Начнём с понятие изоспина.

Изоспин (название вас путает!) не имеет ничего общего ПО ФИЗИКЕ со спином. По математике как раз имеет – и то, и то у нуклона ½, а у ядра в диапазоне от 0 где-то до 4.
А вот по физике изоспин гораздо проще.

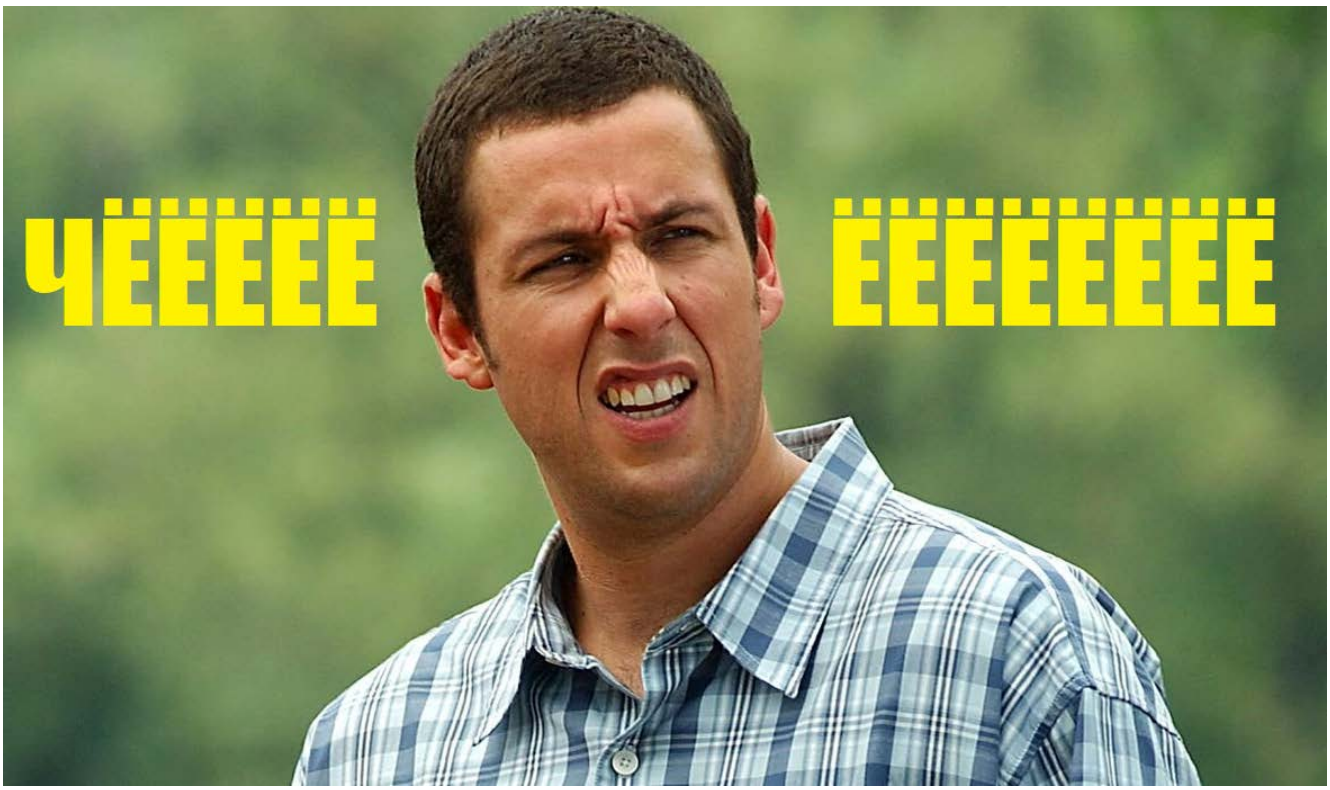
Как считается проекция изоспина? Проще неоткуда: у нейтрона проекция изоспина -1/2, у протона ½. У ядра все проекции изоспина суммируются.

Пример: 14C, углерод-14. 6 протонов, 8 нейтронов. 6 протонов дали по +1/2, 8 нейтронов по -1/2, итого суммируя, получаем -1.

Т.е. проекция изоспина I_Z – это просто то, насколько протонов больше, чем нейтронов (делённая пополам).
А изоспин I – это модуль изоспина.

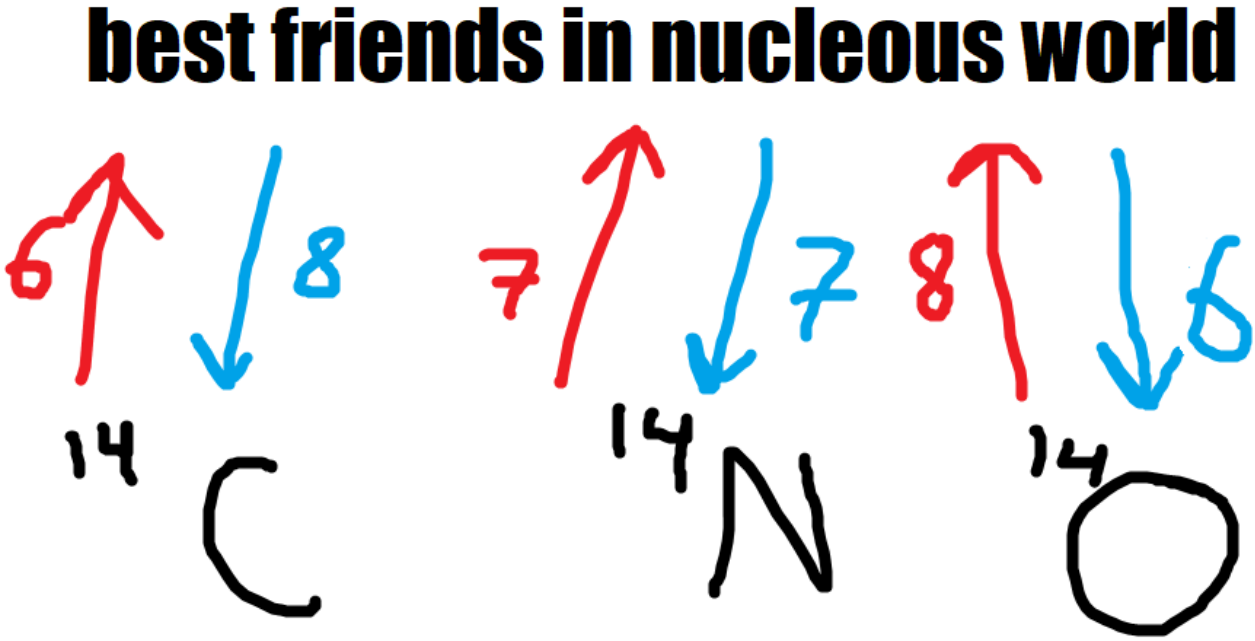
Вопрос на понимание: у ядер тяжёлых элементов проекция изоспина отрицательна или положительна? (Мы даже не будем на него отвечать, вопрос устный, уверены, что читатель сам ответил на него за 2 секунды).

Казалось бы, всё элементарно. Но если вы откроете учебники по ядерной физике или чьи-то прописанные билеты (мне больше по душе https://vk.com/doc295951466_628819410?hash=BTVHe6vMwVSoCIbPpueziJOUyZjA3F09DFZPPBFvHww&dl=qmGVR6r9PZc7c2Al5IsMnNjkZY2UDdHANYXeCSv8JV0 , респект автору, не поскупился на хорошие картинки), вы наткнёсь на очень странную фразу, утверждающую, якобы «проекция изоспина I_Z (которую мы вот так с лёгкой руки определили как разность между числом протоном и нейтронов в ядре) - это проекция на ось Z изоспина I в зарядовом пространстве». Стоп, чё?



Итак, согласно «серьёзной» теории изоспина первична не проекция изоспина, а изоспин. Он определяется как сумма изоспинов всех нуклонов, а изоспин каждого по ½. Т.е. изоспин каждого ядра (Z,A) это просто A/2.
А затем утверждается, что каждое ядро с изоспином A/2 можешь принимать все значения проекции изоспина от –A/2 до A/2.

По сути это и есть изоспиновый триплет. Например, у 14-углерода с изоспином -1 есть «соседи» по триплету с изоспином 0 и 1:

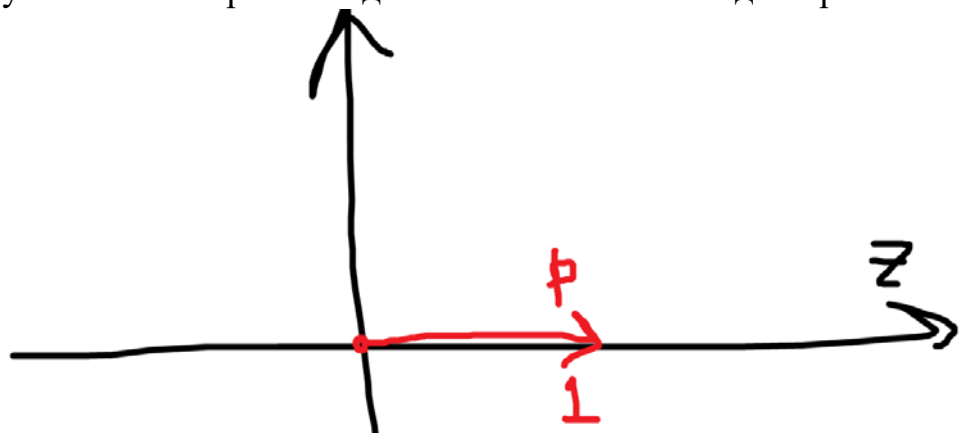


Члены изоплета имеют одинаковую массу (что неудивительно, т.к. везде одинаковое число нуклонов (A), а массы протона и нейтрона примерно равны) и участвуют в схожих реакциях.

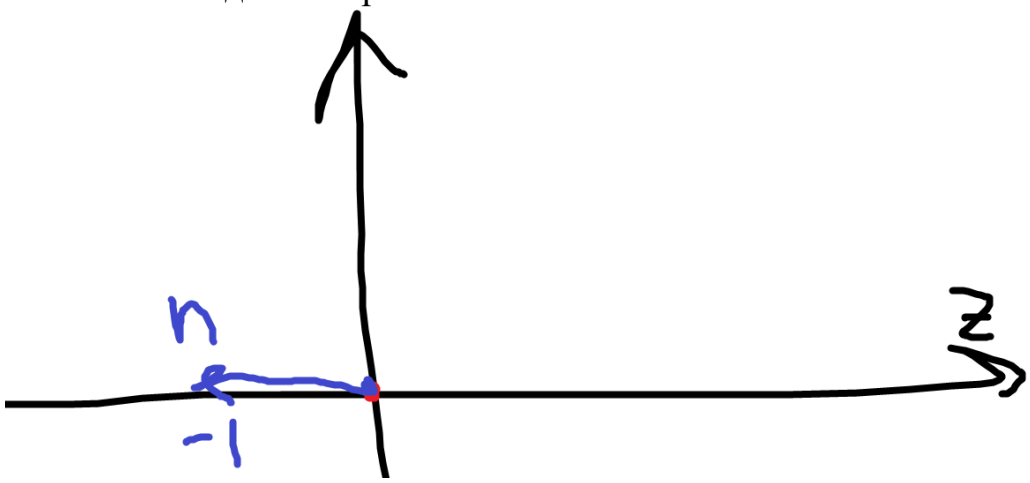
Отдельно хочется сказать про зарядовое пространство, где якобы и есть эта проекция. Вот я сейчас в 9-м семестре и мне его представить себе сложно, но можно. Представить его в 3-м семестре… я могу представить благодаря аппеляции к импульсному пространству (хотя бы), но вы о нём ещё не знаете (оно проходится в квантах и теормехе). Единственный шанс услышать не о координатном пространстве в 3-м семестре или раньше – это учиться в мегакрутой школе, где в теме «дифракция» могли рассказать про пространство обратной решётки (и ещё умудриться понять эту мегасложную тему), которое и является импульсным пространством в случае дифракции.
Я предприму робкую попытку объяснить эту читателю. Поймёте – вы гений (и я тоже, если сумею вам объяснить). Не поймёте – вам позже нормально объяснят, а пока на экзамене просто будете говорить про зарядовое пространство как заученную фразу.

Представим себе некое пространство… хотя нет – плоскости нам будет достаточно. Важно, нет, ВАЖНО!!!: эта плоскость НЕ лежит нигде во Вселенной, в привычном нам пространстве. Она лежит где-то в наших фантазиях. Ну как комплексная плоскость в математике.

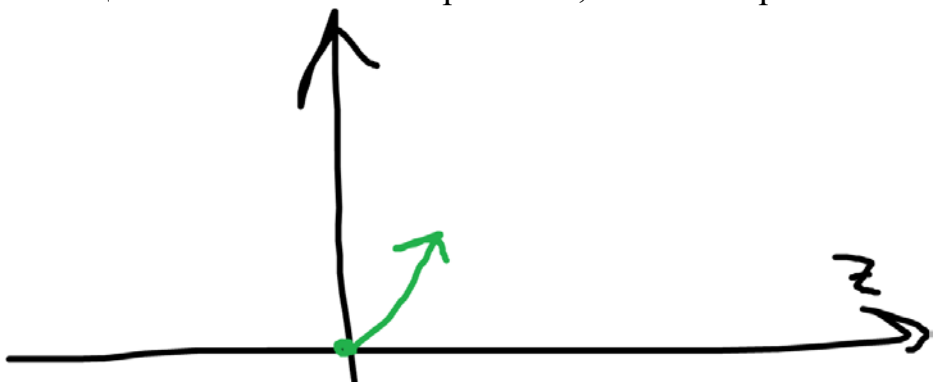
Нуклон – это стрелочка длины 1. Вот так выглядит протон:



(нам плевать, как называется вторая ось, интересует нас в первую очередь первая – Zарядовая).
Вот так выглядит нейтрон:



Но квантовая физика тем и прекрасна, что возможна в том числе суперпозиция. Частица может быть не то протоном, не то нейтроном:



Почему мы их не видим? Потому что это квантовая физика – в момент измерения стрелочка проецируется на ось z – или как протон, или как нейтрон. О причудах квантовой физики, где измерение прямо влияет на систему, вы узнаете в следующем семестре.

Давайте ещё раз другими словами. Вот летит обычная классическая частица. Если с ней ничего не происходит, проекции её скорости на оси x,y,z в силу первого закона Ньютона остаются постоянными. А если что-то происходит – могут меняться.
То же действует в зарядовом пространстве. Если ничего не происходит, «стрелочка» торчит в одном направлении и никуда не елозит. Протон остаётся протон, нейтрон нейтроном.
А вот если происходит взаимодействие, стрелочка может повернуться в своём зарядовом пространстве. Например, при бета-распаде она поворачивается на 180 градусов, делая из протона нейтрон.

Протон и нейтрон – это одна частица или нет?
Если у вас созрел этот вопрос, то я рад за вас – его следует задать. Действительно, действуя силой на обычную частицу в привычном 3-пространстве, мы поворачиваем её скорость, но частица остаётся частицей. Тут оказывается, что нейтрон – это поворот протона в зарядовом пространстве. Получается, и это одна частица?

Тут встаёт вопрос, а как нам в 3-м семестре, не зная квантовой физики, представлять частицы. Наилучший способ – как сгустки энергии. Так, атом – это ядро (не точечное, а некое облако энергии), вокруг которого ещё более большое по своим размерам электронное облако.

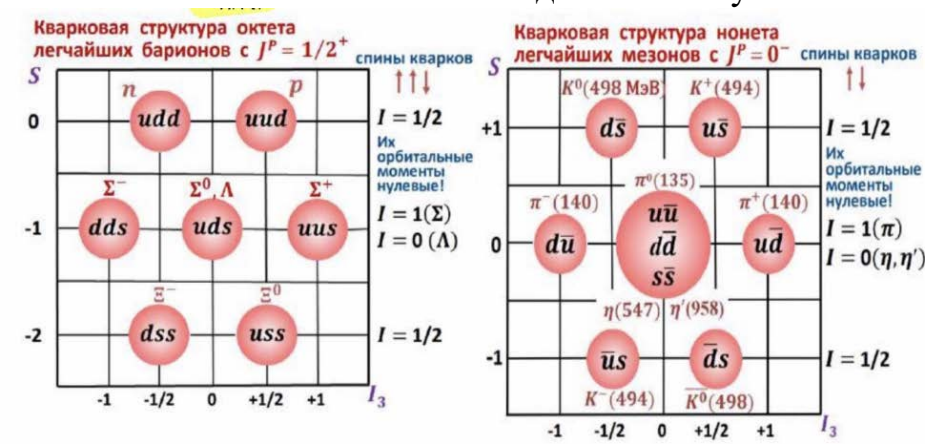
Масса протона 938,27 МэВ, нейтрона 939,57 МэВ. В принципе их можно считать одной частицей,

А вообще что такое частица – вопрос достаточно философский. Электрон со спином вверх и спином вниз – это одна или две частицы? С одной стороны, они очень схожи; с другой стороны

Мы изучили изоспин нуклонов (протона и нейтрона). Есть ли изоспин у зашкварков?

Нуклоны – составные частицы, и у кварков в их составе тоже должен быть изоспин: у u (которого больше в протоне) проекция изоспина +1/2, у d (амбассадора нейтрона) -1/2 (а изоспин у обоих по ½, разумеется).

Заключительное замечание. НЕ надо искать глубинный смысл в этих диаграммах:



Наверняка кто-то из вас задавался вопросом «а где барионы uuu, ddd и sss» (они, кстати, есть, но спином 3/2, а вот со спином ½ таких нет», или «почему есть два бариона uds». Это сугубо квантовые эффекты, связаны с тем, что волновая функция кварков может быть по ним как симметрична, так и антисимметрична. Вы ничего не поняли? И не надо ломать мозг, на экзамене это не спрашивают.

Ну и в заключение напомню, что изоспин есть только у адронов. Потому что у всего остального – лептонов, фотонов и прочего просто нет в составе u,d кварков, которые несли в себе изоспин. Если на экзамене на вопрос «какой изоспин у электрона» вы мгновенно не ответите «понятие «изоспин» применимо только к адронам», то пока экзаменатор , вы уже можете мысленно готовиться к пересдаче.