

5. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИИ

Понятие о детекторе и основные требования к ним. Прибор для регистрации любого вида излучения состоит из детектора и измерительного устройства (измерительной электронной аппаратуры). Детектор включает в себя чувствительный объем, в котором энергия ионизирующего излучения в процессе взаимодействия с веществом детектора преобразуется в другой вид энергии, наиболее удобный для измерения этого эффекта, как правило это электрический сигнал. (электрический импульс), который затем преобразуется в аналоговую или цифровую информацию и выводится на показывающее устройство. Вещество чувствительного объема может быть газом, жидкостью или твердым телом, соответственно детекторы называются газовыми, жидкостными или твердотельными. Таким образом, все методы дозиметрии основаны на измерении реакции, вызываемой ионизирующим излучением в облучаемой среде. Такими реакциями могут быть: ионизация, химический эффект, фотографический эффект, нагрев, свечение и т.п.

В соответствии с видом измеряемой реакции существуют различные методы дозиметрии ионизирующего излучения. Наиболее широкое распространение в практической дозиметрии получили ионизационный, сцинтилляционный, полупроводниковый, фотографический и химический методы.

Экспериментальное определение доз излучения в полном объеме задач, не может быть осуществлено с помощью какого-либо одного метода регистрации.

В принципе, любое вещество, которое изменяет в доступной для измерений степени свои физические или химические параметры под воздействием ионизирующего излучения, может являться основой для дозиметра. Однако при практической реализации такой возможности вступает в действие ряд требований к измерительной системе, которые резко ограничивают выбор соответствующего вещества, воспринимающего излучение. К таким требованиям, наряду с другими, относятся: тканеэквивалентность, высокая чувствительность, достаточная точность и стабильность показаний во времени.

Связь между детектором и усилителем импульсов. Детекторы ионизирующих излучений работают в комплекте с различными электронными усилителями, преобразовательными и измерительными показывающими, регистрирующими, индикаторными и другим устройствами, имеющими определенные электронные схемы. Снимаемый с сопротивления нагрузки детектора сигнал поступает на вход электронной схемы, которой часто служит усилительный каскад с определенными входными параметрами. Для обеспечения максимальной амплитуды сигнала входная емкость усилителя должна быть минимальной, а входное сопротивление должно быть больше сопротивления нагрузки. При этом меньше сказывается влияние изменения входного сопротивления на параметры сигнала. Если в схему поступает непосредственно ток детектора, то входное сопротивление усилительного каскада должно быть меньше выходного сопротивления самого детектора.

Связь сопротивления нагрузки R_n с усилительным каскадом бывает гальванической и через разделительный конденсатор (рис.29).

В первой схеме сопротивление нагрузки детектора одновременно является элементом усилительного каскада и подключено к затвору полевого транзистора, а во второй схеме эти функции выполняются разными сопротивлениями и конденсатор связи C_c имеет большой запас по рабочему напряжению с абсолютным отсутствием утечек, которые создают ложные сигналы на входе усилителя. В эквивалентной схеме входа емкость детектора C_d подключена параллельно сопротивлению нагрузки R_n , а емкость входа электронной схемы C_e параллельно сопротивлению R_c . В этой схеме сигнал с нагрузки детектора поступав на вход усилителя с минимальными искажениями.

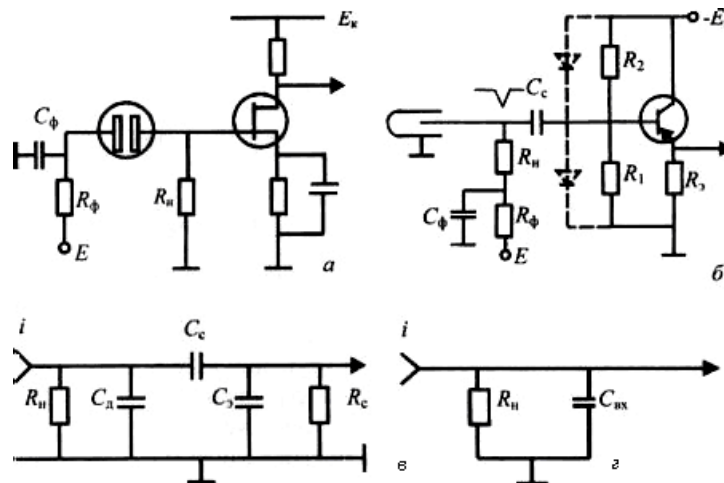


Рис.29. Схемы связи детекторов с электронными схемами: а – гальваническая связь; б – связь через разделительный конденсатор; в – эквивалентная схема входа при передаче сигнала через разделительный конденсатор; г – обобщенная эквивалентная схема.

Для передачи сигнала с выхода ФЭУ сцинтилляционного детектора в соединительный или формирующий кабель применяется составной повторитель (рис.30). Коэффициент усиления составной схемы определяется коэффициентами усиления входящих в нее транзисторов и поэтому его входное сопротивление может быть значительным. Его выходное сопротивление не зависит от сопротивления источника сигнала. В схеме выход составного повторителя подается на высокочастотный кабель, выполняющий две функции. Часть кабеля ЛЗ₁ служит для передачи сигнала от детектора к электронной установке, а короткозамкнутый отрезок ЛЗ₂ формирует сигнал, укорачивая его. Сопротивление R', включенное на входе кабеля ЛЗ₁ необходимо для согласования выходного сопротивления повторителя и волнового сопротивления кабеля.

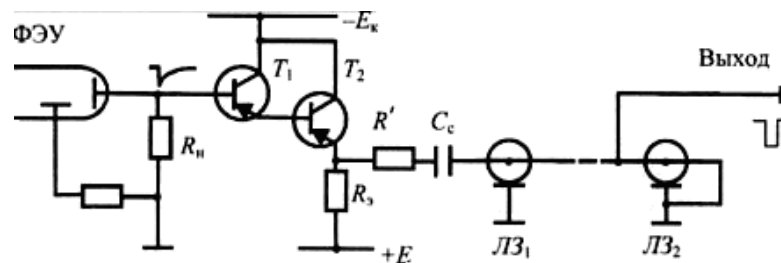


Рис.30. Применение составного повторителя для передачи сигналов с выхода ФЭУ в кабель.

В быстродействующих схемах, предназначенных для определения временных корреляций и требующих минимальной длительности импульсов, используются непосредственно импульсы тока детектора без предварительного интегрирования. Для передачи импульсов тока применяют схемы с малым входным сопротивлением. Входное сопротивление схемы с общей базой определяется сопротивлениями эмиттерного и базового переходов и не превышает десятков Ом. Поэтому даже при значительной емкости полупроводникового детектора (ППД) постоянная времени входа мала и обеспечивается работа с большими нагрузками. Емкость связи $C_{св}$ подбирается из условий неискаженной передачи импульса тока детектора в низкоомную цепь эмиттера T_1 (рис.31).

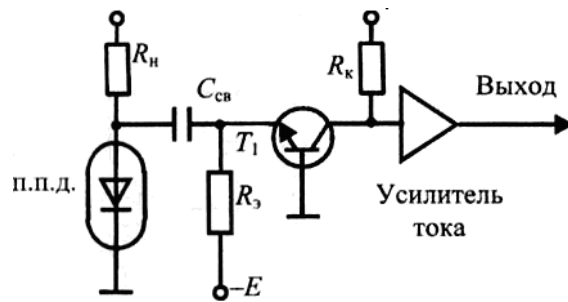


Рис.31. Передача импульса тока полупроводникового детектора каскадом с общей базой.

Схема передачи импульсов тока детектора с последующим интегрированием приведена на рисунке 32. Импульс тока ФЭУ сцинтилляционного счетчика через соединительный высокочастотный кабель поступает на вход каскада с заземленной базой T_1 . Из-за малого входного сопротивления каскада затягивание импульсов тока на входе не происходит. Необходимое интегрирование производится цепью $-R_иC_{и}$, включенной в коллектор T_1 . Каскад на эмиттерном повторителе T_2 , обладающий высоким входным сопротивлением, обеспечивает передачу импульсов напряжения для последующего усиления. Сопротивление R вводится для согласования малого входного сопротивления схемы с волновым сопротивлением кабеля.

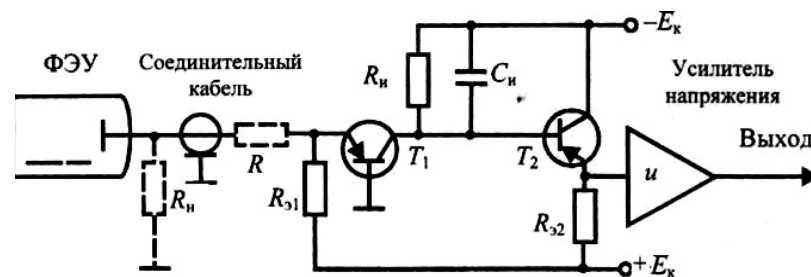


Рис.32. Схема передачи импульса с последующим интегрированием.

Основной характеристикой детекторов, используемых в дозиметрии, является **эффективность регистрации** ионизирующего излучения, которая равна отношению энергии поглощенной в чувствительном объеме детектора, к энергии ионизирующего излучения, проходящей через этот объем (т.е. какая доля от энергии ионизирующего излучения проходящей через детектор теряется в чувствительном объеме детектора).

Измерительная же аппаратура характеризуется прежде всего чувствительностью, определяемой минимальным уровнем регистрируемого электрического сигнала детектора.

В дозиметрических приборах есть понятие **«ход с жесткостью»** – это **зависимость чувствительности дозиметра**, т.е. зависимость отношения: ионизационного тока камеры к мощности дозы, скорости счета к дозе, степени почернения фотодозиметра к дозе, плотности потока излучения к мощности дозы и т.д. (i/P , N/D , S/D , I/P) **от энергии гамма-квантов рентгеновского или гамма излучения.**

Типичные зависимости «хода с жесткостью» дозиметров от энергии гамма-квантов приведены на рисунках 33,34,35,36.

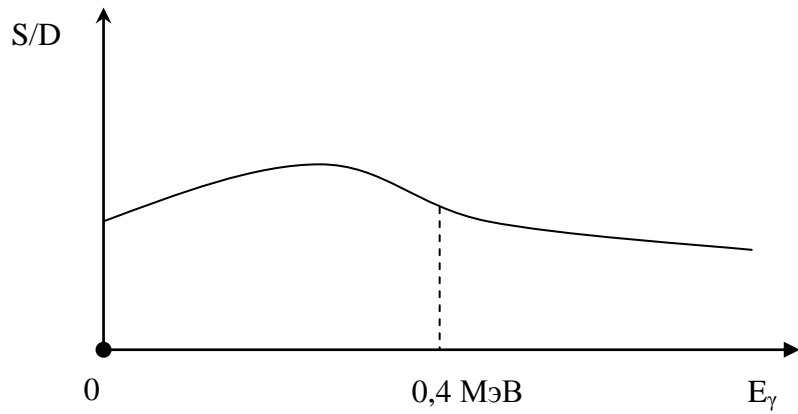


Рис.33. «Ход с жесткостью» фотодозиметра. S —плотность почернения пленки, S/D —чувствительность дозиметра.

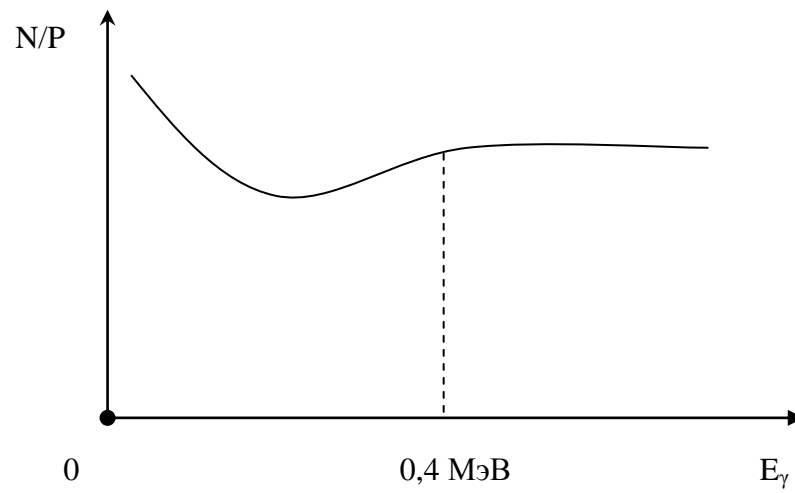


Рис.34. «Ход с жесткостью» газоразрядного счетчика. N — скорость счета, P — мощность дозы.

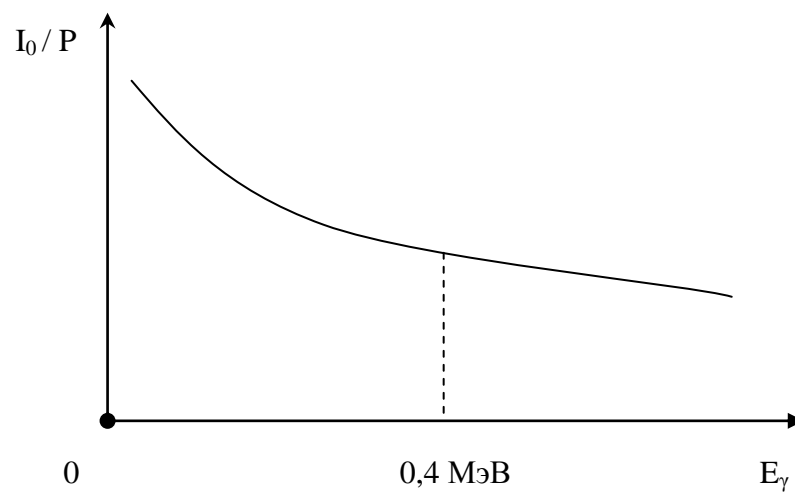


Рис.35. «Ход с жесткостью» наперстковой камеры с алюминиевой стенкой. I_0 — ток насыщения, P — мощность дозы.

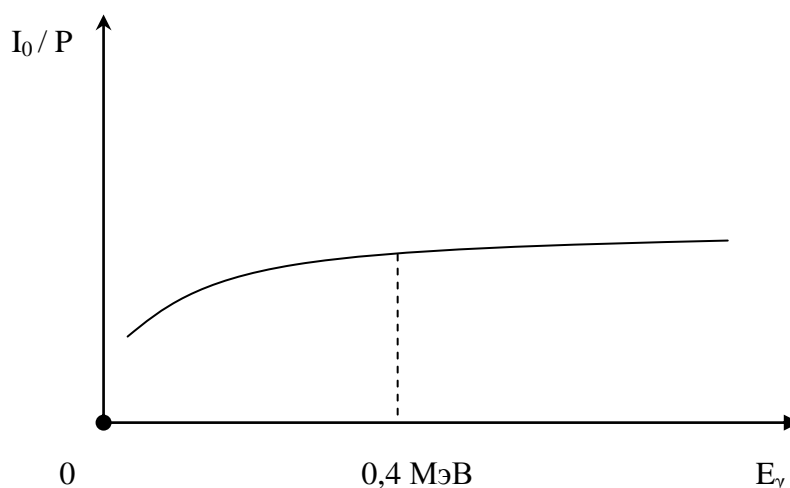


Рис.36 . «Ход с жесткостью» наперстковой камеры с графитовой стенкой, I_0 – ток насыщения, P – мощность дозы.

Таким образом, анализируя рисунки, можно сделать выводы, что **наибольший «ход с жесткостью» имеет место в области малых энергий до 0,4 МэВ (до 400 кэВ).** При отсутствии «хода с жесткостью» чувствительность дозиметра не зависит от энергии ионизирующего излучения. **Наличие «хода с жесткостью» увеличивает ошибку измерения.**

5.1. Ионизационный метод дозиметрии

В ионизационном методе в дозиметрии используются ионизационные камеры и газоразрядные счетчики.

Ионизационными камерами называют ионизационные детекторы с низким значением напряженности электрического поля в чувствительном объеме, не достаточной для возникновения ударной ионизации. Газоразрядными счетчиками называют детекторы с высоким значением напряженности электрического поля, использующие механизм газового усиления. В этом состоит их принципиальное отличие от ионизационных камер.

Ионизационные камеры в дозиметрии. Важнейшей характеристикой ионизационной камеры является вольт-амперная характеристика, представляющая собой зависимость тока, протекающего через ионизационную камеру, от приложенной к ее электродам разности потенциалов (рис. 37).

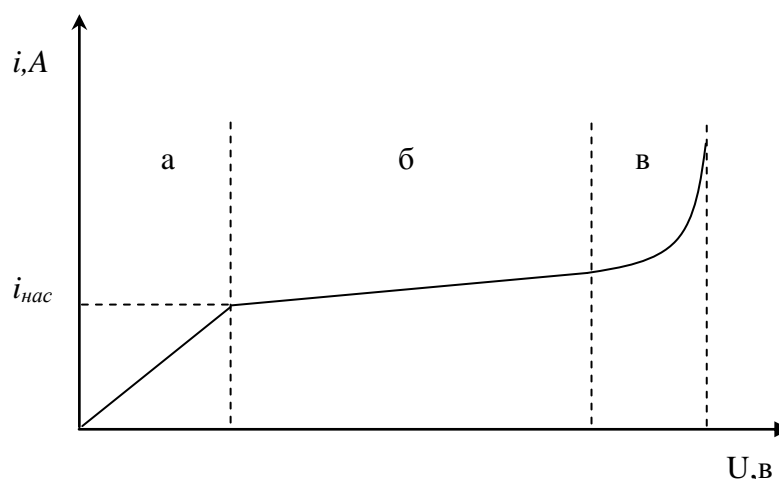


Рис.37. Вольт–амперная характеристика ионизационной камеры.

Значение ионизационного тока в области «б» называют током насыщения $i_{нас}$.

однозначно связано с числом пар ионов, образованных излучением в чувствительном объеме камеры:

$$i_{\text{нас}} = N \cdot e,$$

где, N – число пар ионов, e – заряд иона, численно равный заряду электрона.

Если интенсивность излучения остается постоянной по всему объему камеры (равномерная ионизация), то имеет место соотношение:

$$I_{\text{нас}} = N_0 \cdot V_0 \cdot e,$$

где, N_0 – число пар ионов, образуемых излучением в 1 см^3 за 1 с ,

V_0 – чувствительный объем камеры, см^3 .

Следовательно, зная объем камеры и измерив ток насыщения, можно легко определить число пар ионов, образуемых излучением в 1 см^3 воздуха за 1 с , то есть измерить мощность дозы ионизирующего излучения. Таким образом, ионизационная камера позволяет не только обнаружить ионизирующее излучение, но и измерить его количественно.

Практическая реализация изложенного принципа определения мощности дозы ионизирующего излучения встречает определенные трудности. Первая из них заключается в малом уровне измеряемого эффекта. Например: для камеры с чувствительным объемом 100 литров ионизационный ток равен $2,6 \cdot 10^{-13}$ ампера при мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, равной 28 мкЗв/ч ($2,8 \text{ мбэр/ч}$). Поэтому схема должна содержать малощумящий блок усиления очень слабых сигналов с большим коэффициентом усиления.

Другая трудность связана с необходимостью точно знать значение чувствительного объема, для чего необходимо обеспечить однородность электрического поля между электродами камеры. Для этого иногда в конструкцию камеры вводят дополнительные электроды со специально подобранным распределением потенциалов, способствующим выравниванию собирающего электрического поля.

Ионизационные камеры, которые служат для измерения суммарного ионизационного эффекта называют **токовыми** или **интегрирующими** камерами. Такого рода интегрирование (суммирование) эффекта от большого числа актов ионизации, имеющих место в чувствительном объеме камеры, достигается выбором RC – цепочки входной цепи ($R_1 C_1$) усилителя сигналов от детектора показанной на рисунке 38 (для сопротивления изолятора камеры 10^{15} ом и емкости камеры 10^{-11} ф время интегрирования около 10^{-4} с).

Токовая камера, в чувствительном объеме которой ионизация создается вторичными электронами, возникающими в результате взаимодействия гамма-квантов с воздухом, называется **безстеночной** (нормальной) камерой.

Токовая камера, в чувствительном объеме которой ионизация создается вторичными электронами, возникающими в результате взаимодействия гамма-квантов со стенками камеры, называется **стеночной** ионизационной камерой.

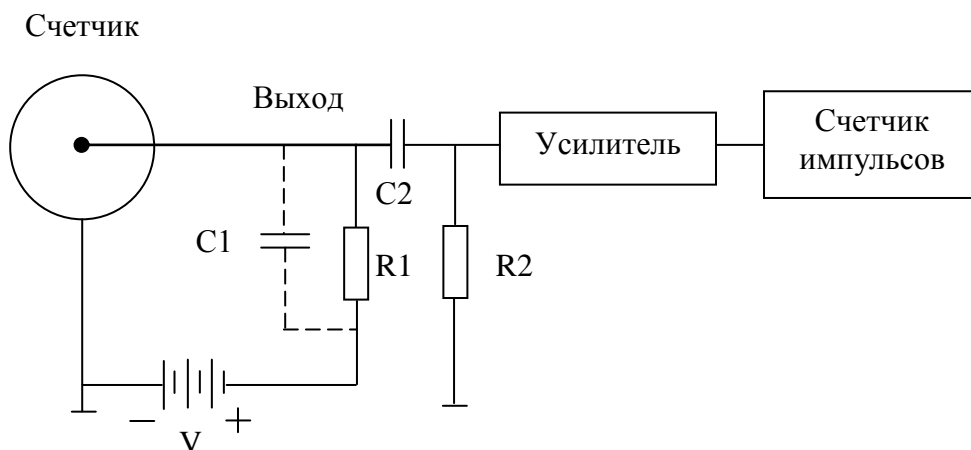


Рис.38. Схема включения ионизационной камеры.

Воздух является сложным веществом (газовой смесью) и имеет эффективный атомный номер ($Z_{\text{эфф}} = 7,64$). Можно подобрать вещество стенки камеры и газ, заполняющий полость камеры с равными Z . Такие стеночные камеры называют **гомогенными**. Частным случаем гомогенной камеры является воздухоэквивалентная камера, эффективный атомный номер стенки которой $Z_{\text{ст}} = Z_{\text{возд}}$.

В дозиметрии главной задачей является измерение энергии, поглощенной тканями человеческого тела. Эффективный атомный номер тканей тела (вода, кровь, мышцы) равен 7,42 и он близок к эффективному номеру воздуха (7,64). Это позволяет определить поглощенную энергию для тканей тела человека по результатам измерения ионизации, создаваемой анализируемым излучением в воздухе.

Требованию воздухоэквивалентности или тканеэквивалентности отвечают материалы, имеющие одинаковые коэффициенты поглощения первичного излучения и одинаковую атомную тормозную способность для вторичных частиц. К таким материалам относятся бакелит, плексиглас, полистирол и т.п. «Ход с жесткостью» отсутствует в камерах, у которых стенки сделаны из воздухоэквивалентного материала.

Газоразрядные счетчики. К детекторам большой чувствительности относятся газоразрядные счетчики. Они могут выдать большой сигнал даже от одной ионизирующей частицы, но не могут определить их природу. В настоящее время широко распространены галогенные счетчики, имеющие такой недостаток, как большое время развития разряда ($10^{-3} - 10^{-5}$ с), т. е. очень большое мертвое время.

К недостаткам газоразрядных счетчиков относится тот фактор, что при работе с большими потоками ионизирующих частиц следует принимать во внимание нечувствительность счетчика в период мертвого времени. Поэтому в ряде случаев такие приборы в условиях возможного резкого изменения дозы облучения не следует применять, или дублировать их с помощью ионизационных камер.

У газоразрядных счетчиков наблюдается большой «ход с жесткостью», что сильно затрудняет абсолютные измерения, а также проведение измерений в единицах доз так как необходимо учесть зависимость мощности дозы от числа падающих частиц и их энергий (например, дозовая чувствительность счетчика СБМ-21, возрастает в 3,6 раза при уменьшении значения энергии квантов от 0,5 МэВ до 0,05 МэВ). Поэтому для уменьшения «хода с жесткостью» используют фильтры: кадмиевый фильтр снижает погрешность до 25% в диапазоне энергий фотонов 0,05–3 МэВ для счетчика СБМ-21.

Основное преимущество газоразрядных счетчиков по сравнению с ионизационными камерами это **большой выходной сигнал**.

5.2. Фотографический метод дозиметрии

Фотографические детекторы основаны на свойстве ионизирующих излучений воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов аналогично видимому свету. Для детектирования обычно применяют рентгеновские пленки, представляющие собой чувствительную эмульсию, нанесенную с одной или с двух сторон на целлулоидную подложку. В состав чувствительной эмульсии входит бромистое или хлористое серебро, равномерно распределенное в слое желатина. Эмульсия может наноситься также на стекло и бумагу.

Фотоэмульсия состоит из отдельных кристаллов или зерен бромистого серебра (AgBr), в среднем равномерно распределенных в желатине. Размер и форма отдельного зерна и их число в единице объема зависят от технологии приготовления эмульсии. Например, увеличение времени кристаллизации AgBr ведет к росту среднего размера зерна и увеличению светочувствительности слоя. Размер зерна порядка 0,1–1 мкм.

Нормальная по освещенности экспозиция или облучение ионизирующим излучением не создает непосредственно видимого эффекта на зернах галоидного серебра, но делает некоторые зерна способными к проявлению. Эти зерна и содержат скрытое

изображение. Носителем скрытого изображения в каждом зерне является микроскопическая частица металлического серебра, образованная при экспозиции и расположенная на поверхности или вблизи поверхности зерна, где она доступна воздействию химического проявителя. Вероятность образования скрытого изображения ионизирующей частицей, прошедшей сквозь зерно, меньше единицы, особенно если для этой частицы характерны малые ионизационные потери.

Первичные электроны, возникшие вдоль трека ионизирующей частицы и прошедшие через кристалл бромистого серебра, тратят часть своей энергии на переброс электронов из валентной зоны в зону проводимости. Оказавшись в зоне проводимости и получив возможность перемещаться под действием электрического поля, эти электроны собираются в так называемых центрах чувствительности, которые обязаны своим происхождением дефектам кристаллической решетки или примесным атомам.

В центре чувствительности электроны захватываются на уровни, расположенные в запрещенной зоне. Электрон, находящийся на таком уровне, создает локальное возмущение электрического поля, которое притягивает незакрепленные в кристаллической решетке бромистого серебра ионы серебра, всегда имеющиеся в некотором количестве в кристалле AgBr . В центре чувствительности ионы серебра, присоединяя к себе электроны, превращаются в атомы. Если число атомов серебра, накопленных в результате такого процесса в центре чувствительности, достигнет нескольких десятков или сотен, а сам центр чувствительности расположен не слишком далеко от поверхности кристалла, то образуется скрытое изображение.

Проявление скрытого изображения заключается в восстановлении галоидного серебра до металлического. При этом облученные зерна, содержащие в себе центры скрытого изображения, восстанавливаются до атомарного серебра значительно быстрее, чем необлученные, потому что центр скрытого изображения – металлическое серебро – действует как центр накопления серебра, освобождаемого в процессе проявления. При длительном проявлении начинают восстанавливаться и необлученные зерна, образуя вуаль. Появление вуали обусловлено тем, что в необлученном зерне могут содержаться малые группы атомов металлического серебра, которые при длительном проявлении вызывают восстановление всего серебра в зерне.

Таким образом, при воздействии ионизирующих излучений на чувствительную эмульсию образуется так называемое скрытое изображение: на поверхности зерен AgCl или AgBr происходит возникновение «центров проявления» – атомов металлического серебра. Проявление скрытого изображения заключается в восстановлении металлического серебра в зернах, содержащих центры проявления. Те зерна, в которых образовались центры скрытого изображения, практически полностью восстанавливают серебро при проявлении, что приводит к почернению чувствительного слоя. В результате последующего закрепления происходит растворение и удаление из чувствительного слоя тех кристалликов бромистого или хлористого серебра, которые не содержали центров проявления и в которых, следовательно, не произошло образование металлического серебра. После этого эмульсия становится нечувствительной к действию излучения.

После проявления облученных зерен непроявленное бромистое серебро растворяют в фиксирующем растворе и удаляют из эмульсии. Эмульсию промывают водой и высушивают. Если после облучения эмульсию долгое время (неделю или больше) хранить не проявленной, то скрытое изображение начинает ослабевать (наблюдается регрессия изображения). Процесс регрессии объясняется тем, что под действием кислорода воздуха и воды зерна в эмульсии теряют атомарное серебро и центры скрытого изображения рассасываются.

Для определения дозы с помощью фотодозиметра необходимо определить оптическую плотность потемнения «S» рентгеновской пленки, обусловленную действием ионизирующего излучения. Плотность потемнения (почернения) пропорциональна дозе D . Чувствительность дозиметра определяется соотношением S/D .

Облученная, проявленная и закрепленная пленка имеет определенную оптическую плотность почернения. Оптической плотностью почернения называется величина:

$$S = \lg \frac{J_0}{J},$$

где J_0 – интенсивность видимого света, падающего на обработанную пленку; J – интенсивность прошедшего через эту пленку света.

Например, если $\frac{J_0}{J} = 0,1$, то $S = 1$; если $\frac{J_0}{J} = 0,01$, то $S = 2$; если $\frac{J_0}{J} = 0,001$, то $S = 3$ и так далее. Оптическая плотность может меняться от нуля до бесконечности, однако на практике приходится определять плотность почернения, величина которой не превышает трех единиц.

Свойства пленки принято определять сенситометрической характеристикой, представляющей собой зависимость плотности почернения S от логарифма дозы D (рис. 39).

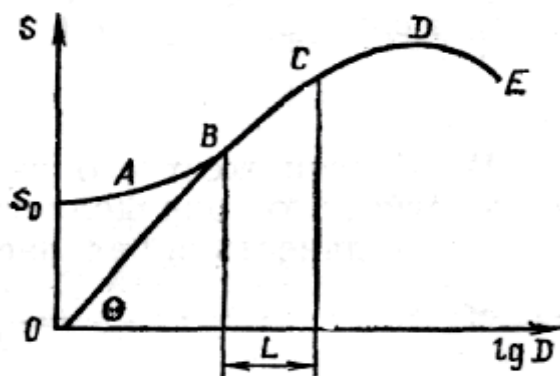


Рис.39. Сенситометрическая характеристика фотопленки.

Не облученная, но проявленная и закрепленная пленка будет иметь некоторую плотность почернения S_0 , которая называется вуалью пленки. На сенситометрической характеристике можно выделить пять участков: S_0A – участок инерции, на этом участке почернение практически не увеличивается с увеличением $\lg D$; AB – область недодержки; BC – прямолинейный участок кривой или область нормальной экспозиции, этот участок является наиболее удобным для дозиметрических целей; CD – область передержки; DE – область соляризации, которая характерна тем, что при увеличении дозы плотность почернения убывает. Соляризация может стать источником грубых ошибок, так как одному и тому же значению почернения соответствуют два различных значения дозы D . Диапазон доз, в пределах которого почернение пропорционально дозе, определяется шириной эмульсии L . Угол определяет контрастность пленки: чем больше θ , тем выше контрастность. Для того чтобы определить почернение S от действия излучения, необходимо из суммарного почернения вычесть почернение S_0 за счет вуали.

Фотохимическое действие γ -излучения определяется фотохимическим действием электронов, освобожденных фотонами, в чувствительной эмульсии и окружающем ее веществе, например в стенках кассеты, в которую помещена пленка. Можно провести аналогию между наперстковой ионизационной камерой и фотодетектором. Чувствительную эмульсию можно рассматривать как полость, в которой измеряется реакция на поглощение энергии излучения, в данном случае почернение. Кассета может рассматриваться как «стенка полости». В области мягкого излучения основное действие оказывают электроны, освобожденные в эмульсии, а в области жесткого излучения, наоборот, преобладающее значение имеют электроны, образованные в кассете. При одновременном действии обоих эффектов выражение для чувствительности фотодетектора имеет вид:

$$\frac{S}{D} = \frac{M_{\text{кз}} Ad + M_{\text{кст}} BR}{M_{\text{кв}} (d + R)},$$

где $M_{\text{кз}}$, $M_{\text{кст}}$ – коэффициенты передачи энергии излучения в эмульсии и кассете соответственно; A и B – величины, не зависящие от энергии γ -излучения; d – толщина эмульсии; R – пробег электронов в эмульсии.

Эта формула определяет «ход с жесткостью» фотодетектора. В области низкоэнергетического излучения, когда $R \ll d$, «ход с жесткостью» определяется отношением $M_{\text{кз}}/M_{\text{кст}}$. Выражение для чувствительности в этом случае имеет вид:

$$\frac{S}{D} = \frac{M_{\text{кз}}}{M_{\text{кв}}} A.$$

В области жесткого излучения, когда $R \gg d$, ход с жесткостью определяется отношением $M_{\text{кст}}/M_{\text{кв}}$, чувствительность определяется как:

$$\frac{S}{D} = \frac{M_{\text{кст}}}{M_{\text{кв}}} B.$$

«Ход с жесткостью» является существенным недостатком фотографических детекторов.

Компенсация хода с жесткостью обычно осуществляется с помощью экранов из тяжелых металлов, сильно поглощающих излучение в области максимальной чувствительности фотоэмульсии. Кривая зависимости чувствительности (S/D) от энергии фотонов (E_γ) представлена на рисунке 40.

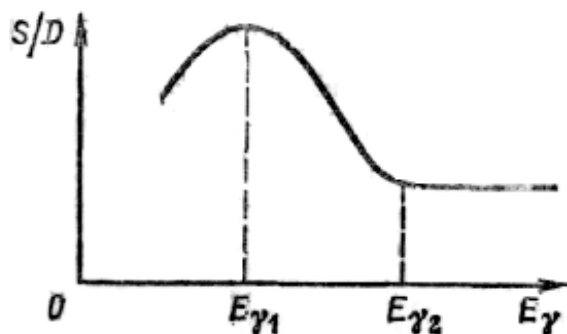


Рис. 40. Зависимость чувствительности от энергии фотонов.

Как видно из рисунка, наибольшая чувствительность детектора в области малых энергий γ -излучения. Возможность компенсации хода с жесткостью с помощью экранов вытекает на основании следующего. Пусть фотопленка в разных местах облучается однородными пучками фотонов с энергиями $E_{\gamma 1}$ и $E_{\gamma 2}$. Для каждого пучка экспозиционная доза одинакова и равна D_0 . Поскольку $E_{\gamma 1} > E_{\gamma 2}$, то в соответствии с рисунком 39: $S_1 > S_2$.

Если на пути пучка фотонов поместить пластинку, например, из свинца, то интенсивность излучения, действующего на пленку, уменьшится вследствие поглощения в свинце, причем интенсивность излучения с энергией $E_{\gamma 1}$ уменьшится в большей степени, чем с энергией $E_{\gamma 2}$. Подбирая соответствующую толщину свинцового экрана, можно получить: $S_1 = S_2$.

Между свинцовой пластинкой и фотопленкой следует поместить слой легкого материала, например алюминия, для задержки характеристического излучения свинца (рис. 41).

Ход с жесткостью легко можно компенсировать для двух энергий фотонов. В случае некоторого диапазона энергий компенсация хода с жесткостью затруднена, поскольку для каждой энергии фотонов требуется своя оптимальная толщина составного экрана. И тем не менее в практике для заданного диапазона энергий всегда можно

подобрать такое оптимальное сочетание толщин экранов, например из свинца и алюминия, при котором ход с жесткостью будет минимальным.

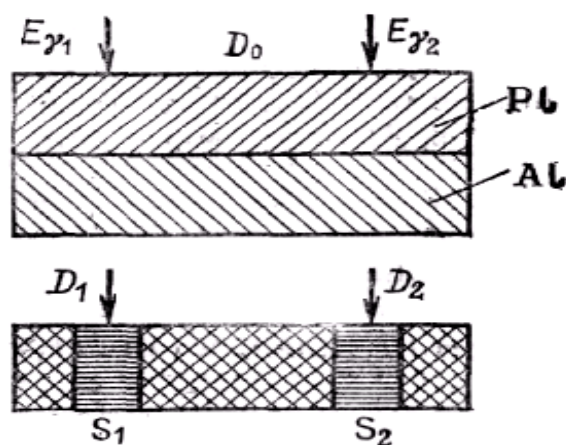


Рис 41. Составной экран:
для компенсации «хода с жесткостью».

На фотографическом методе дозиметрии основан индивидуальный фотоконтроль (ИФК) – система контроля доз облучения, получаемых отдельными лицами. В качестве дозиметров для ИФК применяются пленки «Рентген XX» и «Рентген X». Диапазон измеряемых доз для пленки «Рентген XX» равен 0,05-2 бэр, для пленки «Рентген X» – 0,5-15 бэр. Погрешность в определении дозы γ -излучения может превышать 30 %. На плотность почернения пленки помимо поглощенной дозы влияют различие в чувствительности, различие условий проявления, температура проявителя. Точно нельзя учесть поправки на условия обработки пленки, поэтому все пленки, относящиеся к одной серии, должны обрабатываться одновременно и в одинаковых условиях. Кроме рабочих пленок оставляются контрольные и эталонные пленки. Контрольные пленки служат для определения вуали S_0 , которая должна вычитаться из суммарного почернения S . Эталонные пленки используются для построения градуировочной кривой. Градуировочная кривая зависимости плотности почернения от дозы строится экспериментально для каждой партии пленок при облучении известными дозами. С помощью градуировочной кривой по плотности почернения рабочих пленок определяются индивидуальные дозы.

Для определения плотности почернения S наиболее удобны фотоэлектрические денситометры (рис.42). Прибор состоит из фотоэлементов Φ_1 и Φ_2 , включенных по дифференциальной схеме. Свет от источника L попадает на фотоэлемент Φ_1 через круговой оптический клин K_1 и исследуемый образец фотопленки $\Phi\Pi$, а на фотоэлемент Φ_2 через компенсационный клин K_2 . В отсутствие пленки равенство токов обоих фотоэлементов и, следовательно, равенство нулю тока гальванометра достигается путем введения перед фотоэлементом Φ_1 определенной оптической плотности и кругового клина K_1 , что соответствует нулевому отсчету по шкале оптической плотности клина. После помещения фотопленки $\Phi\Pi$ освещенность фотоэлемента Φ_1 уменьшится и в цепи гальванометра $г$ появится ток, величина которого пропорциональна плотности почернения пленки. Для возвращения стрелки в нулевое положение следует увеличить освещенность фотоэлемента Φ_1 до прежнего значения выведением клина K_1 на более прозрачный участок. По шкале клина отсчитывается оптическая плотность почернения фотопленки.

К числу достоинств фотографических детекторов следует отнести возможность массового применения для индивидуального контроля доз, документальность регистрации полученной дозы, возможность совместной и раздельной регистрации дозы от β - и γ -излучений, возможность регистрации дозы нейтронного излучения, невосприимчивость к резкому изменению температур.

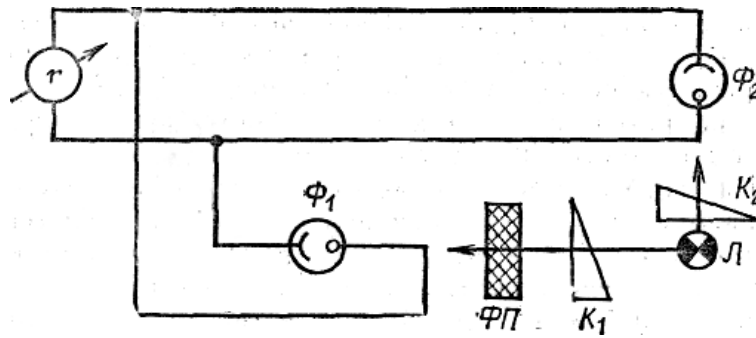


Рис. 42. Схема фотоэлектрического денситометра.

Недостатками фотографических детекторов являются малая чувствительность пленок, низкая точность, наличие хода с жесткостью (погрешность до 30%), зависимость показаний от условий обработки пленки и громоздкость такой обработки, невозможность повторного использования облученных пленок.