем у источников спонтанного излучения КПД - **до 10-ков процентов**.

- Для сранения, КПД лампы накаливания по эффективности излучения в оптическом диапазоне, составляет порядка **5 %**.

---

### **Слайд №69**

---

- Ну а далее началось триумфальное проникновение лазеров практически во все сферы науки и техники. При этом, с каждым годом, расширялась номенклатура видов лазеров – от **твердотельных** до **газовых** и **волоконных**.

- Ну а нас в этой истории – прежде всего - интересует всего одно событие - 1967 году - группа **Жореса Ивановича Алфёрова** создаёт - “классическую” двойную гетероструктуру GaP<sub>0,15</sub>As<sub>0,85</sub>-GaAs полупроводникового лазера - а точнее, лазерного диода,

**Слайд №70**

---

- который способен работать в режимах **импульсного излучения** и **непрерывного излучения** при комнатной температуре.

- И вот именно это открытие послужило точкой отсчёта для истории полупроводниковых лазеров, которые, сначала, стали неотъемлемой частью всех современных волоконно-оптических линий связи - а потом - и радиофотонных устройств.

---

**Слайд №71**

---

- А сейчас эти полупроводниковые лазеры – а точнее – источники оптического излучения на основе полупроводниковых лазерных диодов внешне выглядят почти точно так же, как наши герметизированные СВЧ модули - только вместо коаксиальных СВЧ коннекторов - используются оптические коннекторы.

- Таким образом – на рубеже 60-70-х годов прошлого века - был создан один из ключевых элементов линий оптической связи – полупроводниковый лазер.

---

**Слайд №72**

---

- Ну что - после создания надёжных, компактных и относительно недорогих полупроводниковых источников лазерного излучения - можно было создавать и воздушные оптические линии связи.

- И они создавались, но широкого распространения не получили, так как атмосфера - как и ионосфера - тоже довольно капризна: в одном месте она более влажная - в другом - менее влажная.

- А это значит, что тот же лазерный луч будет проходить через границы сред с разными коэффициентами преломления - и, как следствие, **даже** луч лазера прямолинейно распространяться не будет.

- А в другом случае - луч лазера может попасть в стену из мелкой пыли, в которой он будет переотражаться и рассеиваться. А это потери.

- Таким образом - даже при наличии полупроводниковых (или любых других) источников лазерного излучения - создание надёжных линий дальней оптической связи было **практически невозможно**.

- Поэтому, было очевидно, что для обеспечения дальней оптической связи - необходимо было канализировать луч лазера в какой-либо «искусственной» - рукотворной - среде.

- Как я уже говорил выше, после изобретения радио актуальность оптической связи практически исчезла, а все кадровые, финансовые и материальные ресурсы были брошены на совершенствование систем радиосвязи. Проблематика оптических линий связи более чем на полвека «ушла в тень».

---

### **Слайд №73**

---

- Правда, эта проблематика – в латентной форме – была представлена в исследовательских работах в других областях науки и техники.

- Первые эксперименты по канализации оптического излучения были проведены **Джоном Тиндалом**.

- Он продемонстрировал свои эксперименты в 1870 году с использованием шланга заполненного водой.

---

### **Слайд №74**

---

- Сейчас результаты его экспериментов, например, используются при создании цвето-музыкальных фонтанов.

---

**Слайд №75**

---

- Так же известны исследовательские работы **Ханселла Кларенса Вестона** (Hansell Clarence Weston) и **Джона Логи Бёрда** (John Logie Baird) в области медицинских эндоскопов.

---

**Слайд №76**

---

- Эти исследования получили своё логическое завершение в работах **Брайена О'Брайена** (Brian O'Brien), **Абрахама Ван Хила** (Abraham Van Heel) и **Харальда Горация Хопкинса** (Harold Horace Hopkins). Но это были всего лишь световоды для медицинских эндоскопов.

---

**Слайд №77**

---

- Однако, принципиально новое решение для создания оптических волокон предложил **Нариндер Синх Капани** (Narinder Singh Kapany).

---

**Слайд №78**

---

- Суть этих предложений свелась к следующему – он предложил спекать оптический волновод из двух типов стеклянных волокон. При этом, волокна с более высоким коэффициентом преломления располагались внутри, а снаружи – волокна с более низким коэффициентом преломления.

- Благодаря этой разработке - и ещё ряду последующих - Нариндера Капани считают основателем волоконной оптики.

---

**Слайд №79**

---

- Но даже волокна Копани имели чудовищные потери - до **1000 дБ** на километр, что ставило крест на перспективах использования таких волокон в оптических линиях дальней связи.

---

**Слайд №80**

---

- Тут нужен был новый гений, человечество его выдвинуло.

- В 1966 году были опубликован отчёт о результатах работ англо-американского инженера-физика китайского происхождения **Чарльза Куэна Као** (Charles K. Kao ) - сотрудника исследовательского центра компании **Standard Telephones and Cables** (STC) в Харлоу (филиала **ITT Corporation**, США). Целью этих работ было выяснение причин слабой прозрачности стекла. Вместе **Г. А. Хокэмом** (G.A. Hockham) Као исследовал свойства стекла и пришел к выводу, что его прозрачность **ухудшают примеси**.

Као предсказал, что если устранить эти **"вредные"** примеси, то коэффициент затухания можно понизить до **20 дБ/Км**, а если в стекло ввести некоторые **"полезные"** примеси - то и эта величина может быть резко понижена - до **3 дБ/км и ниже**.

- Главным **теоретическим** выводом его работ становится определение **порогового значения** величины затухания сигнала. Чтобы **информация** переносилась внутри волоконно-оптических каналов без существенных потерь, **величина затухания не должна превышать 20 дБ/км**. Изложенные в этом документе идеи по использованию волокна для потребностей связи **являются основой телекоммуникаций сегодняшнего дня**.

- Позднее, группа Као (в которую входили **Т. Дэвис**, **М. Джоунс** и **С. Райт**), тестируя различные материалы, приходит к выводу, что идеальным кандидатом для создания оптических волокон для дальней оптической связи **является кварц** ( $\text{SiO}_2$ ), в котором наблюдался наименьший уровень затухания сигнала.

- На основе результатов этих работ Као **первым** предложил использовать волоконно-оптические кабели для передачи информации на большие расстояния (до этого их дальность ограничивалась несколькими метрами). По началу, в эту идею мало кто верил, но **личная роль** ученого в процессе инженерной и коммерческой реализации проекта **в корне изменила индустрию телекоммуникаций**.

---

### **Слайд №81**

---

- Первые образцы оптических волокон с низкими - **до 17 дБ / Км** - потерями были созданы к осени 1970 г. группой сотрудников фирмы **Corning Glass Works** (с 1989 г. эта фирма называется **Corning Incorporated**), в состав которой входили **Роберт Д. Маурер**, **Дональд Кек** ( Keck ), **Peter C. Шульц**, и **Фрэнк Займер** (Zimar).

Для создания этих волокон использовалось **силикатное стекло, легированное титаном**. Через несколько лет они же создали волокно с потерями до **4 дБ/Км**, используя в качестве основной присадки **оксид германия**.

---

### **Слайд №82**

---

- Фактически этими специалистами было создано одномодовое волокно, конструкция которого приведена на этом слайде.

---

---

**Слайд №83**

---

- А его поперечное сечение на этом.

---

**Слайд №84**

---

- А профиль коэффициентов преломления - на этом.

Благодаря этим работам, **волоконная оптика стала пригодной для практического применения** в телекоммуникационных сетях, а фирма **Corning** - мировым лидером по производству оптического волокна.

---

**Слайд №85**

---

Ну, а сейчас, весь мир опутало одномодовое волокно типа SMF - 28, с потерями в десятые доли децибела на километр

---

**Слайд №86**

---

- При этом так оказалось, что, минимальные потери в этих волокнах приходится на длины волн порядка 1.3 мкм и 1.5 мкм. Поэтому, сейчас весь мир «подсел» на ВОЛС, в которых используются именно эти длины волн.

- Ну а далее, после создания эффективных и относительно «бюджетных» электро-оптических модуляторов и фотодетекторов - о которых мы поговорим в следующих лекциях – началось бурное развитие волоконно-оптических систем связи.

---

**Слайд №87**

---

- На этом слайде показаны темпы этого развития.

- Как видите, «психологический» рубеж в 1000 Мегабит в секунду или - другими словами - **1 Гигабит в секунду** был пройден в 1997 году.

- Поясню причину, по которой я акцентирую ваше внимание именно на этом значении скорости передачи информации.

---

### **Слайд №88**

---

- Сама по себе волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) является сложнейшим – «комплексным» - устройством, которое содержит различные автоматизированные

- источники питания,
- входные/выходные кодирующие/декодирующие устройства,
- входные/выходные усилители оптических сигналов и т.п.

- Однако, ключевым элементом любой ВОЛС - её «сердцевиной» является радиофотонный тракт, который - если укрупнённо – состоит из

- модуля электро-оптического преобразования («передатчика»),
- опто-волоконного тракта,
- модуля опто-электронного преобразования («приёмника»).

- В модуле электро-оптического преобразования (МЭП) осуществляется модуляция оптического сигнала электрическим сигналом.

- А в модуле опто-электронного преобразования (МОП) осуществляется демодуляция модулированного оптического сигнала с выделением электрического сигнала, который – в идеальном случае – является точной копией входного - модулирующего электрического сигнала.

- Таким образом, в МЭП и МОП происходит взаимодействие оптических и электрических сигналов.

- Оценим временные и частотные параметры этих электрических сигналов для случая скорости передачи информации в 1 Гигабит в секунду (1 Гб/с).

---

### *Слайд №89*

---

- При такой скорости передачи информации – без каких-либо спектральных или пространственных уплотнений – в 1 нс должен передаваться, как минимум, 1 видеоимпульс.

- Поэтому, длительность таких видеоимпульсов  $\tau$  должна быть, как минимум, раза в три меньше **1 наносекунды**.

- А это значит, что верхняя граница первого «лепестка» спектра последовательности таких видеоимпульсов ( $1/\tau$ ) превышает **1 Гигагерц**.

---

### *Слайд №90*

---

- Следовательно, можно говорить о том, что для обеспечения скорости передачи информации – без каких-либо спектральных или пространственных уплотнений – в **1 Гб/с**, необходимо было создать электро-оптические модуляторы для МЭП и фотодетекторы для МОП, в которых взаимодействовали оптические сигналы с длиной волны излучения  $\sim 0,9 \dots 1,5$  мкм (или с частотами в сотни Терагерц) и электрические сигналы с частотами более 1,0 ГГц.

- И кому можно было поручить создание таких модуляторов и детекторов – или, если смотреть на проблему шире – радиофотонной компонентной базы?

- Специалистам в области техники СВЧ? Так они ни черта не сообщают ни в опто-электронике, ни в фотонике.

- Или может специалистам в области опто-электроники и фотоники? Так они - как чёрт от ладана - шарахались (и продолжают шарахаться) от СВЧ проблематики.

- Поэтому, на рубеже 20-го - 21-го веков - для создания высокоскоростных ВОЛС - потребовались специалисты в абсолютно новой области науки и техники, которая специализируется

- на изучении взаимодействий фотонных (и в частности - оптических) сигналов и СВЧ электрических сигналов

- и на создании технических устройств, в которых используются такие взаимодействия.

- В дальнейшем, такие технические устройства - будем называть **радиофотонными устройствами**.

- А что касается названия этой новой области науки и техники, то тут - в начале был полный разброд и шатание. Как только её не обзывали:

---

**Слайд №91**

---

- и радио-оптикой,

---

**Слайд №92**

---

- и СВЧ - оптикой,

---

**Слайд №93**

---

- и сверхвысокочастотной опто-электроникой.

---

---

**Слайд №94**

---

- Однако, начиная с 10-х годов 21-го века всё чаще стал использоваться термин **«радиофотоника»**.

---

**Слайд №95**

---

- И более того, этот термин уже использовался в документах Правительства РФ.

- Вот таким длинным - почти на 80 слайдов - получилось обоснование моего утверждения, **что радиофотоника является абсолютно закономерным итогом развития систем передачи информации на большие расстояния** (см. слайд №18 данной презентации).

- А вообще, я вам предлагаю воспринимать радиофотонику, как раздел техники СВЧ, в котором изучаются возможные варианты решения проблем техники СВЧ с использованием методов и средств фотоники.

---

**Слайд №96**

---

- А в англо-язычной литературе эта область науки техники – в подавляющем большинстве случаев - называется **Microwave Photonic** (или просто **MWP**) - **микроволновая фотоника**.

- На всякий случай ещё раз акцентирую – в англоязычной литературе под термином **«Microwave»** подразумевается диапазон частот, который перекрывает верхнюю часть дециметрового, весь сантиметровый и нижнюю часть миллиметрового диапазона длин волн – или то, что отечественные специалисты - в повседневном общении - «ненормативно» называют **«диапазон СВЧ»**.

---

**Слайд №97**

---

- Необходимо отметить, что радиопотоника (микроволновая фотоника) в настоящий момент является очень солидным направлением развития науки и техники. Это утверждение можно подкрепить хотя бы тем, что международный Институт инженеров в области электротехники и электроники (IEEE) ежегодно проводит очень представительные международные конференции,

---

**Слайд №98**

---

- которые имеют аббревиатуру **MWP**.

---

**Слайд №99**

---

- А у нас в РФ - в прошлом году - на базе Московского инженерно-физического института - был создан **Консорциум по развитию радиопотонных технологий на территории Российской Федерации**. Одним из соучредителей этого Консорциума является АО «Центральное конструкторское бюро автоматики» (г. Омск).

- Вот таким длинным - почти на 100 слайдов - получилось обоснование моего утверждения, что радиопотоника является абсолютно закономерным итогом развития систем передачи информации на большие расстояния (см. слайд №18 данной презентации).

---

**Слайд №100**

---

- И в завершении этой первой лекции хочется акцентировать ваше внимание вот ещё на чём.

- Те из вас, кто надумают более-менее серьёзно вникнуть в «деб-ри» радиофотоники, неизбежно столкнутся с таким «явлением», как **акустооптика**, где так же рассматриваются и используются взаимодействия фотонных (и в частности - оптических) сигналов и СВЧ электрических сигналов. Так вот – по моему мнению – на данный момент - это тупиковая ветвь развития науки техники. И потому, я не буду тратить ни своё, ни ваше время на рассказы по этой тупиковой тематике.

---

***Слайд №101***

---

- На этом сегодня всё – спасибо за внимание!

---