

Черная дыра в кинематографе

Кандидат
физико-математических наук

П.Р.Амнуэль

Продолжая тему фильма «Интерстеллар» (см. «Химию и жизнь», 2015, № 2), мы рассматриваем вопрос, широко обсуждаемый в СМИ и соцсетях: правда ли, что в фильме полно ошибок, или его создатели сумели примирить законы жанра с законами физики? На этот вопрос отвечает астрофизик и писатель-фантаст Павел Амнуэль.

Невероятное и очевидное

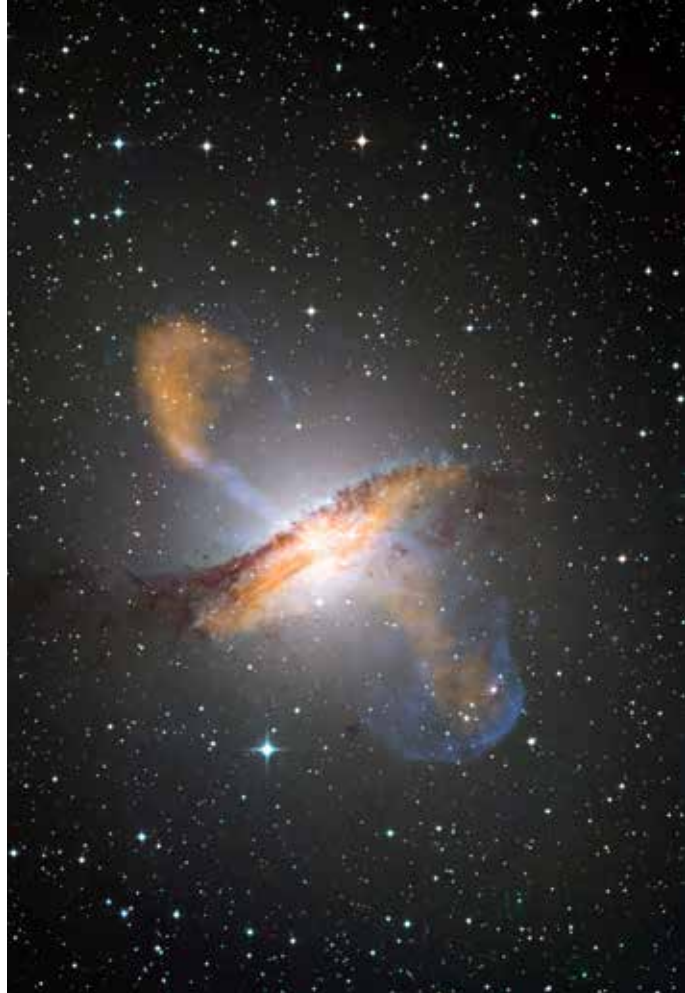
Вышедший в прошлом году на экраны фильм Кристофера Нолана «Interstellar» многие критики и зрители назвали одним из лучших научно-фантастических фильмов последних десятилетий.

Вот краткий сюжет фильма. На Земле разразилась катастрофа: начинаются пылевые бури, а весь урожай гибнет. Спасение некоторые видят в переселении на другую планету. Выясняется, что у Сатурна кто-то создал кротовую нору, которая ведет к планетной системе у гигантской черной дыры. Там-то и решено основать колонию. Первые экспедиции, переслав информацию о наличии трех планет, названных по именам первооткрывателей — Миллера, Эдмундса и Манна, — канули в небытие, и вот к дыре отправляется новая. Она должна открыть способ пересылки людей сквозь нору, а в случае неудачи — основать колонию с помощью замороженного человеческого генетического материала. Оказавшись в районе сверхмассивной черной дыры, герои фильма совершают посадку на планете Миллера, но она покрыта водой. На остатках топлива долетают до планеты Манна, которая оказывается слишком холодной. Героев фильма преследуют катастрофы как техногенного характера, так и связанные с человеческим фактором, но человечество все-таки спасено, хоть и не их усилиями.

Экзотические декорации к сюжету дали большой простор для научной фантазии. В «Interstellar» впервые можно увидеть, например, как выглядят вблизи сверхмассивная черная дыра, окруженная плазменным диском. Можно рассмотреть червоточину Уилера («кротовую нору»), по которой космический корабль «Endurance» за считанные минуты перелетает за миллионы световых лет от Солнечной системы. Можно побывать внутри черной дыры, где пространство и время перепутаны, и вернуться домой.

Все строго научно, однако...

Когда смотришь, возникает ощущение, что все неправильно. Да, вокруг сверхмассивной черной дыры по имени Гаргантюа обращается диск — это останки разорванных приливными силами звезд и планет, захваченных полем тяжести космического монстра. Тем не менее на известных картинках из научно-популярных книг диски выглядят совсем не так. И где же джеты — узкие струи замагниченной плазмы, исторгаемой из центральной области диска перпендикулярно его плоскости в двух противоположных направлениях? Их-то можно увидеть не только на картинках, но и на реальных фотографиях, сделанных космическими телескопами.



ESO/WFI (Optical); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Submillimetre); NASA/CXC/ChA/R.Kraft et al. (X-ray)

Так выглядят джеты, вырывающиеся из центральной части диска, обращющегося вокруг сверхмассивной (массой в 55 млн. солнечных) черной дыры, предположительно находящейся в центре галактики Центавр-А. Снимок составлен по данным наблюдения тремя телескопами Южной европейской обсерватории, работающими в разных световых диапазонах — от рентгена до субмиллиметровых волн

Почему на планетах Миллера и Манна практически такая же сила тяжести, как и на Земле, но время на планете Миллера течет в сто раз быстрее? Из любого учебника по теории относительности можно узнать, что течение времени зависит от гравитации. Чтобы время ускорило свой бег в сотни раз, сила тяжести должна быть колоссальной!

А с какой легкостью капитан корабля и главный герой Купер перелетает с одной планеты на другую на своем модуле «Ranger», двигатели которого работают, похоже, на обычном химическом топливе! Как это удается, если планеты вблизи от черной дыры движутся по орбитам с субсветовыми скоростями? Даже в моменты сближения друг с другом скорости планет отличаются на тысячи километров в секунду, а между тем, по фильму, astronautам приходится срочно покинуть планету Миллера, у них и времени нет дожидаться благоприятного взаимного расположения планет.

А о чем говорят astronautы! Два года летят они к Сатурну, чтобы войти в кротовую нору и начать межзвездное путешествие, и лишь на подлете к цели Купер узнаёт от своих спутников, что представляет собой черная дыра. Отправляясь в этот смертельно опасный полет, он о черных дырах знал только понаслышке?

И в результате (а я перечислил далеко не все темные места, на которые обратил внимание) после просмотра не оставляет чувство недоумения: фильм претендует на строгую научность, но где она? Потом прочитал вышедшую вскоре после премьеры фильма книгу известного астрофизика, одного из крупнейших специалистов по черным дырам Кипа Торна (Kip Thorne, «The Science of Interstellar», W.W.Norton & Co, 2014), и понял, что все

в фильме было изображено правильно — так, как получалось по расчетам. При этом многие из рассчитанных физических эффектов вообще остались за кадром. Жаль, могло получиться еще любопытнее.

Ощущение недоумения сменилось пониманием того, какая огромная работа была проделана учеными и какая ничтожная ее часть попала в фильм. И еще было огорчение от того, что эти сложнейшие эффекты наверняка прошли мимо зрителя, не знающего физики черных дыр на уровне профессора Торна и его сотрудников. Недочетов в фильме достаточно, но, как ни странно, связаны они вовсе не с физикой черных дыр. Однако, чтобы понять это, нужно прочесть книгу Торна, иначе зритель, знакомый с черными дырами по научно-популярной литературе, останется в уверенности, что увидел развесистую клюкву, а зритель, с физикой черных дыр вообще не знакомый, решит, что именно так выглядят вблизи черные дыры, о которых много говорят ученые.

Режиссер взял верх над учеными, сумев при этом убедить большинство зрителей, что наука в фильме безупречна.

Точный расчет

Начну с предыстории. Нолану нужно было показать, что Земля гибнет, и обосновать необходимость поиска другой пригодной для жизни планеты. Он придумал сильнейшие пылевые бури и биологическую напасть, уничтожившую все сельскохозяйственные растения, кроме кукурузы. Реально ли это? Торн описывает в своей книге встречу Нолана с учеными из Калифорнийского технологического института, специалистами по различным проблемам биологии, среди которых был, например, нобелевский лауреат Дэвид Балтимор. В 2008 году Торн и Нолан устроили для ученых большой обед, во время которого режиссер рассказал о своей концепции, показал уже отснятые кадры будущей планетарной катастрофы и спросил: «Может ли такое произойти в реальности?» Ученые ответили: «Нет, не может». Но режиссер продолжал настаивать: «Неужели совсем-совсем не может?» Обед был хорош, ученые расслабились и после многочасовых попыток переубедить режиссера сказали: «Ну... в принципе... сугубо теоретически... чисто предположительно... да, возможно, но настолько маловероятно, что серьезно говорить об этом не приходится».

Из слов, уничтожавших идею «пыльной кукурузной катастрофы», режиссер выловил два: «да» и «возможно», и с удовлетворением оставил в сценарии все как было.

Примерно такая же ситуация с сверхмассивной черной дырой Гаргантюа, в систему которой попадают герои фильма. Нолан рассказал Торну, что, по сценарию, Купер отправляется к сверхмассивной черной дыре, там время для него замедляется в сотню раз по отношению к земному, и возвращается он домой, когда дочка уже стала древней старушкой, а он все так же молод. «Это невозможно, — сказал Торн. — Если время замедляется в сотни раз, то поле тяжести должно быть так велико, что человек будет разорван на атомы, а о том, чтобы вернуться, и речи быть не может. К тому же черная дыра окружена диском плазмы с температурой в миллионы градусов. Купер и его спутники умрут от жесткого рентгеновского и гамма-излучения еще до того, как приблизятся к черной дыре на такое расстояние, чтобы можно было говорить о серьезном замедлении времени».

«Совсем-совсем невозможно?» — переспросил режиссер. «Не знаю, — честно ответил Торн, — надо составить уравнения, посчитать». — «Посчитайте, — сказал режиссер, — только мне нужно, чтобы в фильме была ОДНА черная дыра, ОДНА кротовая нора и ОДНА нейтронная звезда».

Торн занялся расчетами, по результатам которых написал потом две научные статьи и упомянутую выше книгу. В книге Торн пишет, что никогда не получил бы этих сугубо научных результатов, если бы не Нолан с его требованиями, потому что ему не



пришло бы в голову ради абсолютно неправдоподобного научного предположения исследовать астрофизические явления, создаваемые черной дырой, вращающейся с предельной для нее скоростью. В природе существование таких черных дыр настолько маловероятно, что никто из астрофизиков не стал бы по собственному желанию тратить на подобные расчеты ценное время суперкомпьютеров (да и свое тоже).

Дело в том, что эффекта, которого хотел достичь Нолан, действительно можно добиться, но лишь в случае, если черная дыра вращается так быстро, что ее горизонт событий, то есть то, что можно считать границей дыры, движется со скоростью, которая меньше скорости света всего на 0,01 миллиметра в секунду! Только тогда пространство-время вокруг нее искривляется и закручивается столь странным образом, что и время замедляется в сто раз, с точки зрения удаленного наблюдателя, и гравитационное поле уравнивается центробежной силой, благодаря чему и тело астронавта, и корпус космического корабля не испытывают чудовищных перегрузок. В любом другом случае астронавта ждала бы неминуемая гибель.

Однако следует опасаться не только гравитации, но и излучения, идущего от падающих в дыру с колоссальным ускорением космической пыли и обломков притянутых ею космических объектов. Именно из них формируется диск вокруг дыры, и обычно очень малая часть его излучения попадает в видимый человеком диапазон, в основном это рентгеновские и гамма-лучи. Такой диск Нолану был не нужен, и режиссер спросил у Торна: «Может ли существовать диск, который выглядел бы красиво в видимом свете и совсем не излучал убийственных для Купера и его спутников лучей? Да, и джетов — узких струй плазмы — тоже не нужно».

Что ж, если температура диска примерно такая же (или ниже), как температура поверхности Солнца, — всего несколько тысяч градусов, то он будет виден. Однако диск в таком случае должен иметь очень-очень небольшую массу. В принципе возможно и такое, но лишь чуть более вероятно, чем безумно быстрое вращение черной дыры. И все же, если режиссеру надо... Теоретически задача решаемая, что физики под руководством Торна и доказали: рассчитали, как будет выглядеть со стороны сверхслабый диск около сверхбыстро вращающейся сверхмассивной черной дыры. Это были очень сложные расчеты, поскольку пришлось решать уравнения Эйнштейна для чрезвычайно экстривагантного случая. С научной точки зрения была проделана интереснейшая работа, и изображение диска было получено. Правда, в фильме этот эпизод занял меньше минуты, но зритель наверняка запомнил странную фигуру, представшую перед Купером и его спутниками. Форма диска действительно получилась очень необычной, она имеет мало общего с дисками вокруг релятивистских объектов, известных по многочисленным прежним расчетам не вращающихся или медленно вращающихся черных дыр. И джетов, кстати, Купер тоже не увидел — откуда им взяться при таком сверхслабом диске? Зрителю, однако, не сообщают об этих особенностях Гаргантюа, и можно подумать, что эффекты, показанные в фильме, — явление для черных дыр обычное. Нет, конечно.

Судя по изображению в фильме планеты Манна из космоса, она расположена на довольно большом расстоянии от диска (планеты Миллера и Эдмундса еще дальше). Приливные силы велики, и там, в книге Торна, есть изображение планеты Манна — она похожа на дыню, вытянутую в направлении Гаргантюа. Но все же на относительно далеких расстояниях от черной дыры планеты могут существовать.

Но вот что интересно: даже рассчитанная по сложнейшим формулам картина, которая показана зрителям, — неправильная! В фильме об этом, конечно, нет ни слова, а Торн, не желая умалять достоинства чрезвычайно сложных расчетов, в своей книге коротко написал: уравнения оказались такими сложными, что пришлось сделать кое-какие упрощения, иначе считать пришлось бы многие тысячи часов. Дело в том, что, когда диск вращается с субсветовой скоростью, одна его часть приближается к наблюдателю, а другая удаляется очень быстро. Возникающий при этом эффект Доплера совершенно меняет видимую картину. Купер (и зритель в зале) видит яркий объект оранжевого цвета, но на самом деле одна часть диска (допустим, левая) приближается к нему с субсветовой скоростью, и ее излучение должно быть далеко смещено в голубую часть спектра — возможно, даже в ультрафиолетовую. А другая (правая) часть диска от него очень быстро удаляется, и ее излучение смещается в красную сторону — она будет выглядеть не оранжевой, как на экране, а красной или даже вообще станет невидимой, уйдя в инфракрасную область...

Полеты вблизи дыры

Торну пришлось немало поломать голову, чтобы рассчитать, как герои фильма на простеньком космическом корабле, вряд ли способном разогнаться даже до второй космической скорости (16 км/с), умудряются перемещаться между планетами, несущимися в пространстве вокруг черной дыры со скоростями, близкими к скорости света. Когда смотришь на эти эпизоды в фильме, хочется воскликнуть: «Не верю!» Но режиссеру так было нужно по сценарию, и физики придумали-таки ситуацию, когда невозможное становится в принципе возможным, хотя чрезвычайно маловероятным и вряд ли осуществимым в природе. Планета Миллера в фильме обращается вокруг Гаргантюа по круговой орбите, а планета Манна — по очень вытянутой. В периастре планеты проходят близко друг от друга, а в апоастре планета Манна удаляется от Гаргантюа так далеко, что на ней почти неощутимо замедление времени.

Ситуация сама по себе чрезвычайно маловероятная, но все равно — даже тогда Купер никак не смог бы изменить скорость модуля на несколько тысяч километров в секунду! Ведь, по расчетам Торна, планета Манна движется по орбите со скоростью 1/20 скорости света, а скорость корабля (и планеты Миллера) близка к 1/3 световой! Как затормозить «Ranger», вряд ли способный развить даже третью космическую скорость, 16 км/с?

Купер (точнее, Торн в своих расчетах), однако, применил так называемый гравитационный маневр, какой уже использовал, когда «Endurance» летел к кротовой норе у Сатурна: корабль набрал дополнительную скорость, пролетая мимо Марса. Это известный способ маневрирования в космосе, при котором не нужно тратить горючее. Таковы орбиты практически всех автоматических станции, летящих к астероидам и дальним планетам.

Торн рассчитал, что для гравитационного маневра Купер должен пролететь вблизи еще одной черной дыры, не такой массивной, как Гаргантюа, но в тысячу раз массивнее Солнца. Черные дыры таких промежуточных масс пока в природе не обнаружены, даже теоретически их образование астрофизики считают чрезвычайно маловероятным, но если режиссеру нужно... Да, но режиссеру было нужно, чтобы в фильме не было ДВУХ черных дыр, а только ОДНА. И ОДНА нейтронная звезда, поле тяжести которой, по рас-

четам Торна, никак не могло помочь модулю осуществить гравитационный маневр и перелететь с планеты Миллера на планету Манна! Что делать?

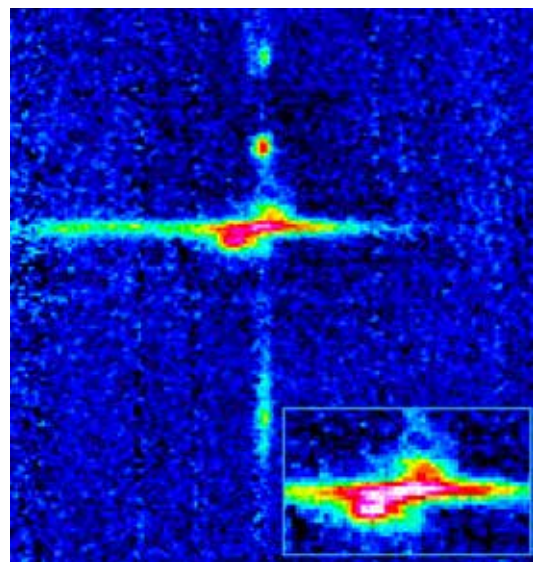
Да ничего. Расчеты так и остались расчетами: чрезвычайно сложными, очень интересными с точки зрения физики, но для фильма — бесполезными, поскольку противоречили замыслу режиссера. Поэтому зритель видит на экране, как астронавты покидают негостеприимную планету Миллера, а в следующем кадре уже летят над планетой Манна и Купер готовится посадить модуль.

Сложнейшие расчеты Торна пропали втуне. Во всяком случае, зритель наверняка не стал задумываться над тем, как «Ranger» оказался вдруг у планеты Манна. Это ж все-таки не с Земли на Луну...

В результате вне рассмотрения остался еще один важный аспект: если за короткое время (полет между планетами продолжался всего несколько часов или дней) скорость челнока уменьшилась на огромную величину (тысячи километров в секунду!), астронавты должны были испытать такие колоссальные перегрузки, что превратились бы в пыль... Но поскольку эпизод в фильм не вошел, то и думать об этом зритель не стал.

Дальше — больше. Чтобы после катастрофы «Endurance» уйти от черной дыры, нужно было совершить гравитационный маневр около Гаргантюа. Перед этим Купер говорит мисс Брэнд: «Плывать на теорию относительности, нужно спасать экспедицию». И он так плюет на теорию относительности: пересекая горизонт событий Гаргантюа, Купер продолжает как ни в чем не бывало разговаривать с мисс Брэнд, оставшейся выше горизонта...

Дальше — еще больше. Будучи лучшим в мире знатоком физики вращающихся черных дыр, Торн, конечно, мог предсказать, что в черной дыре возможны эффекты, которые расчитать пока невозможно: например, перепутываются измерения, пространство воспринимается как время, а время — как пространство (это позволяет Куперу вернуться в прошлое, пообщаться с дочерью в виде призрака и даже увидеть самого себя). Торн в своей книге пишет об этом, как о научной спекуляции. Но даже научной спекуляцией нельзя назвать сообщение робота Тарса о том, что он собрал, находясь в черной дыре, некие данные о ее структуре и о «квантовой сингулярности». Тарс, видимо, рассказал о них Куперу. Как он это сделал, Нолан показывать не стал, конечно, — вспомним, что, по фильму, пространство и время внутри черной дыры меняются местами. Любопытно было бы посмотреть (и особенно послушать), как при такой физике персонажи обменивались информацией.



Центр нашей Галактики, снятый в инфракрасной линии спектра водорода (1281,81 нм). Искажение формы диска — чисто оптический эффект, связанный с тем, что при быстром вращении приближающаяся к нам часть диска становится более «синей», а удаляющаяся — напротив, «краснеет»



Купер, в свою очередь, передал дочери эти данные, уже каким-то образом зашифрованные в виде уравнений (вы еще не забыли, что Купер — фермер и пилот, а о физике черных дыр вообще впервые услышал перед самым погружением в кротовую нору?). Способ передачи, кстати, еще более экстравагантен, нежели сверхбыстро вращающаяся черная дыра: сложнейшие (по идее) уравнения, до которых отец упомянутой мисс Брэнд — профессор Брэнд — не смог додуматься за всю свою жизнь, Купер передает азбукой Морзе! Хотел бы я посмотреть, как это происходило бы в реальности. Можно ведь провести эксперимент: в одной комнате посадить самого Кипа Торна, в другой — актрису, игравшую в фильме Мэрф, дочь Купера. И пусть Торн попытается передать азбукой Морзе хотя бы уравнение Эйнштейна для быстро вращающейся черной дыры.

Читатель (он же зритель) может возразить: «Но ведь любую формулу можно передать словами, читают же физики лекции!» Конечно. Но формулы пишут на доске или показывают на экране компьютера, а вслух только комментируют, причем чаще всего комментарий ограничивается словами: «А из этой формулы мы получим эту».

С другой стороны, у Купера не было ни доски, ни компьютера — как он мог передать дочери сложнейшие формулы квантовой физики (которые он, если вы не забыли, сам и понять не мог, будучи абсолютно некомпетентен в физике черных дыр)? Что ж, тут зритель волен полагаться на собственное впечатление: верить эпизоду или нет. Я-то ни как физик, ни как зритель поверить не могу.

Человеческий фактор

Впрочем, появление Купера в прошлом в виде призрака не имеет к физике никакого отношения. Как и то, что сверхцивилизация из пятого измерения выбрасывает его и робота Тарса назад к Сатурну через все ту же кротовую нору, сыгравшую в финале фильма роль *deus ex machina*. Такое не считаешь, и в книге Торна о счастливом возвращении Купера речь не идет. Это уже чистый романтизм: хеппи-энд в физически невероятной ситуации...

Но все эти чрезвычайно аномальные и только в кино возможные эффекты, как у хорошего фокусника, уводят внимание зрителя от основной проблемы. Герои фильма летят в дальний космос, чтобы найти планету, куда могло бы переселиться человечество. Однако ни планета Миллера, ни планета Манна и близко не соответствуют нужным условиям: на обеих планетах человек может выжить только в скафандре! О других планетах в фильме ничего не сказано — видимо, там условия еще хуже. Разве что планета Эдмундса, где небольшую колонию все-таки удается основать, как ясно из концовки фильма. Зачем нужно лететь столь далеко и с такими трудностями, когда рядом есть Марс — он ближе и ничуть не более негостеприимен...

Если целью Нолана было показать, что людям есть куда переселяться, то показал он своим фильмом обратное: переселяться человеку некуда. Придется жить и умереть на родной планете. Впрочем, судя по финалу фильма, герои могли и не рисковать жизнями — через сто лет, когда Купер вернулся, люди уже разрешили проблему, перед которой спасовали в начале фильма. Они создали колонию в космосе на орбите Сатурна (почему, кстати? не проще ли было создать такую колонию на орбите вокруг Земли или, на худой конец, на Луне?), и для этого не нужно было решать сложнейшие уравнения теории относительности, не нужно было лететь в другую галактику сквозь кротовую нору.

Да, но тогда и фильма не было бы...

И еще несколько слов в заключение. То, что я скажу, относится не только к фильму «*Interstellar*», но практически ко всем фантастическим (и не только фантастическим) фильмам. Настоящую науку делают профессионалы высочайшей квалификации, причем даже они вынуждены собираться в

большие коллективы (как сейчас говорят — коллаборации), поскольку современная наука и техника чрезвычайно сложны. Даже теоретики, которым лет сто назад для работы не нужно было ничего, кроме карандаша и бумаги, в наши дни (а в будущем тем более!) работают совместно — и ведь для фильма «*Interstellar*» Кип Торн не мог все рассчитать в одиночку, с ним работала группа чрезвычайно квалифицированных ученых. NASA — огромный коллектив самых высококлассных ученых, инженеров, техников, компьютерщиков и представителей еще многих десятков профессий. Современные космонавты и астронавты многие месяцы тренируются на тренажерах, изучают аппаратуру, компьютеры, технику.

А в фильмах? Конкретно в «*Interstellar*» в самый сложный в истории человечества и смертельно опасный полет отправляют бывшего пилота, понятия не имеющего о физике кротовых нор, черных дыр и тем более о принципах маневрирования в условиях такой сложной гравитационной картины, какая оказалась в окрестности Гаргантюа. Тем не менее он «берет руль в свои руки» и ведет модуль на посадку в абсолютно ему незнакомой атмосфере абсолютно незнакомой планеты так, будто сидит за штурвалом истребителя в компьютерной игре.

Профессор Брэнд рассказывает Куперу, что до него через кротовую нору были отправлены двенадцать экспедиций и ни одна не вернулась. Можно представить такое в реальной космонавтике? Можно представить, что Роскосмос или NASA отправляет экипаж неведомо куда, корабль не возвращается, но следом отправляют второй, третий... двенадцатый... Фантастика, верно?

«Так ведь речь идет о спасении человечества!» — может сказать зритель. Но и сама эта ситуация была придумана Ноланом и отвергнута учеными!

К сожалению, такова природа кинематографа, и не нашелся еще режиссер, который поставил бы фильм, сколько-нибудь приближенный к правильному изображению будней (пусть и фантастических!) науки и техники. Вспоминается разве что «*Контакт*» по роману Карла Сагана, но даже и там все сильно упрощено.

В результате зрителя подводят к мысли о том, что ни профессиональные ученые, ни коллективы изобретателей (действительно специалисты в своем деле!) человечество не спасут, а спасут его вышедший в отставку пилот Купер, странноватый профессор-авантюрист Брэнд и веселый робот. И это в фильме, который рекламирует как самую жесткую и точную научную фантастику в истории кино.

Интересно, допустил бы Кристофер Нолан, режиссер-профессионал высочайшего класса, чтобы фильм снимал любитель-недоучка, не знающий жестких законов кинематографа? Вопрос риторический. Однако в фильмах науку делают безумные профессора, гении-одиночки, и в космос летают не суперпрофессионалы-астронавты, такие как Армстронг, Гречко или Леонов, а неврастники и истерики вроде Манна и Бравые, но не знакомые с «матчастью» пилоты вроде Купера.

Летать в космос и спасать человечество — это, оказывается, так просто. Главное, ничего не бояться, быть благородным и упорным в достижении цели, и тогда на помощь непременно придут сверхцивилизации из пятого измерения.

