У фотоелектричний ефект, емісія електронів з речовини (метали і неметалеві тверді тіла, рідини або гази), як наслідок їх поглинання енергії від електромагнітного випромінювання дуже короткою довжиною хвилі, наприклад, видимого або ультрафіолетового світла. Електронів, емітованих таким чином може бути передано як "фотоелектронів". [1] [2] вперше спостерігав Генріха Герца в 1887 році, [2] явище також відомий як "Герц ефект", [3] [4], хочаОстанній термін випав із загального користування. Герц спостерігали, а потім показав, що електроди освітленні ультрафіолетовим світлом створюють електричні розряди легше.   
Фотоелектричний ефект вимагає фотонів з енергією від кількох електронвольт до більш ніж 1 МеВ у високих атомних елементів число. Вивчення фотоефекту призвело до важливим кроком у розумінні квантової природи світла і електронів і вплив на формування концепції подвійності хвиля-частинка. [1] Інші явища, де світло впливає на рух електричних зарядів включають фотопровідних ефекту (також відомий як фотопровідності або фотосопротивлений), фотоелектричні ефект, і фотоелектрохімічні ефект.   
  
Механізм випромінювання   
  
Фотони променя світла є характерна енергія визначається частота світла. У процесі фотоемісія, якщо електрон в деяких матеріал поглинає енергію одного фотона і, отже, має більше енергії, ніж робота виходу (енергії зв'язку електрона) з матеріалу, вона буде вилучено. Якщо енергія фотона є занадто низькою, електрон не може уникнути матеріалу. Збільшення інтенсивності світлового пучка збільшується число фотонів у пучку світла, і, таким чином збільшується число електронів, що випускаються, але не призводить до збільшення енергії, що кожен електрон має. Енергія що випускаються електронів не залежить від інтенсивності вхідного світла, але тільки від енергії або частоти окремих фотонів. Ця взаємодія падаючого фотона і зовнішніх електронів.   
Електрони можуть поглинати енергію від фотонів при опроміненні, але вони зазвичай йдуть "все або нічого" принципом. Всі енергії від одного фотона повинна бути поглинутою і використовувалися для звільнення одного електрона від атомного обов'язковим, або енергія переизлучается. Якщо фотон поглинається, частина енергії виділяється електронів від атома, а решту вносить свій внесок у кінетичну енергію електрона, як вільні частки. [Джерело?]   
[Редагувати] Експериментальні результати фотоелектричної емісії   
Для даного металу і частоти падаючого випромінювання, швидкість, з якою Фотоелектрони вилітають прямо пропорційна інтенсивності падаючого світла.   
Для даного металу, існує деяка мінімальна частота падаючого випромінювання, нижче якої не фотоелектронів може виділятися. Ця частота називається поріг частоти.   
Для даного металу зокрема функції роботи, збільшення інтенсивності падаючого пучка збільшується величина фотоструму, хоча зупинки напруги залишається тим же.   
Для даного металу зокрема функції роботи, збільшення частоти падаючого пучка збільшується максимальна кінетична енергія, з якою Фотоелектрони вилітають, але фотоелектричний струм залишається тією ж, хоча і збільшує зупинки напруги.   
Вище за поріг частоти, максимальна кінетична енергія фотоелектронів випускаються залежить від частоти падаючого світла, але не залежить від інтенсивності падаючого світла, поки останній не надто високим [5]   
Часовий лаг між частотою випромінювання і випромінювання фотоелектронів дуже мало, менше, ніж 10-9 секунди.   
Напрями розподілу вилетіли електронів піків у напрямку поляризації (напрям електричного поля) падаючого світла, якщо воно лінійно поляризованим. [Джерело?]   
  
Математичний опис   
  
Максимальна кінетична енергія Kmax вибитого електрона дається   
  
де H є постійна Планка, F-частота падаючого фотона, і φ = hf0 є робота виходу (іноді позначається W), що є мінімальною енергією, необхідної для видалення делокалізовані електронів з поверхні будь-якого металу. Роботи виходу, у свою чергу, може бути записана як   
  
де f0 називається поріг частоти для металу. Максимальна кінетична енергія вибитого електрона є   
  
Оскільки кінетична енергія електрона повинна бути позитивною, випливає, що частота F падаючого фотона повинна бути більше, ніж f0 для того, щоб фотоелектричний ефект відбувається [6].   
[Редагувати] Три кроки моделі   
У режимі X-Ray, фотоелектричний ефект в кристалічних матеріал часто розбивається на три етапи: [7]   
Внутрішній фотоефект (див. нижче фотодіод). Отвір залишив може призвести до Оже-ефект, який видно навіть тоді, коли електрон не покидає матеріалу. У молекулярних фононів твердих раді на цьому етапі і можуть бути видні у вигляді ліній в кінцевій енергії електрона. Внутрішнього фотоефекту повинен бути дипольного допускається. Правила переходу для атомів переклад з допомогою моделі сильного зв'язку на кристалі. Вони подібні з геометрії для плазмових коливань в тому, що вони повинні бути трансверсально.   
Балістичний транспорт половини електронів на поверхню. Деякі електрони розсіюються.   
Електрони йдуть з матеріалу на поверхні.   
У моделі три кроки, електрон може приймати кілька шляхів, через ці три етапи.Всі шляхи може втручатися в сенсі шлях у формулюванні інтеграла. Для поверхневих станів молекул і триступеневої моделі робить ще якийсь сенс, оскільки навіть самі атоми мають декілька електронів, які можуть розкид один електрон йде. [Джерело?]   
[Редагувати] Історія   
  
Коли поверхня піддається впливу електромагнітного випромінювання вище певної частоти поріг (як правило, видимого світла для лужних металів, недалеко від ультрафіолетового і для інших металів, а також екстремальний ультрафіолет для неметалів), випромінювання поглинається і емісія електронів.Світло, і особливо ультрафіолетових променів, скиди негативно заряджених тіл з виробництва променів ж природу, що катодних променів. [8] За певних обставин він може безпосередньо іонізації газів. [8] Перше з цих явищ був виявлений Герцем і Hallwachs в 1887 році [8]. Другий був оголошений спочатку Ленард в 1900 році [8].   
Ультрафіолетових променів, щоб зробити ці ефекти можуть бути отримані з дугової лампи, або шляхом спалювання магнію, або іскри з індукційної котушки між цинком або кадмієм терміналів, світло від якої дуже багата в ультра-фіолетових променів. Сонячне світло не багатий в ультра-фіолетових променів, так як вони були поглинається атмосферою, і вона не виробляє майже настільки великий ефект, як дуга світла. Багато речовин, крім металів розряду негативна електрика під дією ультрафіолетового світла: списки цих речовин можна знайти в роботах GC Шмідта [9] та О. Кноблаух [10].   
[Редагувати] 19-го століття   
У 1839 році Олександр Едмон Беккерель відкрив фотовольтаїчні ефект при вивченні впливу світла на електролітичних осередків. [11] Хоча це і не еквівалентно фотоелектричного ефекту, його робота на фотоелектричні зіграв важливу роль у показі міцні відносини між світлом і електронні властивості матеріалів. У 1873 році, Уїллоубі Сміт виявив фотопровідності селену при тестуванні металу для його високі властивості опору в поєднанні з його роботи за участю підводних кабелів телеграф. [12]   
Йоганн Ельстер (1854-1920) і Ханс Geitel (1855-1923), студенти в Гейдельберзі, розроблений першим практичним фотоелектричних елементів, які могли би бути використаний для вимірювання інтенсивності світла [13]. Ельстер і Geitel були досліджені з великим успіхом ефекти виробництва світло на електрифікованих органів [14].   
  
  
Генріх Рудольф Герц,   
від Олівера Хевісайда: Sage на самоті   
У 1887 році Генріх Герц спостерігали фотоелектричного ефекту і виробництва та прийому електромагнітних хвиль. [8] Він опублікував ці спостереження в дер журналі Annalen Physik. Його приймач складався з котушки з іскровий проміжок, де іскра буде розглядатися по мірі їх виявлення електромагнітних хвиль. Він поклав апарат в затемненій вікно, щоб побачити іскру краще. Разом з тим він зауважив, що максимальна довжина іскри було зменшено, якщо в полі. Скло поміщається між джерелом електромагнітних хвиль і приймачем поглинається ультрафіолетового випромінювання, які допомагали електронів у стрибках через пробіл. При видаленні іскри довжина збільшиться. Він не спостерігалося зменшення довжини іскри, коли він замінив кварц для скляної, як кварц не поглинає ультрафіолетове випромінювання. Герц закінчив свою місяців розслідування і повідомив результати. Він не далі проводити дослідження цього ефекту.   
Відкриття Герца [15] в 1887 році, що рівень ультрафіолетового світла на іскровий проміжок сприяло проходженню іскри, призвело відразу до серії досліджень з Hallwachs, [16] Гор, [17] Риги [18] і Stoletow. [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] на вплив світла, і особливо ультрафіолетовому світлі, на заряджених тіл. Було доведено, що ці дослідження знову очищується поверхні цинку, якщо заряджені негативною електрикою, швидко втрачає це звинувачення як би мало воно може бути, коли ультра-фіолетове світло падає на поверхню, в той час, якщо поверхня не заряджена, щоб почати з того, що набуває позитивний заряд, при дії світла, негативний електрифікації виходячи на газ в якій металу оточений; ця позитивна електрифікації може бути різко збільшена, направляючи сильної повітряної ударної хвилі на поверхню. Якщо ж поверхня цинку позитивно електрифікованих він страждає без втрати заряду при дії світла: цей результат був опитаний, але дуже ретельне вивчення явища Ельстер і Geitel [26] показав, що втрати спостерігаються при певних обставинах обумовлено розряду світла, відбитого від поверхні цинку негативних електрифікації на сусідні провідники індукованого позитивного заряду, негативна електрика під дією електричного поля рухається до позитивно електрифікованих поверхні [27].   
Що стосується ефекту Герц, досліджень з самого початку показали велику складність явище фотоелектричного втоми - тобто, прогресивне зменшення ефекту спостерігається при свіжих металевих поверхонь. За важливі дослідження Вільгельм Hallwachs, озон відіграє важливу роль в явищі. [28] Тим не менше, інші елементи введення, таких як окислення, вологості, режим полірування поверхні і т. д. Це було в той час навіть не упевнений, що втома відсутній у вакуумі.   
У період з лютого 1888 і до 1891 року, докладний аналіз фотоефекту було виконано Олександр Столєтов з результатами, опублікованими в 6 робіт, чотири з них у Comptes Rendus, один огляд у Physikalische Revue (переклад з російської), і остання робота в Журнал де статури. По-перше, в цих роботах Столєтов винайшов нову експериментальну установку який був більш підходящим для кількісного аналізу фотоефекту. За допомогою цієї установки, він виявив пряму пропорційність між інтенсивністю світла та індукованих фото електричний струм (перший закон фотоефекту або закон Столєтова). Один з його висновків іншим результатом вимірювань залежності інтенсивності електричного струму на фото тиску газу, де він виявив існування оптимального тиску газу Pm відповідної максимальної фотоструму; ця властивість була використана для створення сонячних клітин. [джерело?]   
У 1899 році Дж. Дж. Томсон досліджували ультрафіолетове світло в трубках Крукса. [29] Під впливом роботи Джеймс Клерк Максвелл, Томсон зробив висновок, що катодних променів складалася з негативно заряджених частинок, пізніше названого електронів, яке він назвав "тільця". У дослідженнях, Thomson закритих металевої пластини (катод) в вакуумної трубки, і піддається впливу високої частоти випромінювання. Вважалося, що осцилюючі електромагнітні поля викликало поля атомів в резонанс і, після досягнення певної амплітуди, викликані субатомних "тельця" може бути випущений, і струм бути виявлені.Сума цього струму змінюється з інтенсивність і колір випромінювання. Більшої інтенсивності випромінювання або частоти буде виробляти більше струм. [Джерело?]   
[Редагувати] 20-го століття   
Відкриття іонізації газів ультрафіолетовим світлом виступив Філіп Ленард в 1900 році. Як ефект був проведений в декількох сантиметрах повітря і зробив дуже великий позитивний і малі негативні іони, це було природно інтерпретувати явище, як і Дж. Дж. Томсона, так як ефект Герца на твердих або рідких частинок в газі. [8 ]   
  
  
Німецький фізик Філіп Ленард   
У 1902 р. Ленард зазначив, що енергії окремих вилетіли електронів зростає з частотою (що пов'язане з кольором) світла. Це виявився в суперечності з хвильової теорії Джеймса Клерка Максвелла про світло, який вважався пророкують, що енергії електронів буде пропорційна інтенсивності випромінювання.   
У 1902 р. Ленард спостерігається зміна енергії електрона з частоти світла. Він використовував потужні електричні дугові лампи, що дозволило йому досліджувати великі зміни в інтенсивності, і було достатньо влади, щоб дати йому можливість дослідити зміну потенціалу з частоти світла. Його експеримент безпосередньо вимірюваних потенціалів, а не кінетичної енергії електрона: він знайшов енергії електронів, зв'язавши її в максимально зупинки потенціал (напруга) у фотоелемент. Він виявив, що розраховується максимальна кінетична енергія електрона визначається частотою світла. Наприклад, збільшення частоти приводить до збільшення максимальної кінетичної енергії, обчисленої по електронній після звільнення - ультрафіолетове випромінювання зажадає вище застосовується зупинки потенціал, щоб зупинити поточний в фотоелемент, ніж блакитним світлом. Результати Однак Ленард були скоріше якісний, ніж кількісний через труднощі у проведенні експериментів: експерименти необхідно зробити на свіжозрізаних металу так, щоб чистого металу спостерігається, але він окислюється в лічені хвилини, навіть у частковому вакуумі він використовував . Поточне випромінюваного поверхнею визначається інтенсивністю світла, або яскравість: подвоєння інтенсивності світла подвоїлася кількість електронів, що випускаються з поверхні.   
Досліджень Ланжевена і тих, Євген Блоха [30] показали, що більша частина ефекту Ленарда, звичайно, з-за цього "Герц ефект". Ефект Ленарда на сам газ все-таки існує. Відновлювати Дж. Дж. Томсон [31], а потім більш рішуче за Палмер, [32] було вивчено і показали дуже різними характеристиками, ніж ті, на перший їй приписують Ленарда [8].   
У 1905 році Альберт Ейнштейн вирішив цю очевидний парадокс, описуючи світла складається з дискретних квантів, який тепер називається фотонів, а не безперервних хвиль. Грунтуючись на теорії Макса Планка випромінювання абсолютно чорного тіла, Ейнштейн припустив, що енергія в кожен квант світла, рівною частоті помноженої на постійну, пізніше названа постійної Планка. Фотона вище порогової частоти має необхідну енергію для добування одного електрона, створення спостережуваного ефекту. Це відкриття привело до квантової революції у фізиці та отримав Ейнштейн Нобелівської премії з фізики в 1921 році. [33] У силу подвійності хвиля-частка ефект може бути проаналізований з точки зору суто хвиль хоча і не так зручно. [34]   
  
  
Ейнштейна, в 1905 році, коли він пише Annus Mirabilis робіт   
математичний опис Альберта Ейнштейна про те, як фотоелектричний ефект був викликаний поглинанням квантів світла (фотонів тепер називається), був в одній зі своїх робіт 1905, під назвою "Про евристичної точки зору, що стосуються виробництва і перетворення світу". Ця стаття пропонується просте опис "світлових квантів", або фотонів, і показав, як вони пояснили такі явища, як фотоефект. Його просте пояснення з точки зору поглинання дискретних квантів світла пояснити особливості цього явища і характерні частоти. Пояснення Ейнштейна фотоелектричний ефект принесли йому Нобелівську премію з фізики в 1921 році [35].   
Ідея квантів світла почали з опублікованими закону Макса Планка випромінювання чорного тіла ("Про закон розподілу енергії в нормальному спектрі". Annalen дер Physik 4 (1901)), припускаючи, що Герца осциляторів може існувати тільки при енергіях E пропорційна частоті F від осцилятора E = HF, де H-постійна Планка. Припускаючи, що світло насправді складалася з дискретних пакетів енергії, Ейнштейн пише рівняння для фотоефекту, що експерименти за потрібне. Він пояснив, чому енергія фотоелектронів залежить тільки від частоти падаючого світла, а не від його інтенсивності: низької інтенсивності, високої частоти джерела змогли поставити декілька фотонів високої енергії, у той час високої інтенсивності, низької частоти джерела буде поставляти не фотонів достатньої енергії окремих вибити будь-які електронів. Це було величезне теоретичне стрибок, але концепція була сильно опиралася спочатку, тому що він суперечить хвильової теорії світла, який слід природним чином з рівнянь Джеймса Клерка Максвелла для електромагнітного поведінки, і, в цілому, припущення про нескінченну подільність енергії у фізичних системах. Навіть після того, експерименти показали, що рівняння Ейнштейна для фотоефекту були точні, опір ідеї фотонів продовження, так як вона з'явилася суперечить рівнянь Максвелла, які добре розуміють і перевірені. [Джерело?]   
роботи Ейнштейна пророкує, що енергії окремих електронів викидається лінійно зростає з частотою світла. Може бути, дивно, що точне співвідношення не в той час було перевірено. До 1905 року стало відомо, що енергія фотоелектронів зростає із збільшенням частоти падаючого світла і не залежить від інтенсивності світла. Однак, манера збільшення не було експериментально визначено до 1915 року, коли Роберт Ендрюс Міллікен показали, що прогноз Ейнштейна було правильним. [Джерело?]   
Фотоелектричний ефект допомогла просунути то виникають концепції дуалістичної природи світла, що світло одночасно має характеристики як хвиль і частинок, кожна з яких проявляється в залежності від обставин. Ефект неможливо зрозуміти з точки зору класичного опису хвилі світла, [36] [37] [38], як енергія електронів, що вилітають не залежить від інтенсивності падаючого випромінювання. Класична теорія передбачає, що електрони б "зібрати" енергію за період часу, а потім випромінюється. [37] [39]   
[Редагувати] Використання і ефекти   
  
[Редагувати] помножувачі   
Це надзвичайно світлочутливі вакуумних труб з покриттям фотокатода на частину (кінець або бічний) всередині конверта. Фотокатода містить комбінації таких матеріалів, як цезій, рубідій і сурми спеціально вибраний для надання низькою роботою виходу, так що при освітленні навіть дуже низькі рівні світла, фотокатода легко релізи електронів. За допомогою серії електродів (дінодов) на все більш високі потенціали, ці електрони прискорюються й істотно збільшилося число шляхом вторинної емісії забезпечити легко виявити вихідний струм. Помножувачі як і раніше широко використовується там, де низькі рівні світла повинні бути виявлені. [Джерело?]   
[Редагувати] Датчики зображення   
Відеокамера труб в перші дні телебачення використовувати фотоелектричний ефект, наприклад, Філо Фарнсворта "Зображення прозектором" використовувати екран стягується фотоелектричний ефект для перетворення оптичного зображення в електронний сигнал відсканованих [40].   
[Редагувати] золото-лист електроскоп   
  
Сусальне золото електроскопа.   
Золото-лист електроскопом призначені для виявлення статичної електрики.Заряд, поміщений на металевої кришки поширюється на стебло і золотий лист електроскопа. Тому що вони тоді ж заряд, стебла та листя відштовхуються один від одного. Це призведе до того, щоб зігнути аркуш від стебла. Електроскоп є важливим інструментом у ілюструють фотоелектричного ефекту. Наприклад, якщо електроскоп заряджена негативно з усього, є надлишок електронів і листя відокремлюють від стебла. Якщо високі частоти світла світить на кришці, електроскоп розрядів і листя впадуть кульгав. Це тому, що частота світла, сяючого на кришці вище порога частоти ковпачка. Фотонів у світло мають достатньо енергії, щоб звільнити електрони з кришкою, зменшивши її негативний заряд. Це буде виконувати негативно заряджених електроскоп і далі заряду позитивних електроскопа. Однак, якщо електромагнітне випромінювання удари металевої кришки не мають достатньо високі частоти (його частота нижче порогового значення для кришки), то шар ніколи не буде виконувати, незалежно від того, як довго світить низької частоти світла кришка [41].   
[Редагувати] фотоелектронної спектроскопії   
Оскільки енергія фотоелектронів саме енергія падаючого фотона мінус роботи матеріалу функції або енергія, робота виходу зразка може бути визначена шляхом бомбардування його з монохроматичним джерелом рентгенівського або УФ-джерелом, і вимірювання кінетичної розподілу енергії електронів, що випускаються [42].   
Фотоелектронної спектроскопії це робиться в середовищі високого вакууму, так як електрони будуть розсіяних молекул газу, якщо вони були присутні. В якості джерела світла може бути лазер, розрядної трубки, або джерело синхротронного випромінювання [43].   
Концентричних напівсферичним аналізатором (ЦДХ) є типовим аналізатор енергії електронів, і використовує електричне поле служить для зміни напрямку падаючих електронів, в залежності від їх кінетичної енергії. Для кожного елемента та основного (атомна орбіталь) буде різною енергією зв'язку. Багато електронів, створених з кожної з цих комбінацій буде відображатися як шипи в аналізатор вихід, і вони можуть бути використані для визначення елементного складу зразка.   
[Редагувати] Космічний апарат   
Фотоелектричний ефект викликає корабля піддається впливу сонячного світла, щоб розвивати позитивний заряд. Це може отримати до десятків вольт. Це може бути серйозною проблемою, як і інші частини корабля в тіні розвивати негативний заряд (до декількох кіловольт) з довколишніх плазми, і дисбаланс може розряду через тонкий електричних компонентів. Статичного заряду створений фотоелектричний ефект самообмеження, хоча, тому що більш високо заряджений об'єкт віддає свої електрони не так легко. [44]   
[Редагувати] Місячна пил   
Світло від сонця удару місячного пилу призводить до його заряджатися через фотоелектричного ефекту. Зарядженої пилу, то відштовхує себе і підйомники від поверхні Місяця електростатичної левітації. [45] [46] Це проявляється майже як "атмосферу пилу", видно як тонкі димки і розмивання далеких особливостей, і видно, як тьмяне світло після заходу сонця. Це було вперше сфотографували програми Surveyor зондів у 1960-х років. Вважається, що найдрібніші частинки відштовхуються до кілометра високим, і, що частинки рухаються в "фонтани", як їх заряду і розряду.   
[Редагувати] прилади нічного бачення   
Фотони удару тонкої плівки лужного металу або напівпровідника матеріалів, таких як арсенід галію в трубці ЕОПа причиною викиду фотоелектронів за рахунок фотоефекту. Ці прискорюються електростатичним полем, де вони страйк фосфор покриттям екрану, перетворюючи електрони назад на фотони.Інтенсифікація сигналу досягається або шляхом прискорення електронів, або шляхом збільшення числа електронів через вторинні викиди, наприклад, з пластиною Micro-каналу. Іноді поєднання обох методів використовується.Додаткові кінетичної енергії потрібно для переміщення електронів із зони провідності і у вакуумі рівні. Це відомо як спорідненість до електрона фотокатода і є ще одним бар'єром для фотоемісія, крім забороненої зони, пояснюється моделі забороненої зони. Деякі матеріали, наприклад, арсенід галію мають ефективного електронної спорідненості, що нижче рівня в зону провідності. У цих матеріалах, електронів, які переміщуються в зону провідності все досить енергії, щоб виділятися з матеріалу і в цій якості, фільм, який поглинає фотони можуть бути досить товстими. Ці матеріали відомі як негативні матеріали спорідненість до електрона.   
[Редагувати] Переріз   
  
Фотоелектричний ефект є одним механізму взаємодії між фотонами і атомами.Він є одним з 12 теоретично можливих взаємодій [47].   
При високих енергіях фотона порівнянна з енергією спокою електрона 511 кеВ, комптонівського розсіювання, інший процес, може мати місце. Вище цього двічі (1,022 МеВ) пар може мати місце. [48] комптонівського розсіювання і народження пар є прикладі двох інших конкуруючих механізмів.   
Дійсно, навіть якщо фотоелектричного ефекту виступає реакція Зокрема одним-фотонного взаємодії пов'язаних електронів, результат також підлягає статистичних процесів і не гарантована, хоча і фотонів, безумовно, зникли, і пов'язаного електрона було порушено (як правило, К або L оболонки електронів на атомних (гамма) енергії). Вірогідність фотоефекту, що відбуваються вимірюється переріз взаємодії σ. Це було встановлено, що функція атомного номера атомів мішені і від енергії фотонів. Грубому наближенні, для енергії фотонів вище найвищої атомної енергії, має вигляд [49]:   
  
Тут Z є атомний номер і п число яких коливається між 4 і 5. (При більш низьких енергіях фотонів характерну структуру з ребрами з'являється, До краю, L краю, М ребрами, і т.д.), очевидно, слід, що інтерпретація фотоефекту швидко зменшується в значення, в області гамма-спектра, з ростом енергії фотонів , і що фотоефекту прямо пропорційна атомному номеру. Слідство, що високі-Z матеріалів роблять добрі щити гамма-випромінювання, яке є головною причиною, що свинцю (Z = 82) є кращим і повсюдний щит гамма-випромінювання [50].