

ЗНАННЯ БЕЗ ГРАНИЦЬ

ЧОРНА ДІРА

ЖАН-П'ЄР ПЕТІ





Jean-Pierre Petit,

Жан-П'єр Петі, президент

Жан-П'єр Петі, 1937 р.н., доктор наук і астрофізик, колишній керівник наукового відділу CNRS, є автором нового жанру: наукового коміксу. У 2005 році разом зі своїм другом Жилем д'Агостіні він створив некомерційну асоціацію *Savoir sans Frontières*, місія якої - безкоштовно поширювати наукові знання по всьому світу. Станом на 2020 рік асоціація платить перекладачам 180 євро нетто, коли вони беруться за графічне оформлення сторінок, і 120 євро, коли вони надають лише переклад у текстовій формі. Потім асоціація піклується про графічне форматування. Сайт пропонує 535 альбомів для безкоштовного завантаження на 40 мовах.

Ці сторінки можуть бути відтворені, а дизайн вільно використаний вчителями за умови, що це не веде до прибуткової діяльності.

Зараз асоціація розробляє проект альбомів з «балакучими бульбашками» для вивчення мови.

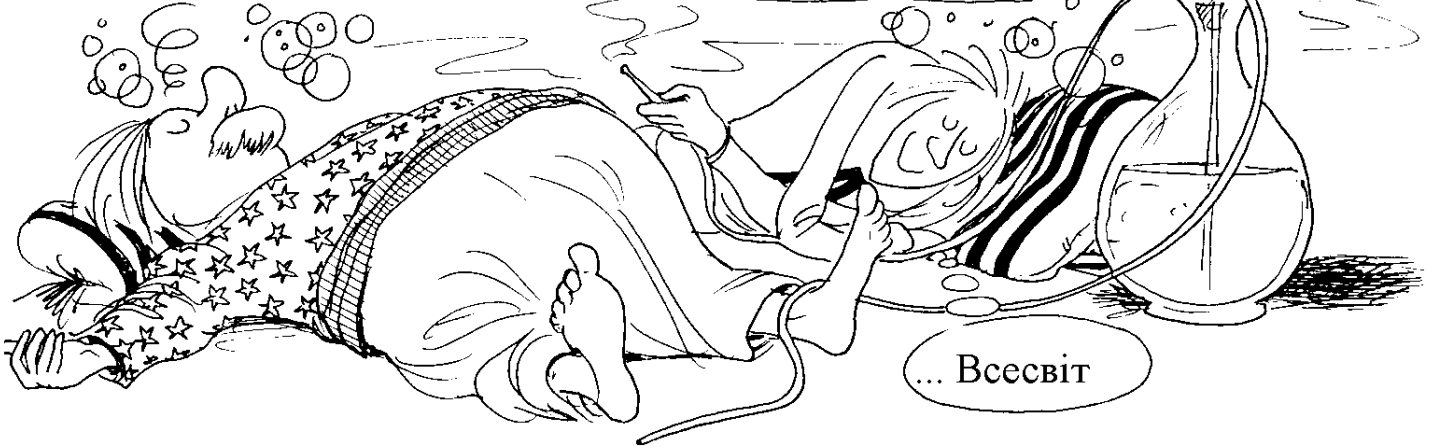
Щоб фінансово допомогти асоціації, перейдіть за посиланням PAYPAL на головній сторінці сайту:

<http://www.jp-petit.org>



Великого Всесвіту..

... Всесвіт ...

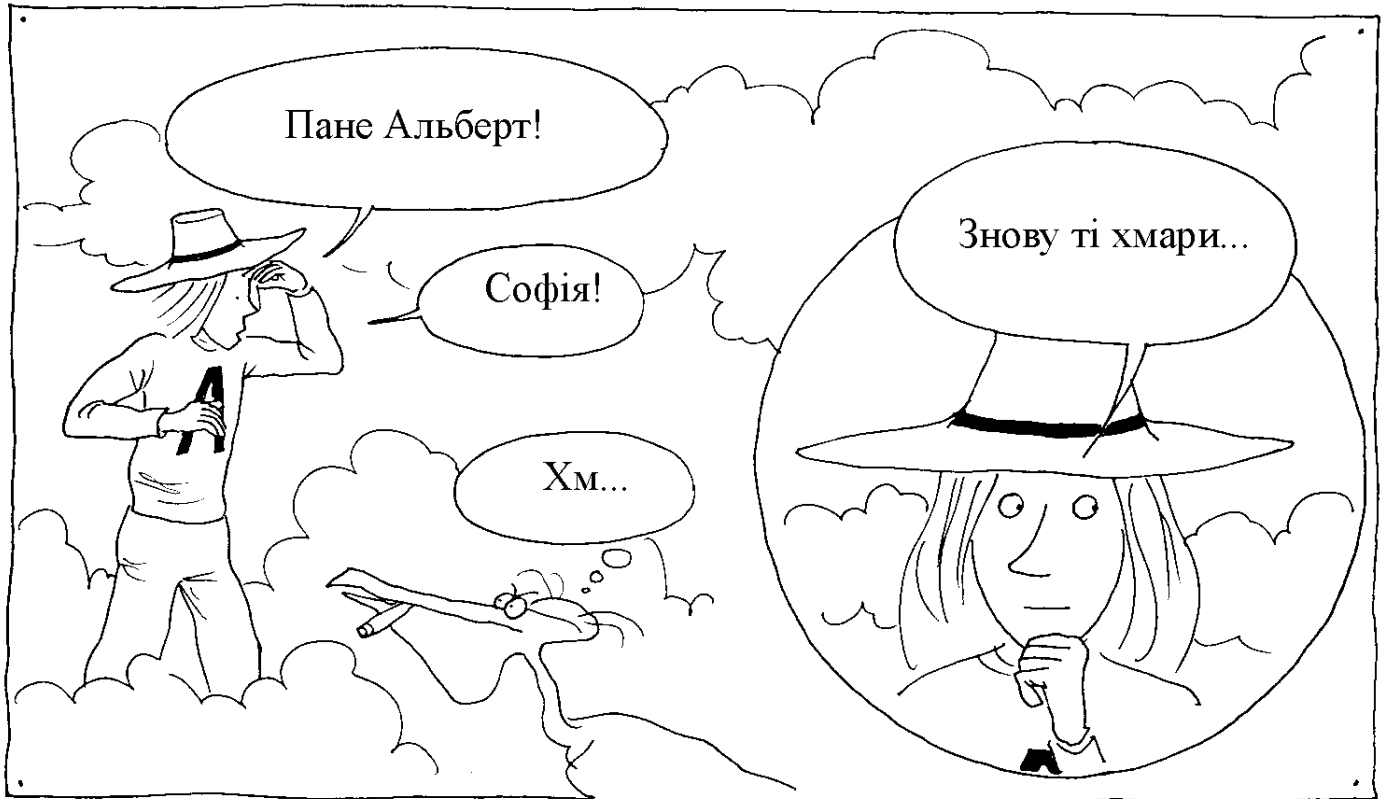


Пане Альберт!

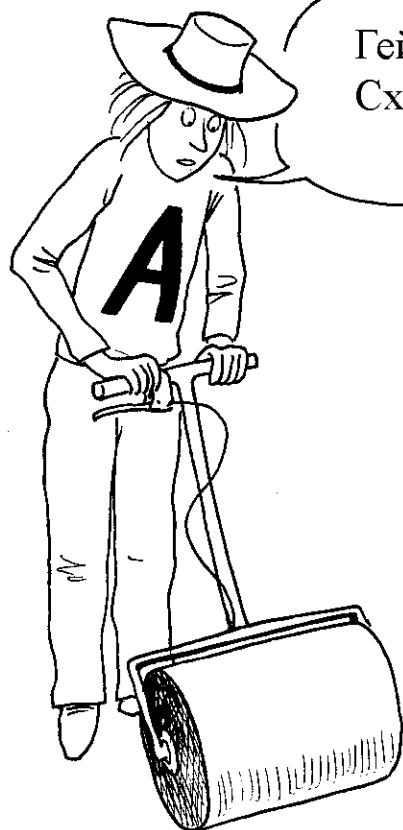
Софія!

Хм...

Знову ті хмари...



Знову Ансельме вирушає досліджувати туманні світи.



Гей, що це за штука?
Схоже на тенісний корт, або якийсь малярський валик.

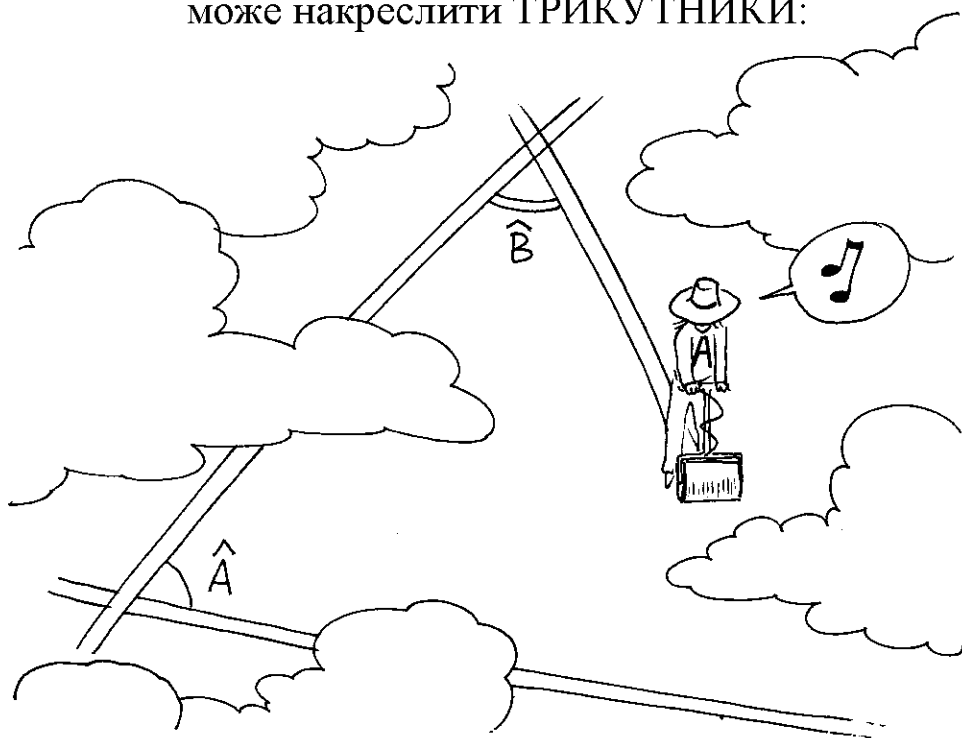


Його можна рухати ПРЯМО
без зусиль.
З іншого боку, неможливо
відхилити волосинку
ВПРАВО або ВЛІВО.



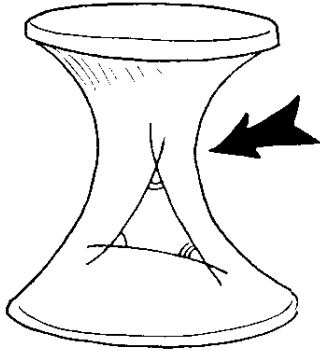
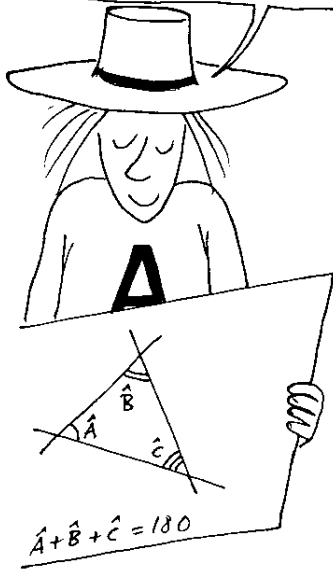
Для чого ця ручка?
Тут він знімає
зчеплення і дозволяє
мені час від часу
змінювати напрямок.

Завдяки цьому приладу Anselme може
простежити ГЕОДЕЗИКУ поверхні.
Використовуючи три геодезичні, Ансельме
може накреслити ТРИКУТНИКИ:



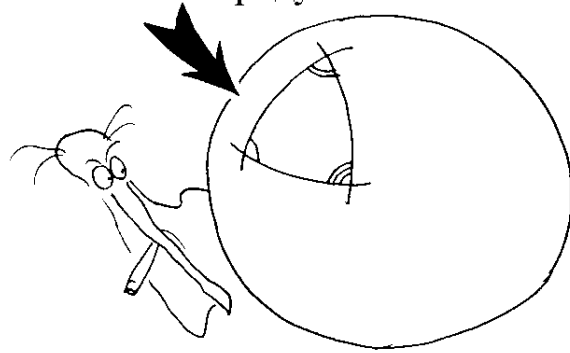
Поверхня - це ДВОВИМІРНИЙ ПРОСТІР. Тобто потрібно ДВОЄ
ВЕЛИЧИНИ для визначення положення точки, двох координат.

Давайте подивимось, коли простір є ЕВКЛІДОВИМ, сума кутів мого трикутника дорівнює 180° .

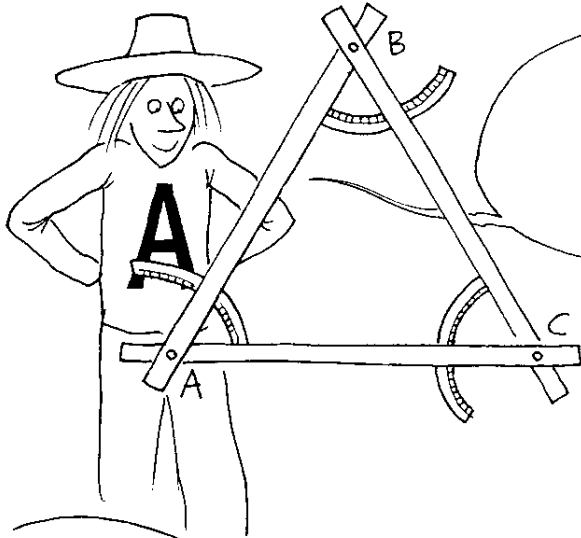


Коли простір має негативну кривизну, ця сума **МЕНША** за 180 градусів

У просторі з **ПОЗИТИВНОЮ** кривизною сума **БІЛЬША** ніж 180 градусів



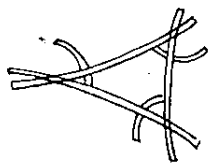
ПРОСТОРИ ЗІ ЗМІННОЮ КРИВИЗНОЮ:



Я винайшов курвіметр. Він складається з трьох еластичних планок, які можуть обертатися вільно навколо трьох заклепок А, В, С.



ПОЗИТИВНА
КРИВИНА

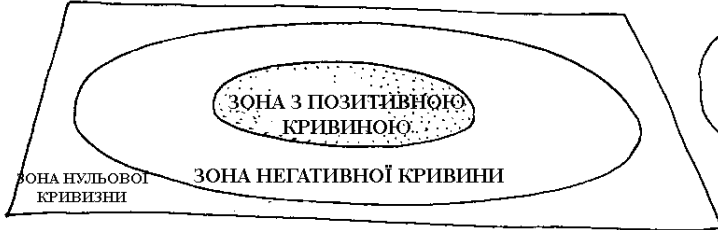
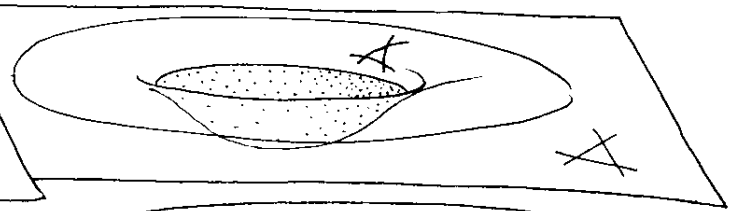
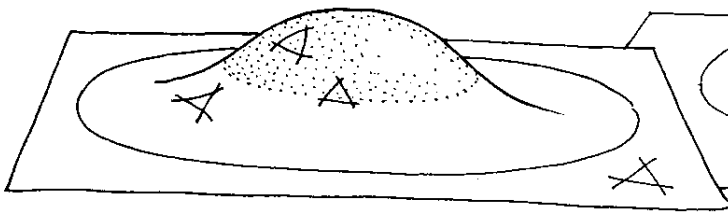


НЕГАТИВНА
КРИВИНА

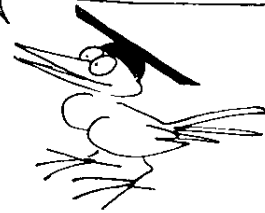


Просто розрівняйте його на поверхні та виміряйте кути за допомогою трьох транспортирів знати **ЛОКАЛЬНУ КРИВИНУ**.

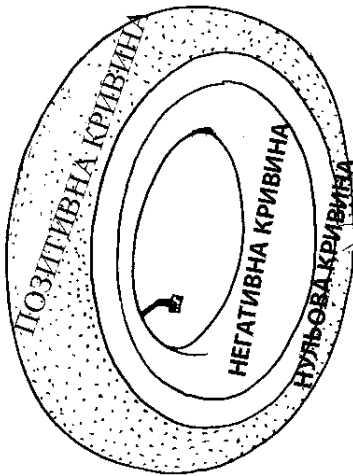
Цей виступ на площині складається з центральної області позитивної кривизни, оточеної областю негативної кривизни.



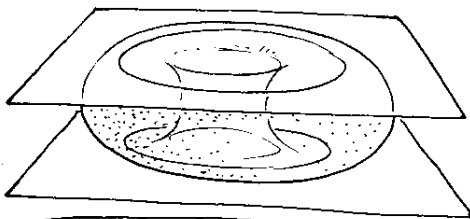
З точки зору КРИВИЗНИ ПОРОЖИНА тотожна БУРУ



Крикі, якщо я не помиляюся, це миготливий ТОР.



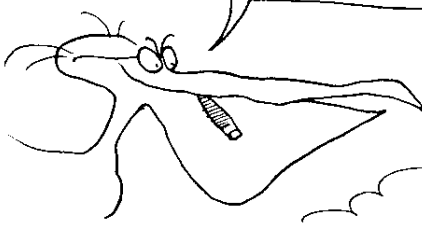
Так, є смуга з позитивною кривизною, інша з негативною кривизною, розділені межа, де кривизна дорівнює нулю.



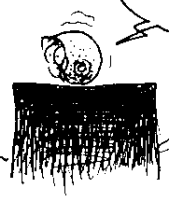
Останнє можна визначити, помістивши тор між двома площинами.

Мій любий Тіресію, ти усвідомив, що твоя оболонка була двовимірним простором зі змінною кривизною?


Ленні, перестань турбувати Тіресію!



eee!




КОНІЧНІ ТОЧКИ




Ось побачиш, Ансельме, є ще дивніші речі.

Гайди, Тіресій, я відчуваю жагу до знань, що охоплює мене...

Чекай на мене!




Дивись, Тіресію – я збираюся намалювати сітку на поверхні за допомогою сітки геодезичної. Це буде дай мені багато трикутників.



Оболонка зі змінною кривизною ... Мені б все одно!!..

Так от, я нічого не розумію! Що відбувається навколо цієї точки P?



Хитрий винахідник забув скористатися своїм курвіметром.

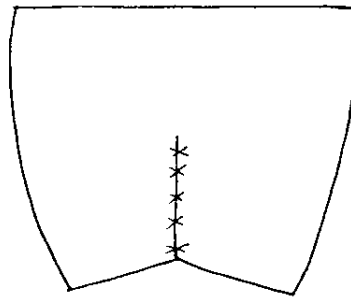
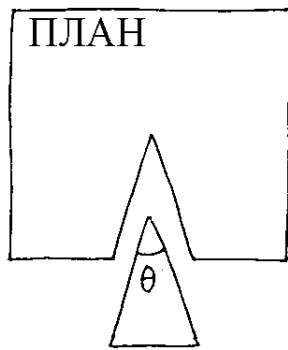


P.

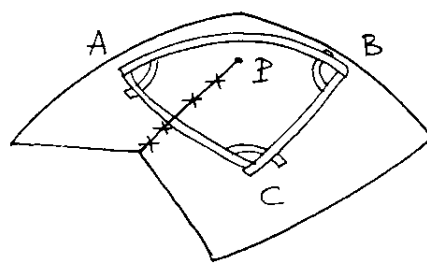
Все одно, Софі, що відбувається? Якщо трикутник курвіметра не містить цієї точки Р, це вказує на нульову кривизну.



Це КОНУСНА ТОЧКА. Припустімо, я беру площину, вирізаю сектор з кутом θ , і приєднайтеся до нього знову.



Я отримую конус, який ми назвемо ПО СІКОН.

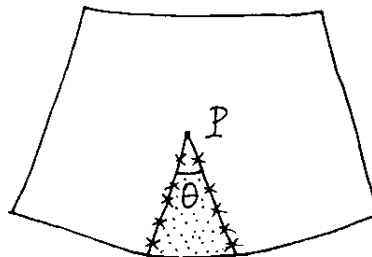
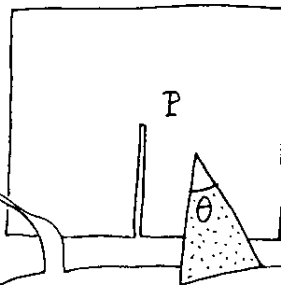


$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 180^\circ + \theta$$



Можна перевірити, з картону. Вам допоможе рулон липкого паперу щоб легко матеріалізувати геодезичні стрічки.

Отже, якщо мій трикутник містить вершину конуса, сума його кутів дорівнює завжди більше 180° !

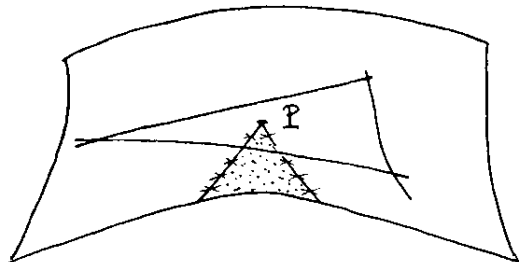


Не так швидко! Засікаючи свій план, я тепер навпаки ДОДАЮ сектор кута θ .

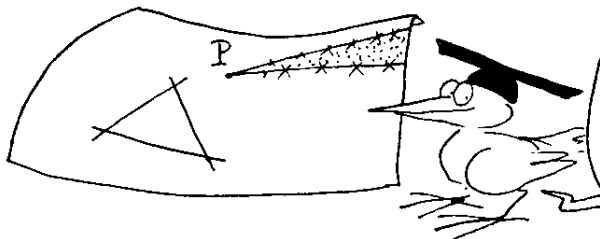
Не кажи мені - ти отримувеш негативний КОНУС!



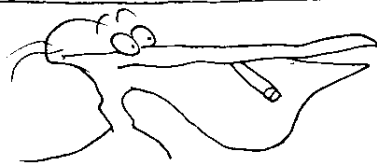
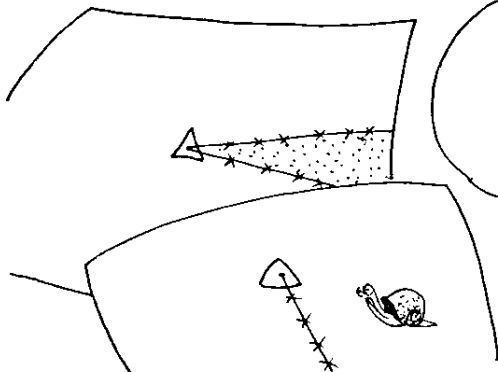
Цього разу, коли трикутник оточує точку P , сума кутів дорівнює $180^\circ - \theta$!



Але знову ж таки, коли точка знаходиться поза трикутником, сума дорівнює 180° .

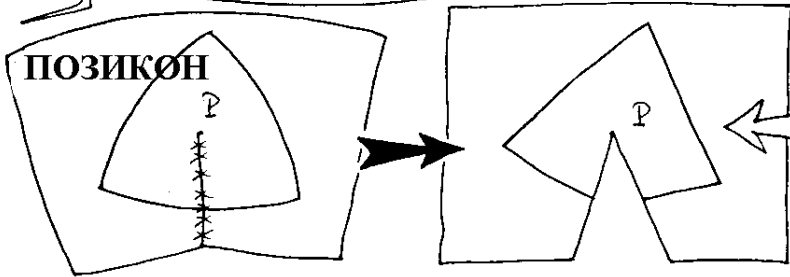
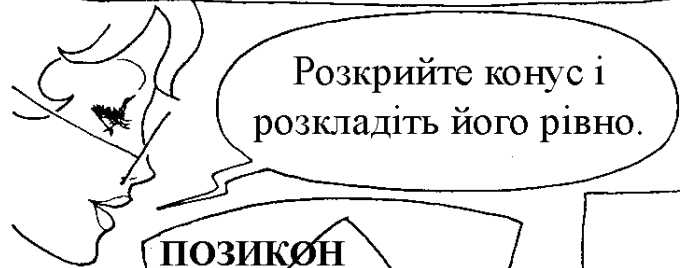


Ця властивість конусів не залежить від розміру трикутника: ви отримаєте однаковий результат незалежно від того, великий він чи малий.



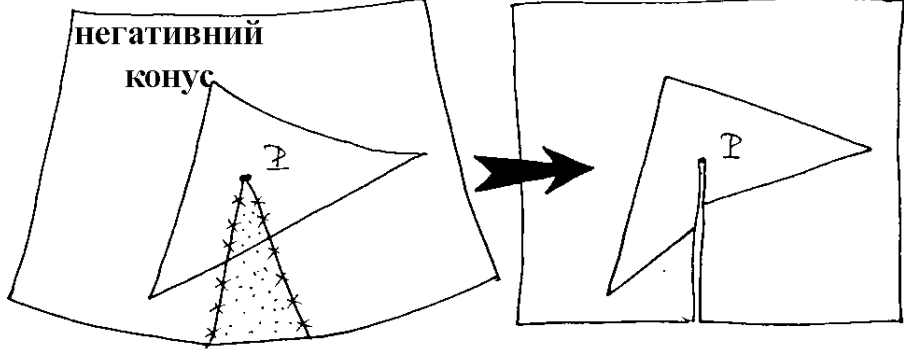
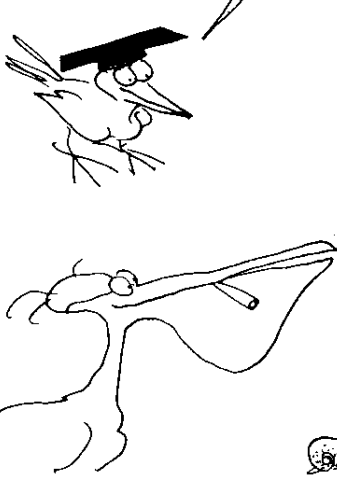


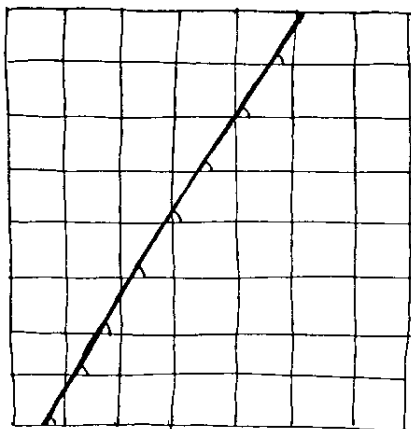
**Кут θ вимірює
величину кривизни в
конічній точці..**



**Ось результат
операції, виконаної
Ансельмом, при
конусі викривлення
позитивне.**

Де як, у випадку негативної кривизни ...





Візьміть **ПЛОСКУ** поверхню та відрегулюйте її за допомогою геодезичних до правильної квадратної сітки. Ми говоримо, що поверхню викладено однаковими квадратами. Якщо ми йдемо шляхом, або **ТРАЕКТОРІЄЮ**, яка розрізає кожен наступний квадрат під однаковим кутом, то цей шлях завжди буде геодезичною на поверхні.

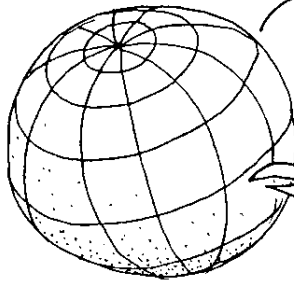
Напрямок

Але чому б не зробити це на сфері?

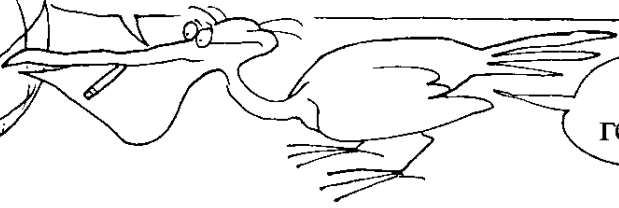
По-перше, спробуйте викласти кулю квадратами, добре з'єднаними, ви мені скажете новини.

Меридіани сфери є її геодезичними. Шлях, що перерізає меридіани під постійним кутом, відмінним від 90° , незмінно буде петляти до одного з **ПОЛЮСІВ!**

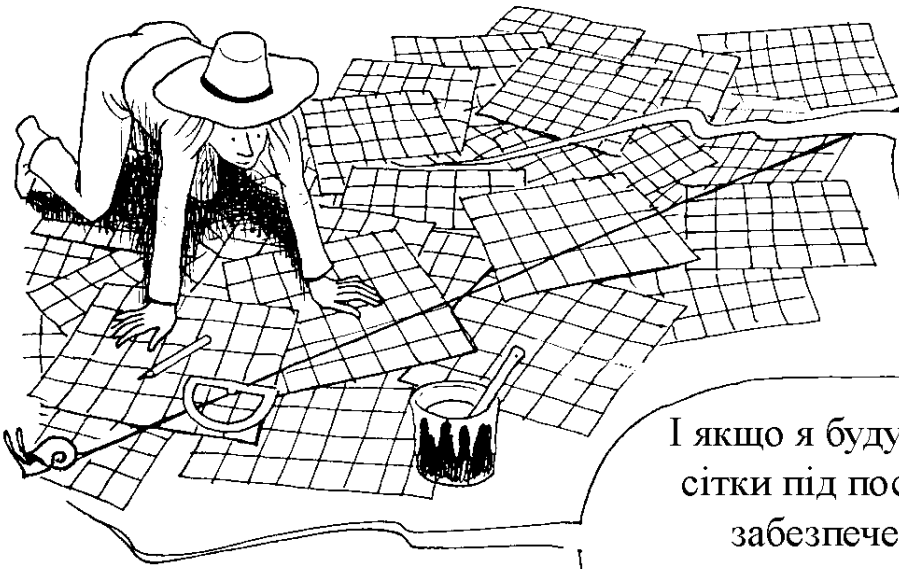
Постійне курсування веде... до полюса!



Перерізаючи меридіани кулі під кутом 90° , я рухався б уздовж паралелей.

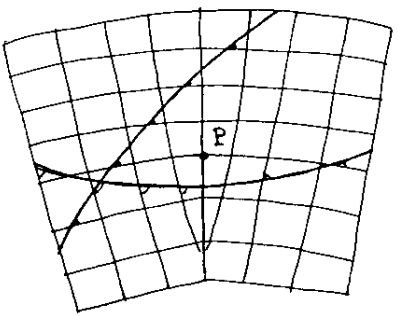


паралелі, які не є геодезичними. Бачив ! (*)

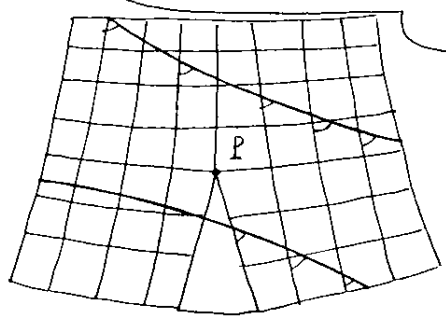


Я можу покрити плоску евклідову поверхню, використовуючи плоскі елементи з сіткою.

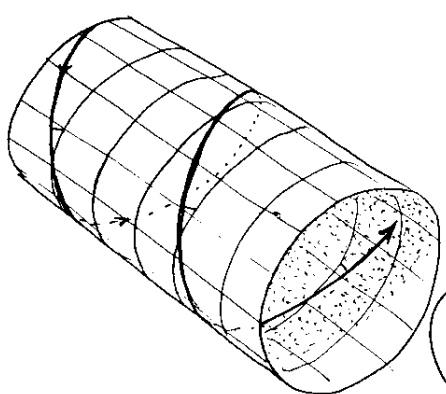
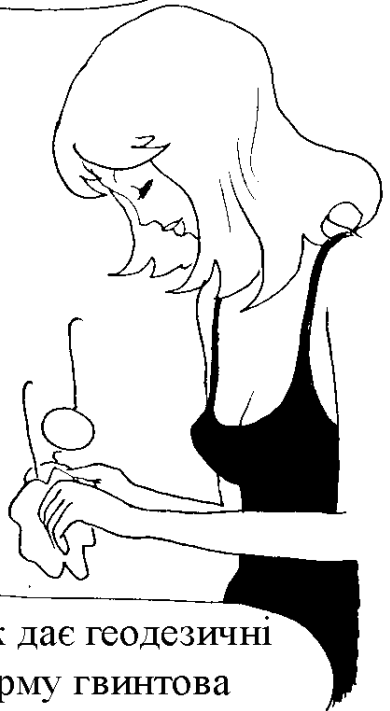
І якщо я буду рухатися, розрізаючи ці сітки під постійним кутом, за умови забезпечення з'єднань, крок за кроком, я отримаю геодезичну.



ПОЗИКОН



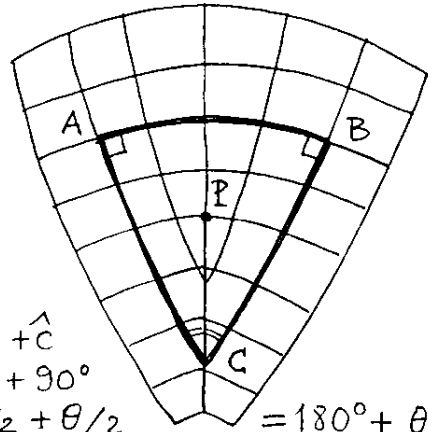
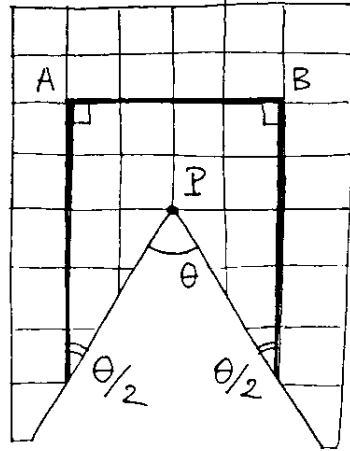
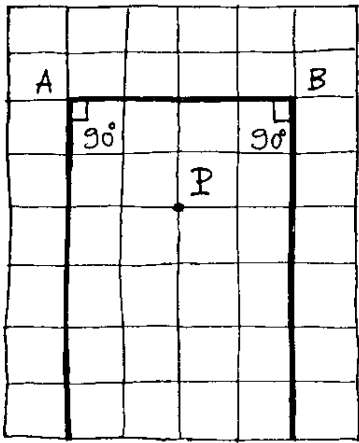
НЕГАКОН



Цей простий спосіб також дає геодезичні циліндра, які мають форму гвинтова пружина.

(*) Їх не можна намалювати на кулі липкою стрічкою (крім екватора).

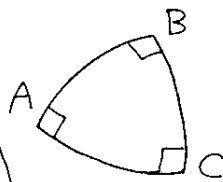
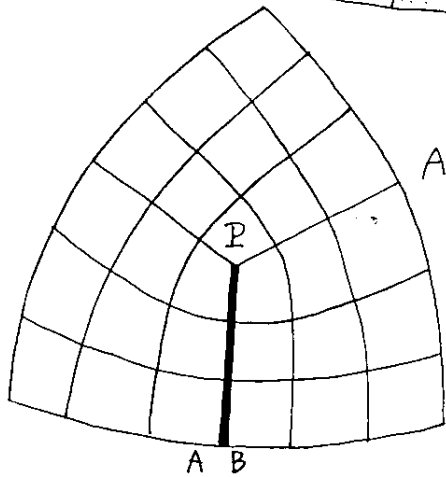
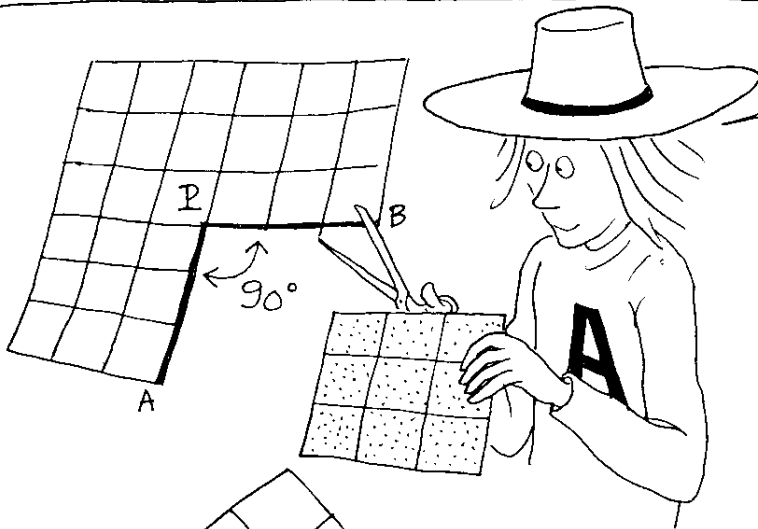
Ось чому сума кутів трикутника на позиконусі збільшується на кут θ розріз.



$$\begin{aligned} \hat{A} + \hat{B} + \hat{C} &= 90^\circ + 90^\circ \\ &+ \theta/2 + \theta/2 \\ &= 180^\circ + \theta \end{aligned}$$

Тепер Ансельме побудує певні конуси, у яких можна зберегти регулярність сітки

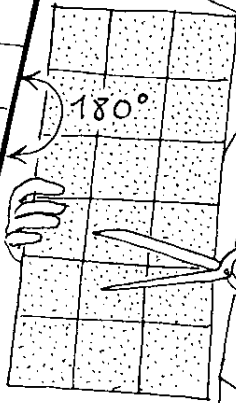
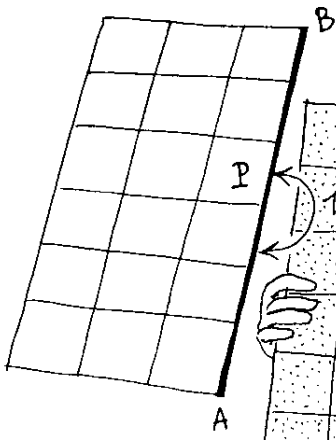
Напрямок



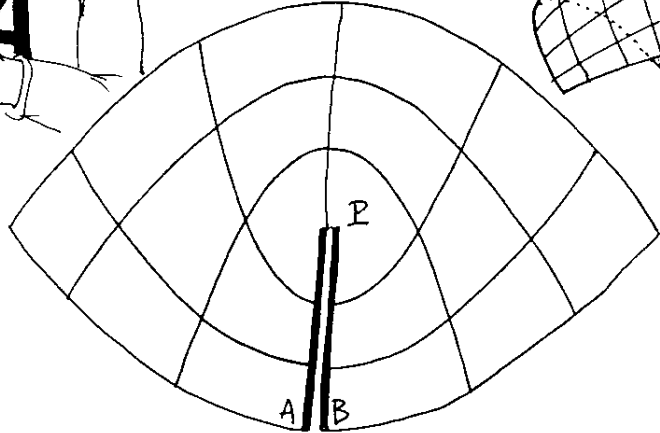
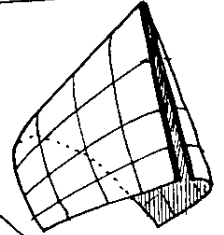
$$\begin{aligned} \hat{A} + \hat{B} + \hat{C} &= 180^\circ + 90^\circ \\ &= 270^\circ \end{aligned}$$

Там я вирізав 90° .

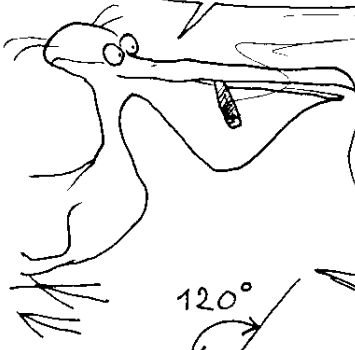
На такому конусі можна накреслити рівносторонні прямокутні трикутники.



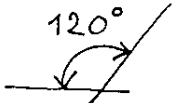
Тепер прибираю сектор 180° .



На такому конусі сума кутів трикутника дорівнює 360° .



Це означає, що ми могли б накреслити на ньому, використовуючи його геодезичні, трикутник має три кути, що дорівнюють 120° , тому тупі.

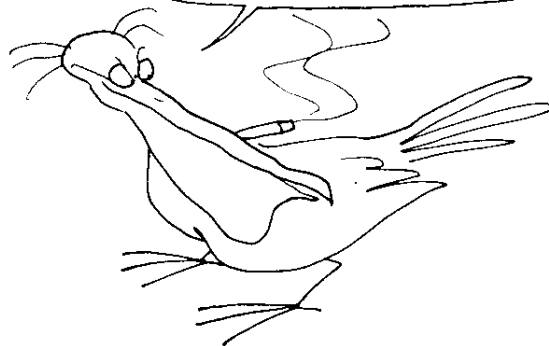


І все одно закривається? Це дивно.

Хм...

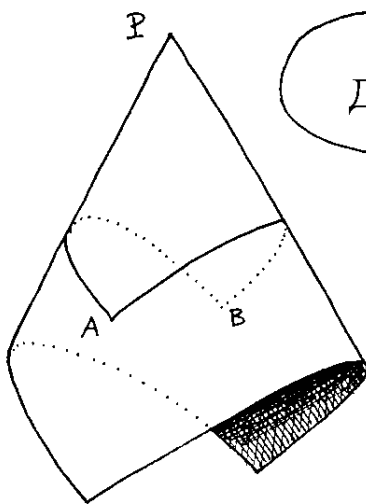


Звичайно, мій любий Тіресію, це ти тупий!

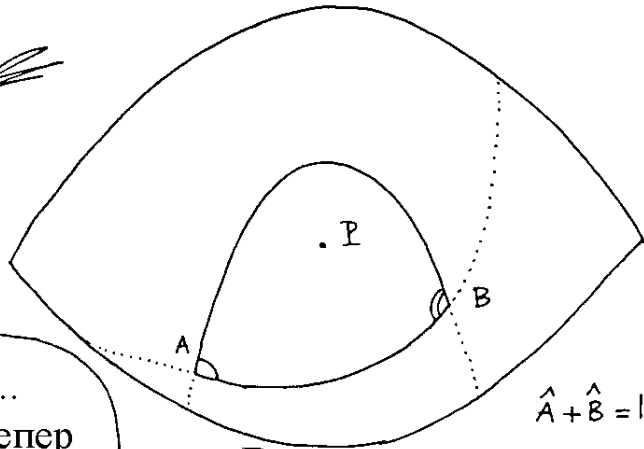


мі!



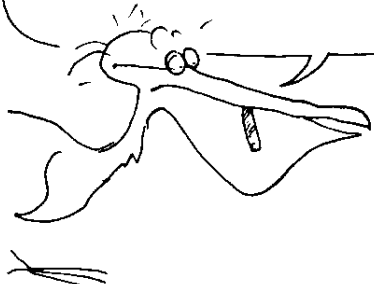


На цьому конусі можна накреслити ДВУКУТНИКИ, сума кутів яких дорівнює 180° .

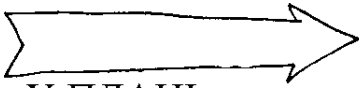
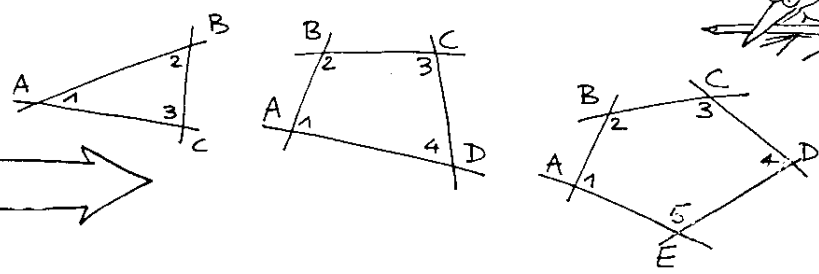


Вигляд конуса зверху

Зачекайте! Я вже не розумію... Ми говорили про трикутники. Тепер є БІКУТНИКИ. Чому б і ні, далі раз, однокутники?!?!.....



Усі ці об'єкти є МНОГОКУТНИКАМИ



У ПЛАНІ:

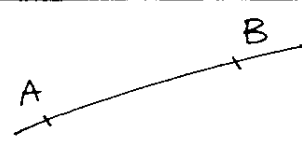
Сума кутів :

- трикутника дорівнює 180°
- чотирикутника дорівнює $180^\circ + 180^\circ = 360^\circ$
- п'ятикутника $180^\circ + 180^\circ + 180^\circ = 540^\circ$

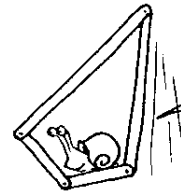
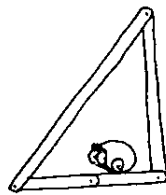
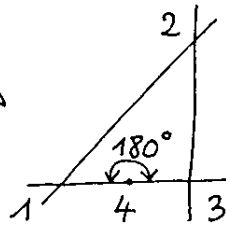
Я сходжу з розуму...



А для БІКУТНИКА, який зводиться до відрізка, сума дорівнює нулю.



Чому на 180° більше кожного разу, коли ми додаємо вершину?

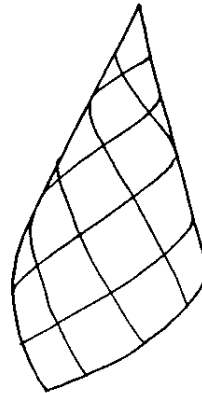
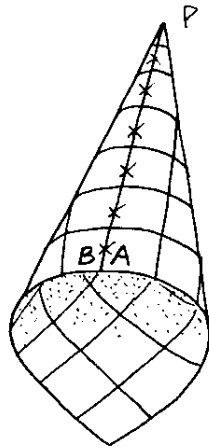
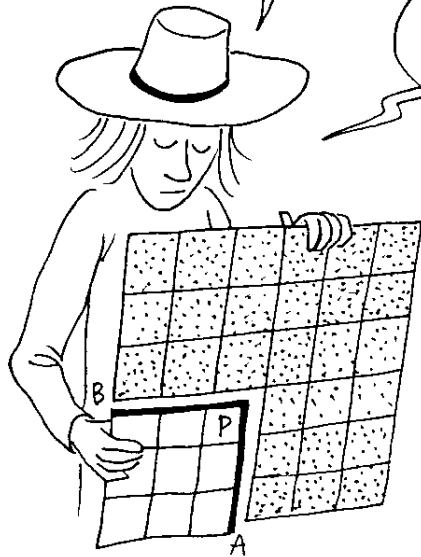


Ха!

Це повинно вас просвітити

Гаразд, продовжимо...

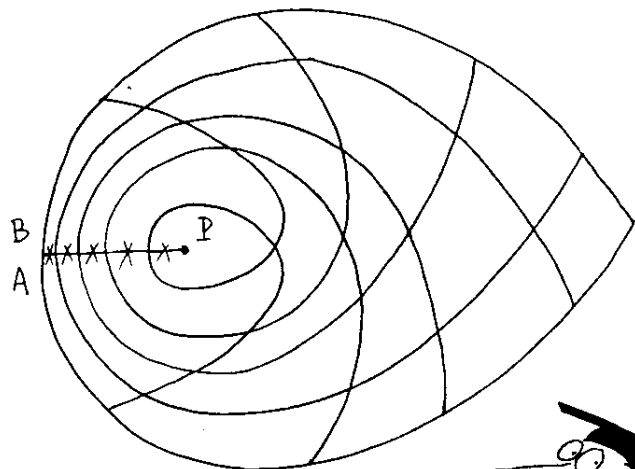
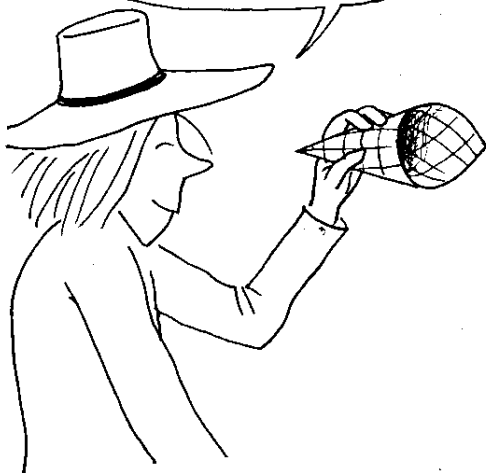
Я зараз зніму три чверті плану.



Виглядає як серветка



І коли я дивлюся на неї з кінця

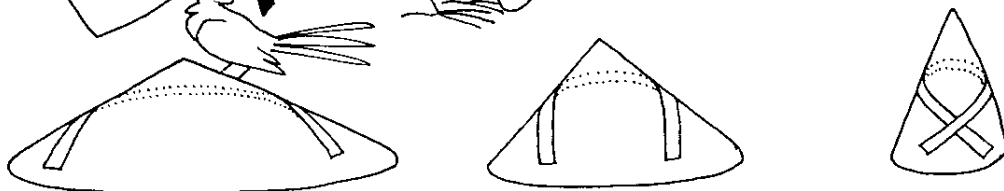


Ансельме отримує ось це!

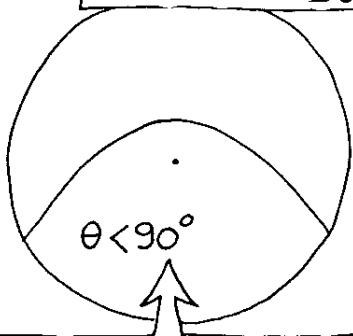


На цьому конусі всі геодезичні перетинаються між собою (вони перетинаються тут на прямий кут). Тож ми можемо малювати монокутники

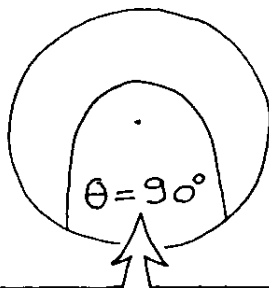
Так це була правда!



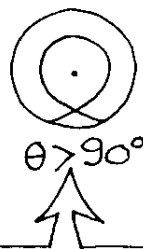
• Все залежить від кута θ конуса •



Геодезії не
закриваються



межовий
випадок

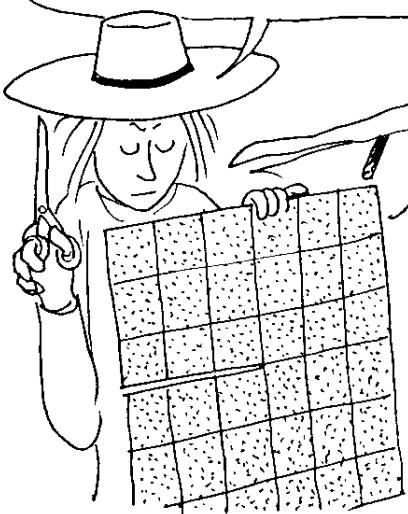


Геодезії
закриваються

ПОЛЮСИ

А якби я забрав...все?

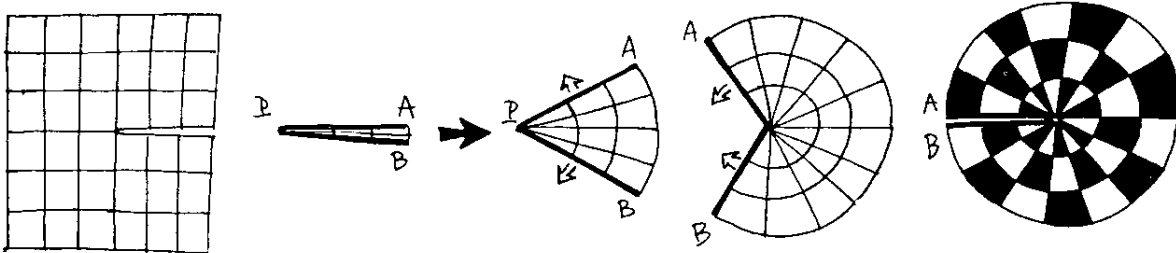
Як все?!?



Так, якби я прибрав практично ВЕСЬ план



Вилучивши майже весь план і застосувавши цей процес, ми отримуємо наступне:

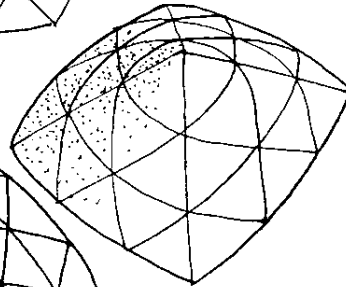
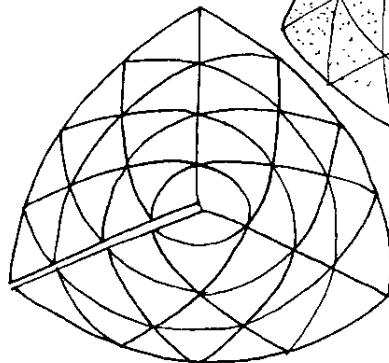
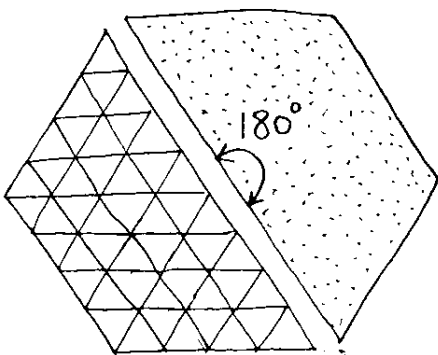
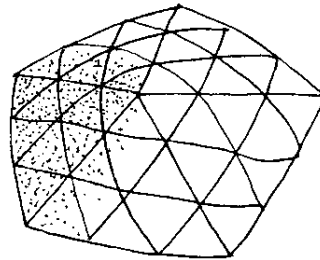
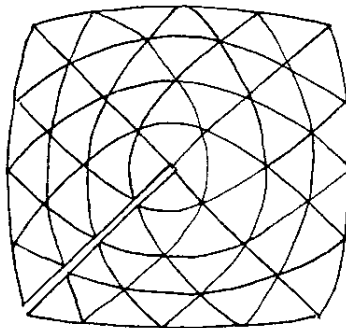
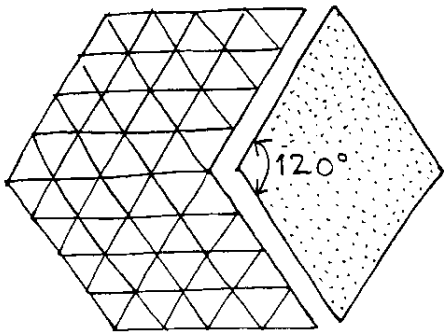
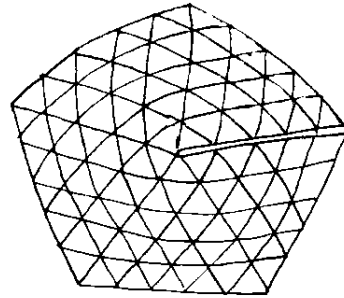
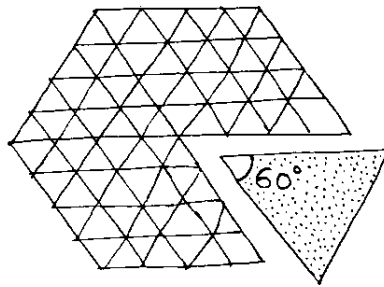
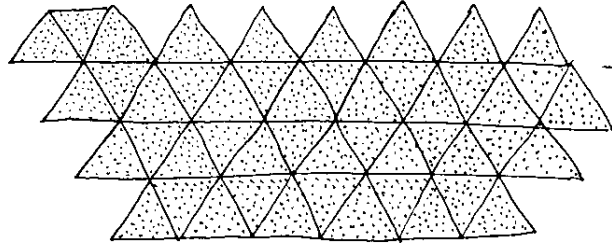


візерунок, як меридіани та паралелі...

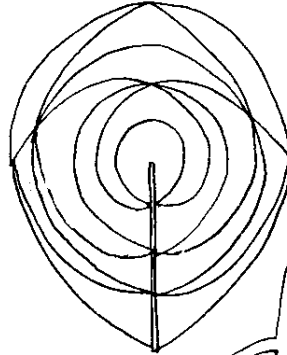
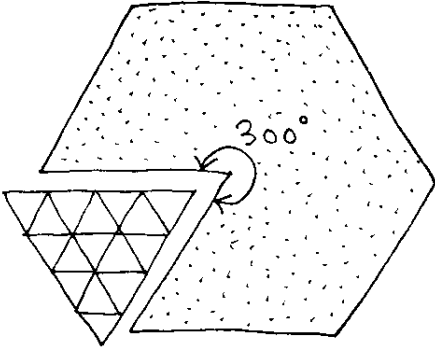
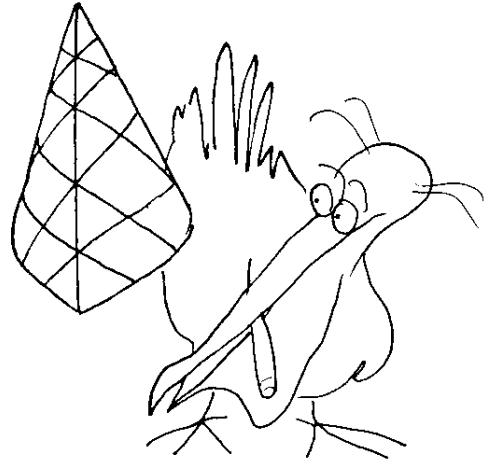
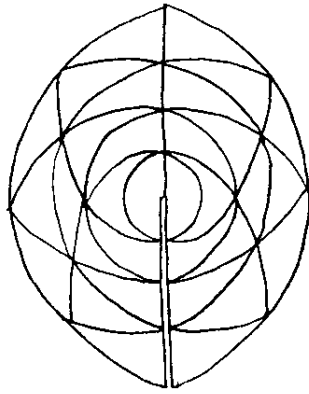
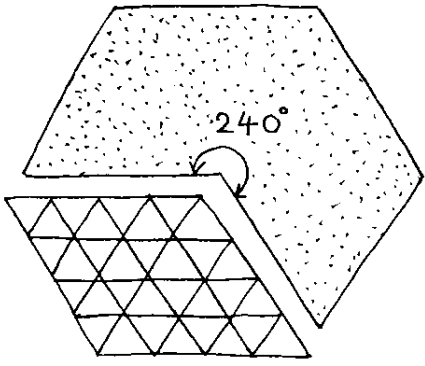


Раніше я викладав двовимірні простори (поверхні) чотирикутниками.
Але я міг би зробити це з трикутниками.

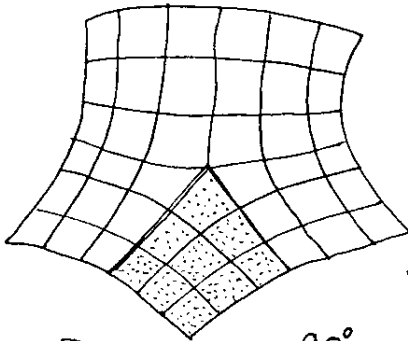
Або з
шестикутниками



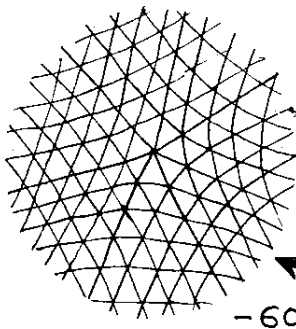
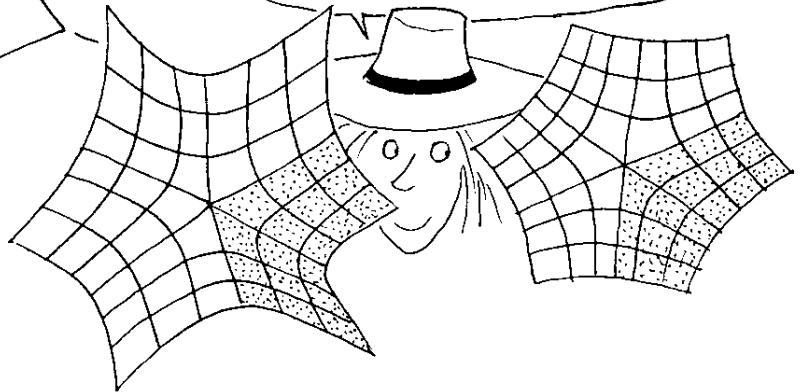
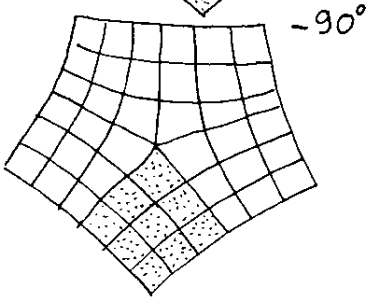
Ці сітки в рівносторонніх трикутниках
дозволяють генерувати конуси з кутом 60° ,
 120° , 180° , 240° і 300°



Вставляючи сектор з кутом θ , я створюю негативну кривизну $-\theta$, зосереджену у вершині цього негакона.



Зосереджена кривизна -180° тощо ...



Ми також можемо зробити красиві негакони з трикутними сітками.

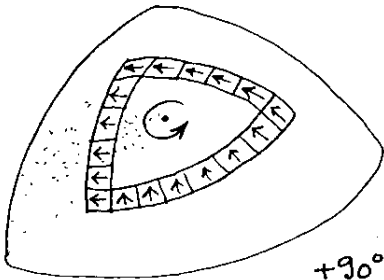
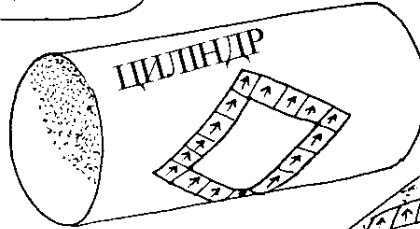
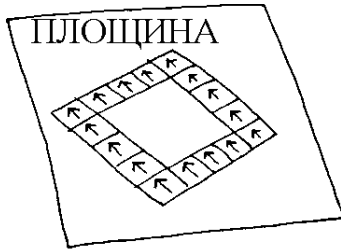


ВИМІРЮВАННЯ КРИВИНИ

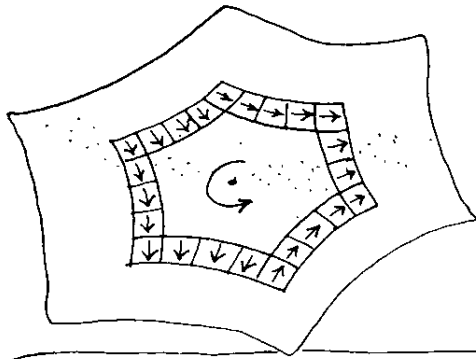
Здається, Арчі грає на щось середнє між доміно та класиками.

Гра полягає в оточенні точки концентрації кривизни плитками, дотримуючись безперервності стрілок. Коли ми зробили поворот навколо точки Р, кут, на який повернулася стрілка, дає пряму міру кривизни θ .

Мої плитки мають бути добре з'єднані



+90°



-180°

НЕГАКОН - 180°



Обведемо точку в будь-якому напрямку. Якщо стрілка повертається в ж сенсі, це буде позикон. Якщо він повернеться в протилежну сторону, це буде негакон.

Я зроблю позиконуси, кожен з яких має дуже малий кут θ .

Атоми кривизни, так би мовити.

Потім я їх склею.



Я отримую поверхню, на якій буду малювати трикутники з геодезичних, отримані за допомогою клейкої стрічки.

Сума кутів трикутника перевищує 180° на величину, що дорівнює сумі кутів елементарних конусів, вершини яких містяться в цьому трикутнику.

Напрямок

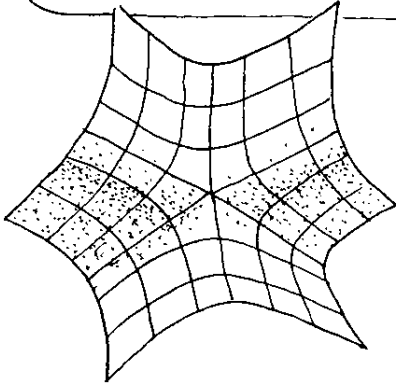
Те, що ми зазвичай називаємо кривою поверхнею, можна розглядати як збірка дуже великої кількості мікроконусів, склеєних разом.

Ви також можете з'єднати негакони; або суміш позиконів і негаконів.

У цьому випадку сума кутів трикутника становитиме 180° плюс загальна величина кривизни всередині нього, підрахована алгебраїчно (плюс для позиконів і мінус для негаконів).

КОЛЬОРОВА КЛАПТЕВА КОВДРА

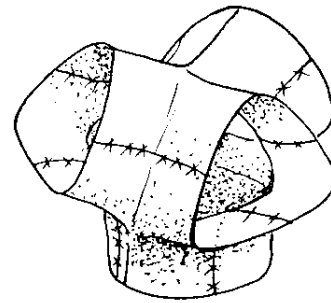
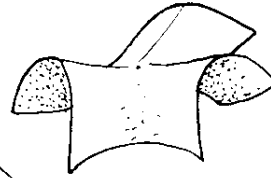
Софія; що я отримаю, якщо зберу багато негаконів?



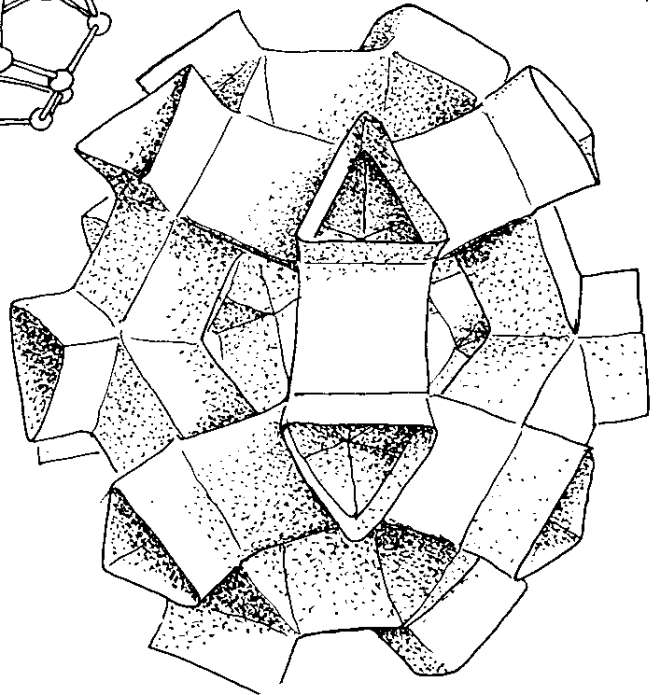
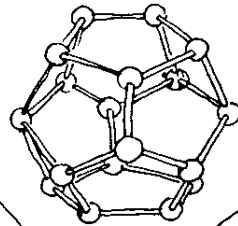
Наприклад, негакони $\theta = -180^\circ$. Їх контур відповідає шестикутнику, який мав би його шість прямих кутів

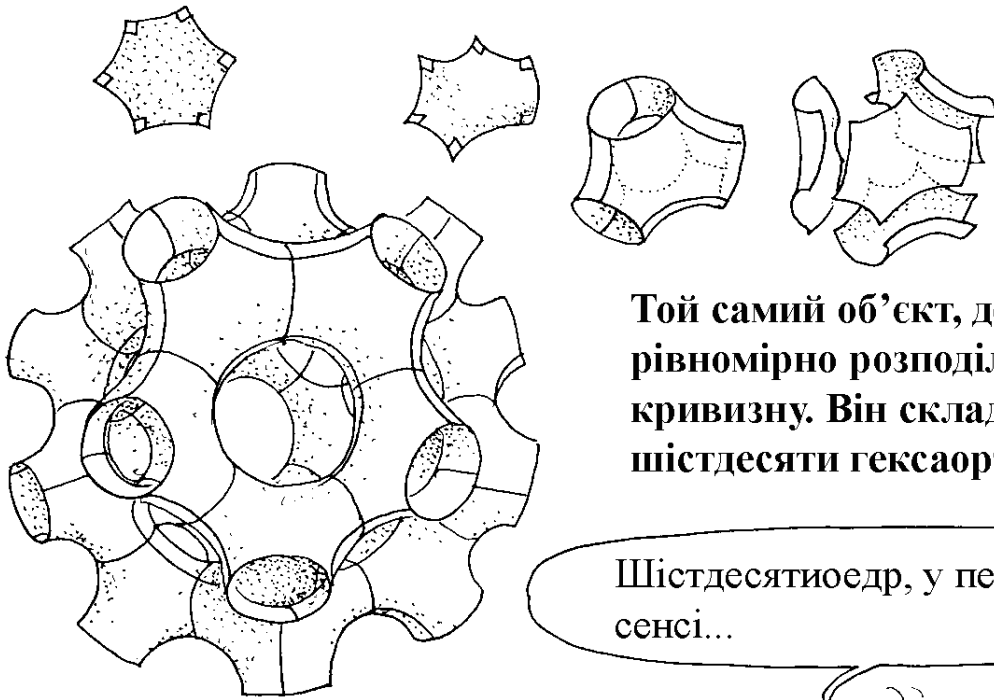


Ми можемо спочатку зібрати їх по чотири.



Якщо ви зібрате двадцять із них, ви отримаєте цей елемент поверхні з негативною кривизною, кожен з яких розміщений на одній із двадцяти вершин ДОДЕКАЕДРА (*)





Той самий об'єкт, де ми більш рівномірно розподілили негативну кривизну. Він складається з шістдесяти гексаєдронів

Шістдесятиєдр, у певному сенсі...

Мені більше схоже на хребець вимерлого ДОДЕКАЕДРОДУ.

Якби ви були плиточником і використовували гексаєдрональну плитку, ось що Ваша підлога буде виглядати так.

Мій любий, мені сказали, що, змінивши гени равлика, ми могли б щоб переконатися, що його оболонка ...

Цей приклад показує, як розподіл кривизни може обумовлювати форму елемента.

Як жахливо !!!

ТРИ ВИМІРИ

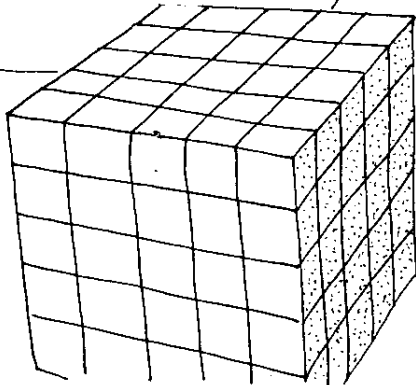
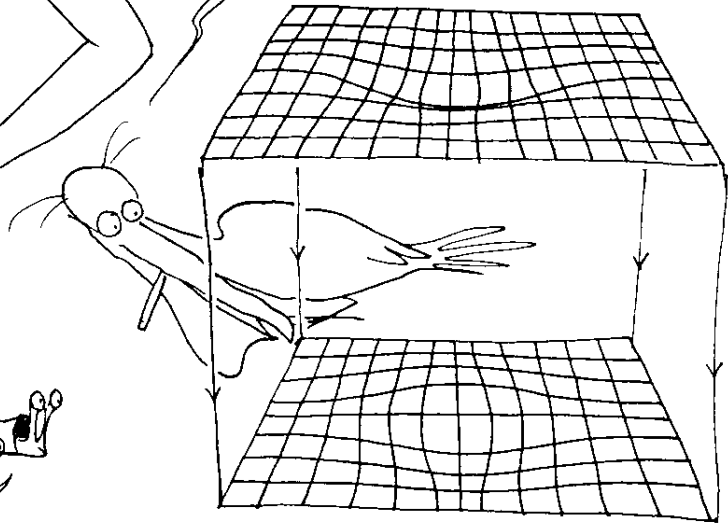
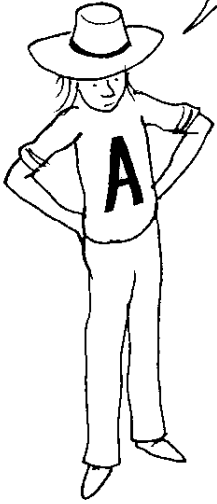
Софі, чи є спосіб побачити кривизну в нашому звичайному тривимірному просторі?

Це важко, оскільки ти в цьому живеш

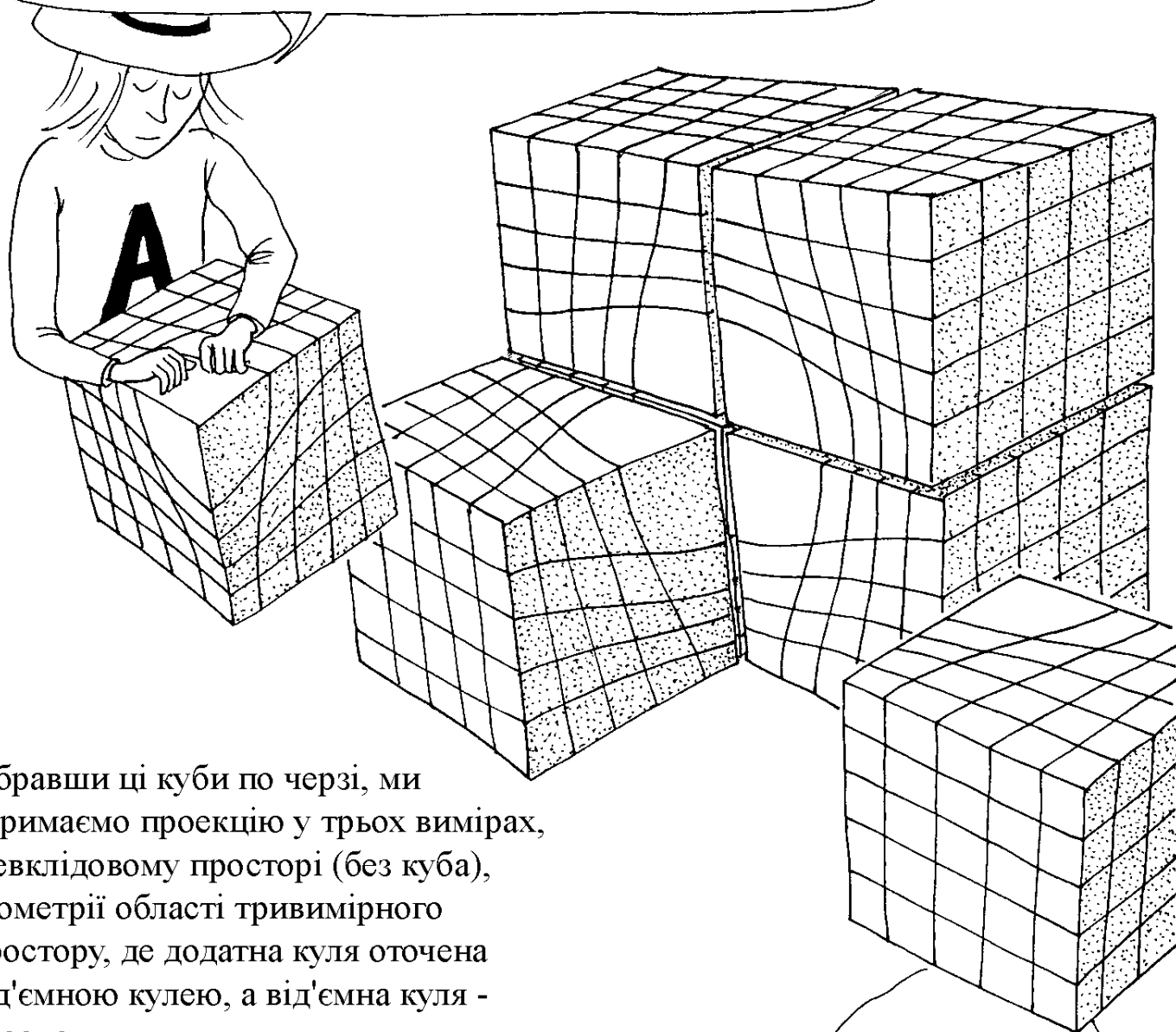
Давайте подивимося, я бачив, що можна проектувати геодезію з (двовимірної) поверхні на (двовимірну) площину.

Ця «шишка» відповідає концентрації позитивної кривизни, оточеної ореолом негативної кривизни.

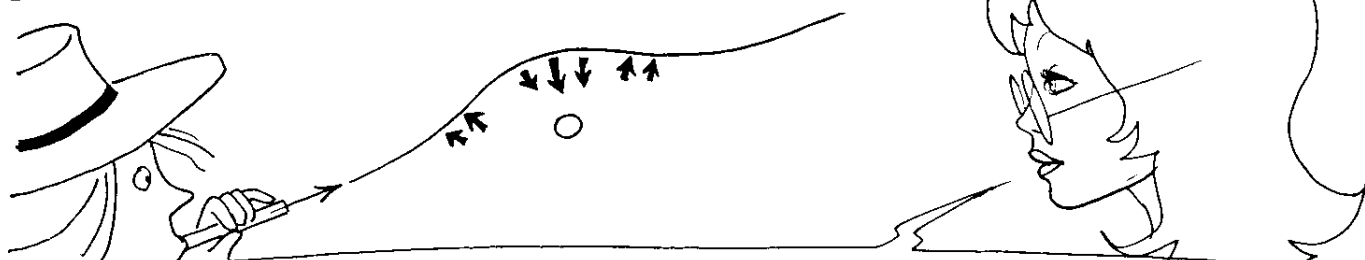
А тепер подивіться на цей кубик, перев'язаний ниткою.



Я посуну шнурок набік, ось так.

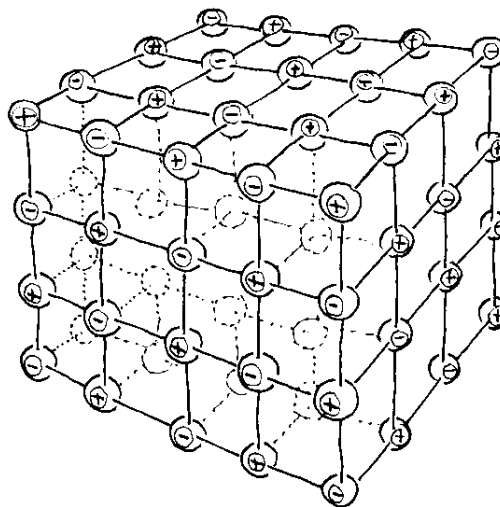
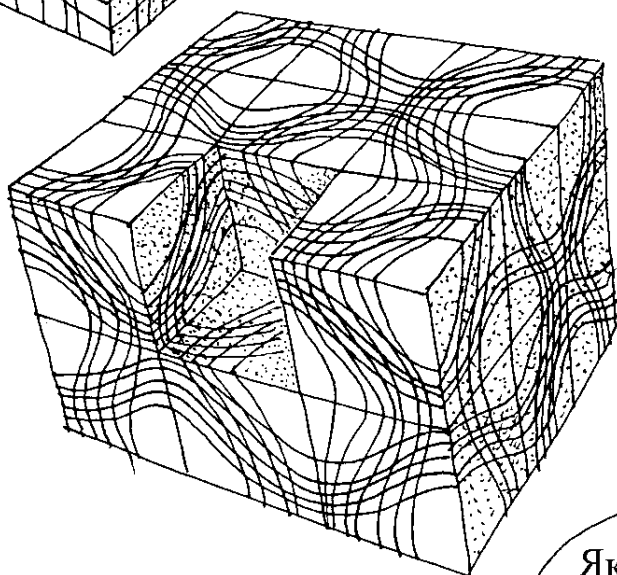
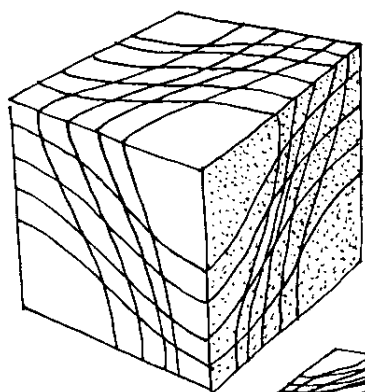


Зібравши ці куби по черзі, ми отримаємо проекцію у трьох вимірах, в евклідовому просторі (без куба), геометрії області тривимірного простору, де додатна куля оточена від'ємною кулею, а від'ємна куля - ореолом.

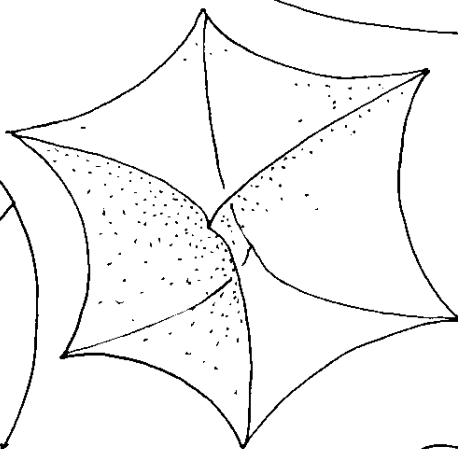
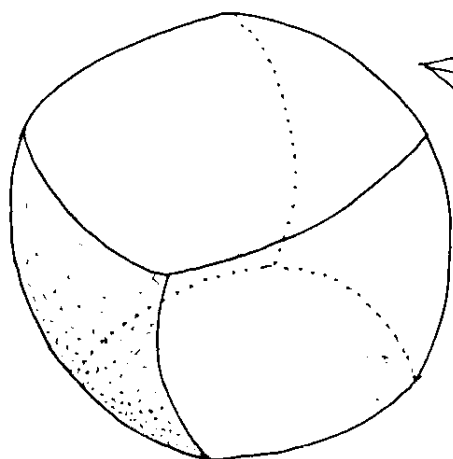


Якщо ви розглядаєте ці гедезики як ТРАЄКТОРІЇ рухомої частинки, здається, що вона спочатку зазнає відштовхування, потім притягання, а потім знову відштовхування.

Пересуваючи нитки таким чином і з'єднуючи велику кількість кубиків, ви можете виробляти образ світу, населеного областями як позитивної, так і негативної кривини:



Якщо придивитися уважніше, це деформації, що впливають на КУБИ, що заповнюють тривимірний простір

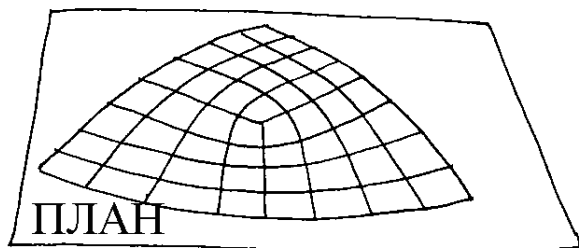
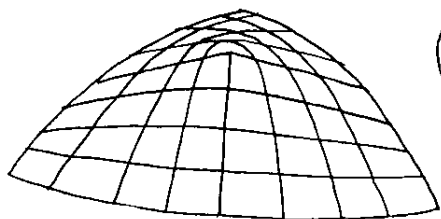


Дуже цікаво, що можна скласти всі ці дивні кубики і все одно заповнити простір.

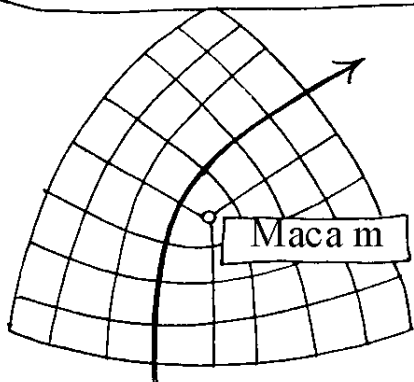


ПРОЕКТИ

Я можу проектувати геодезичні конуса на площину.



Знаєте, ці рядки нагадують мені ТРАЄКТОРІЇ частинок.



точно!

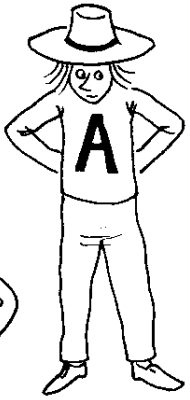
Основна ідея ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ полягає в уподібненні МАСИ локальним змінам кривизни простору.

Ви маєте на увазі, що маса є кутом?!?

Хі Хі! Покладіть мені $\pi/8$



Так, якщо ви вимірюєте масу як певну концентровану кривизну.



Дозвольте мені перевірити, чи я все правильно зрозумів, пане Альберте. Ви кажете, що вигини траєкторій, викликані СИЛАМИ, насправді є лише ефектом ПРОЕКЦІЇ, у наш звичайний світ, геодезичної траєкторії на якусь іншу поверхню.

Ще більше метафізики !

Ні, просто геометрія.


Наведу тобі приклад. Уявіть собі, що ви перебуваєте в космічній капсулі, на орбіті навколо Землі.

Нічого собі! Ми стали невагомими!

О ні!

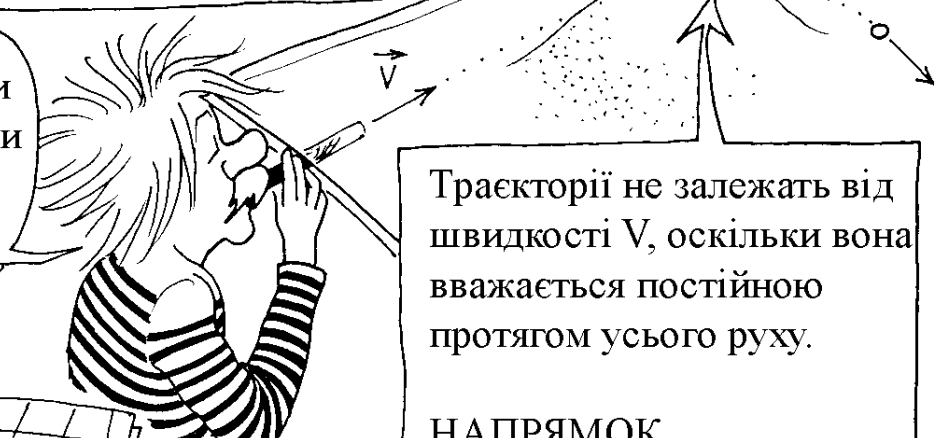
Мі!

Тепер ми можемо пограти в досить незвичайний вид БІЛЬЯРДУ,



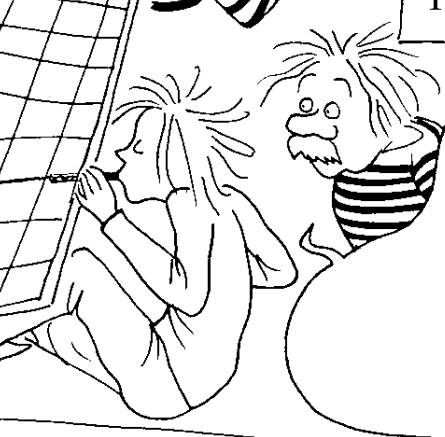
Наскільки я можу судити, ця річ, здається, побудована з двох прозорих поверхонь, з безліччю складок і вм'ятин, обидві абсолютно однакові і лежать паралельно одна одній.

Це дозволяє мені знімати крихітні кульки між ними і спостерігати їхні траєкторії.

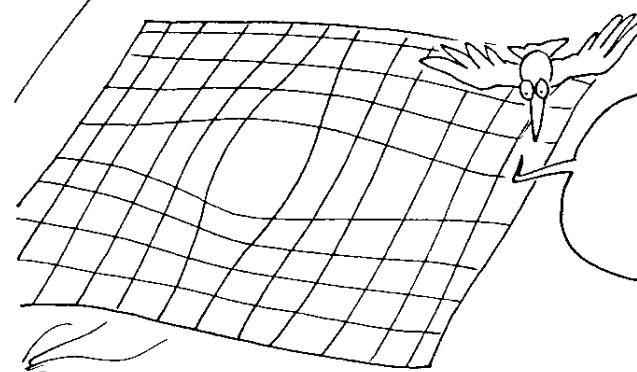


Траєкторії не залежать від швидкості V , оскільки вона вважається постійною протягом усього руху.


НАПРЯМОК



У цьому випадку впливає, що всі можливі траєкторії є **ГЕОДЕЗИЧНИМИ**. (Якби ми не були невагомими, цього не було б).



О, подивіться: лампа проектує траєкторії на підлогу нашої капсули!



Той, хто бачить лише тіні, може подумати, що на об'єкти, які рухаються в площині, впливає **ПОЛЕ СИЛ**. Але насправді це все через кривизну поверхні.

Отже, коли я спостерігаю траєкторію комети навколо Сонця, припускаючи, що вона знаходиться в евклідовому тривимірному просторі без кривизни, насправді ця комета слідує за ГЕОДЕЗИЧНОЮ певного простору, в якому... ..вона рухається ПРЯМО!!!

Ми бачимо лише тіні реальності.

Те, що ти кажеш, є дуже платонічним, мій дорогий Тіресію

Ми можемо йти тільки ПРЯМО!

СВІТЛО також слідує за ГЕОДЕЗИЧНОЮ

Ну, це смішно, геодезики, коли ви проектуєте їх під іншим кутом, Зовсім не виглядай так!

?!?

Тіресій!

Добре, добре!

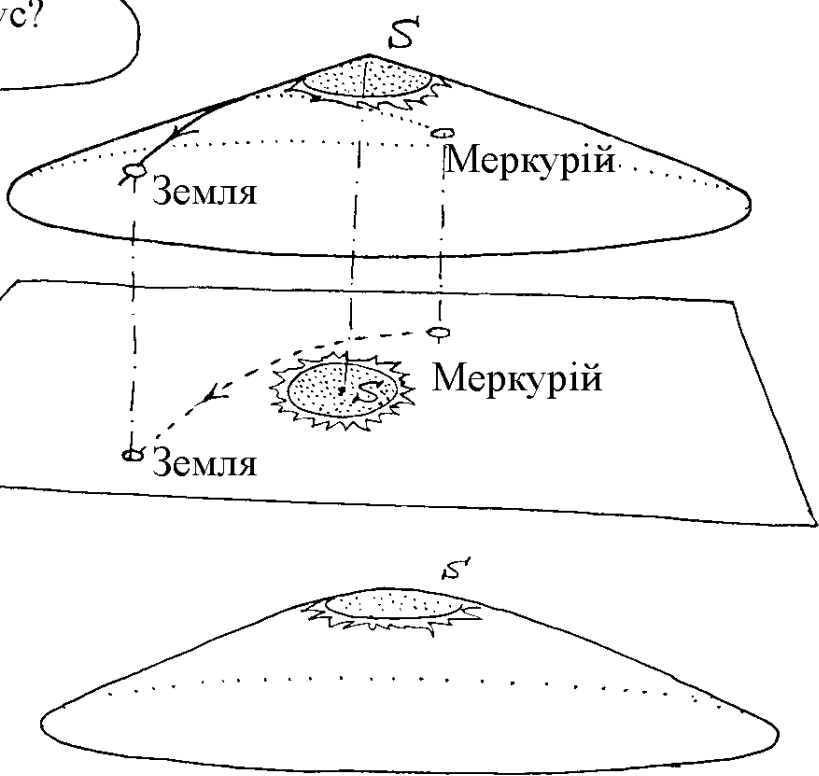


МАСА І РЕЧОВИНА

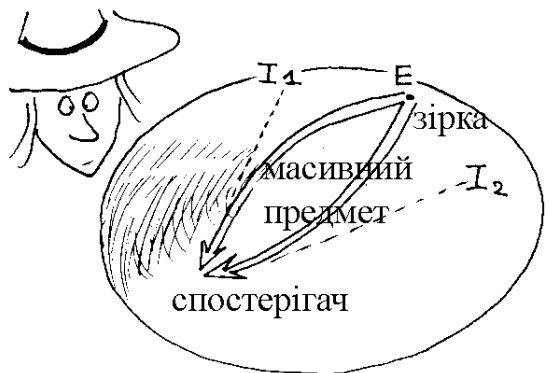
Але тоді Сонце — це... конус?



Ми знаємо, що Сонце відхиляє світлові промені, що йдуть від Меркурія



Зазвичай ми вважаємо простір біля сонця ПЛОСКИМ. Але насправді через свою велику масу, ця зірка має певну кривизну. Але оскільки маса Сонця не є такою зосереджено в точці, ми повинні представити цю область простору за допомогою тупого конуса:



Дуже масивні об'єкти можуть викривляти простір до такої міри, що спостерігач може бачити два зображення I_1 і I_2 однієї зірки E . Цей ефект, відомий як ГРАВІТАЦІЙНА ЛІНЗА, нещодавно спостерігався у світлі квазарів.

Маси атомів, частинок складають загальну кривизну Всесвіту.

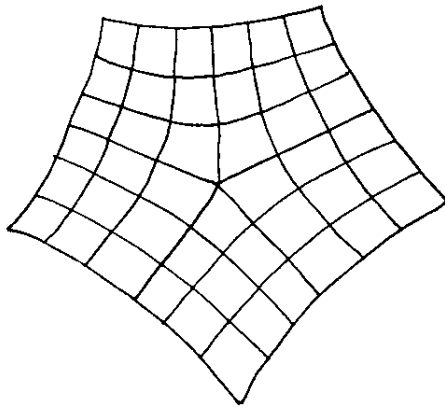
МАСА має **ГЕОМЕТРИЧНЕ** значення

але між атомами справді є...
ПОРОЖНЯ?

а то я нічого не розумію...

але ні, любий друже, ця стара опозиція між матерією та порожнечою є повністю застарілою; там тільки геометрія...

Більше ніж геометрія!?!

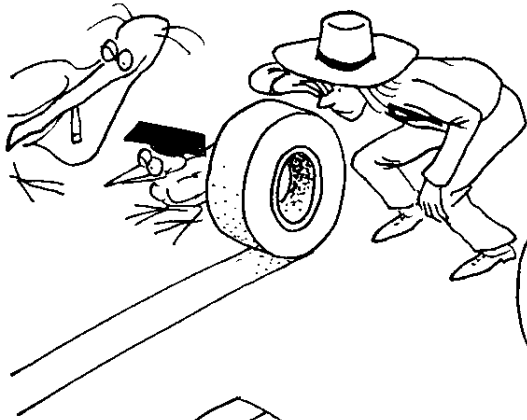


Вони викликають «негативні маси», породжуючи сили відштовхування. Наповнений всесвіт негативних мас було б дуже дивно. Замість того, щоб породжувати галактики, зірки, це буде заповнений бульбашками, великими пустотами: Таким чином, здається, розподілені скупчення галактик, які утворюють дивну клітинну тканину, кожна клітина має приблизно 200 мільйонів світлових років на стороні.

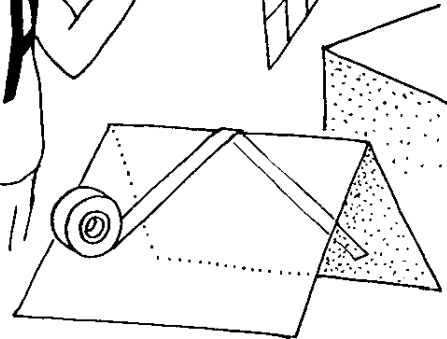
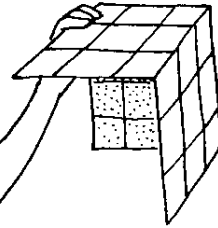
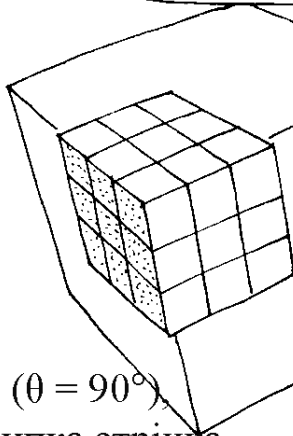
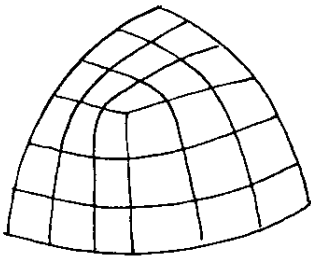


Тоді сили тяжіння можуть виявитися відштовхуючими на дуже великих відстанях.

ПОЛІЕДРИ

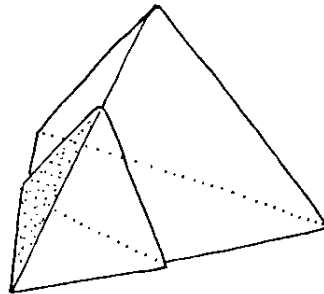
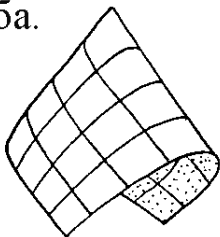
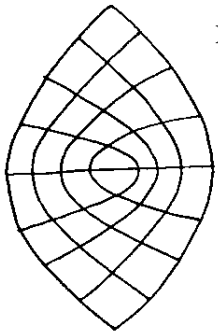


А тепер, Арчі: пам'ятаєш, що можна створити геодезичну лінію на поверхні за допомогою липкої стрічки? що станеться, якщо зігнути поверхню?

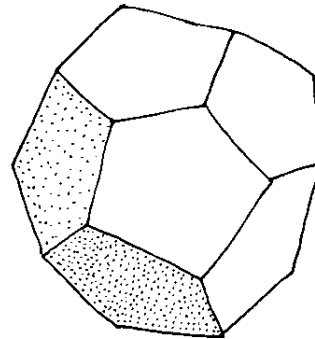
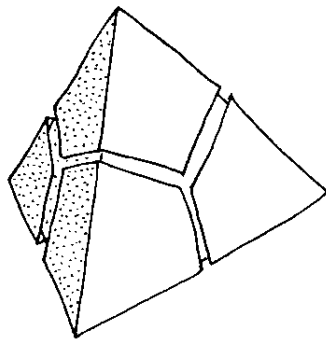
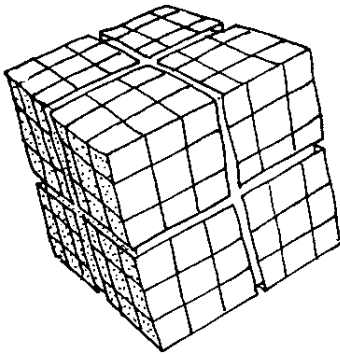


Якщо зігнути цей конус ($\theta = 90^\circ$), геодезичні не зміняться. (липка стрічка просто згинається разом із поверхнею.)

Насправді ви можете скласти її так, щоб вона ідеально прилягала до кута куба.



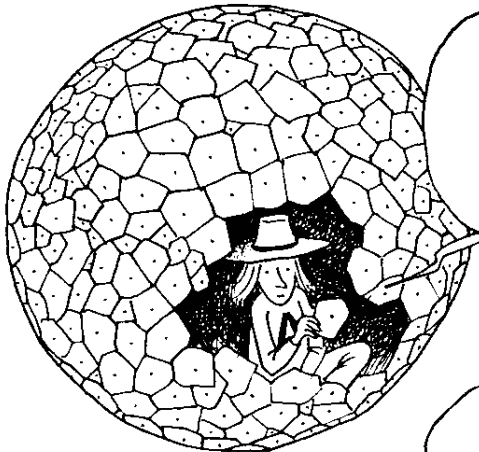
Подібним чином ви можете зробити три складки на цьому конусі ($\theta = 180^\circ$), щоб він з'єднався з вершиною правильного тетраедра.



Вісім конусів
($\theta = 90^\circ$) дозволяють
виготовити КУБ
 $90 \times 8 = 720^\circ$

Чотири конуса
($\theta = 180^\circ$) дозволяють
зробити ТЕТРАЕДР
 $180 \times 4 = 720^\circ$

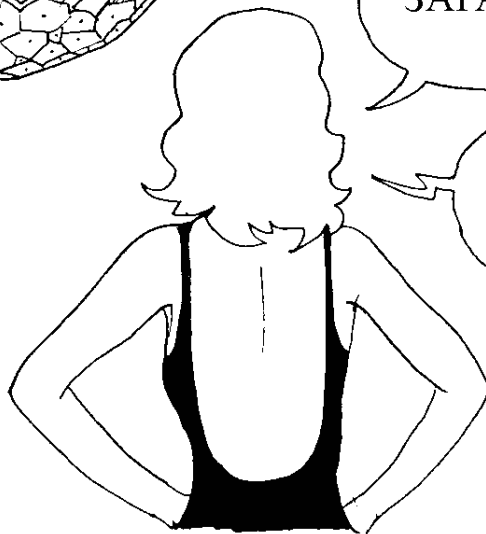
Двадцять конусів
($\theta = 36^\circ$) дозволяють
виготовити
ДОДЕКАЕДР
 $36 \times 20 = 720^\circ$



Збираючи якомога регулярніше кількість N
мікроконусів під кутом θ ,
Зауважу, що коли $N \times \theta = 720^\circ$, я отримую ...
сферу!

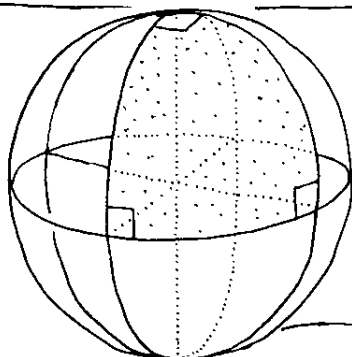
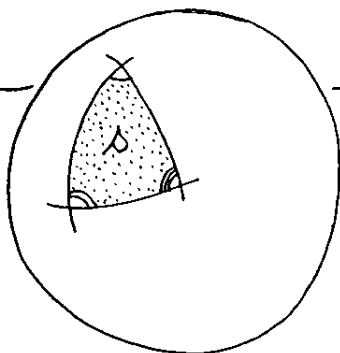
Це нормально, оскільки
ЗАГАЛЬНА КРИВИНА кулі
становить 720°

А тепер забирайся
звідси, моя люба



На сфері кривизна рівномірно розподілена. Отже, сума кутів трикутника, накресленого на сфері, дорівнює $180^\circ + 720^\circ \times s/S$, де s — площа трикутника і S сфери. Другий член: $720 \times s/S$ представляє КІЛЬКІСТЬ КРИВИНИ, що міститься в трикутнику.

Напрямок (*)

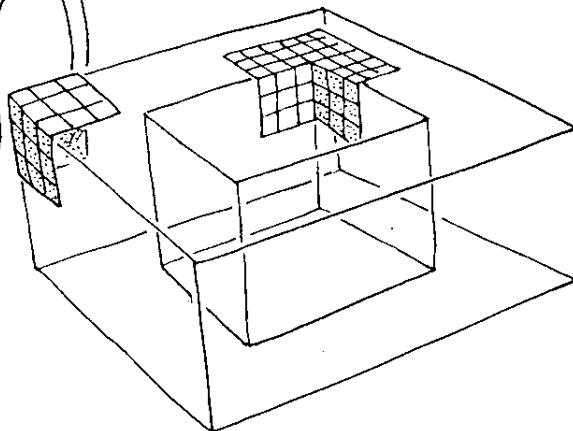


Фантастика!...

З аналогічних причин, якщо середня щільність у нашому тривимірному просторі (тобто величина кривизни на одиницю об'єму) перевищує 10^{-29} грам/см³, цей простір ЗАКРИЄТЬСЯ сам на собі.

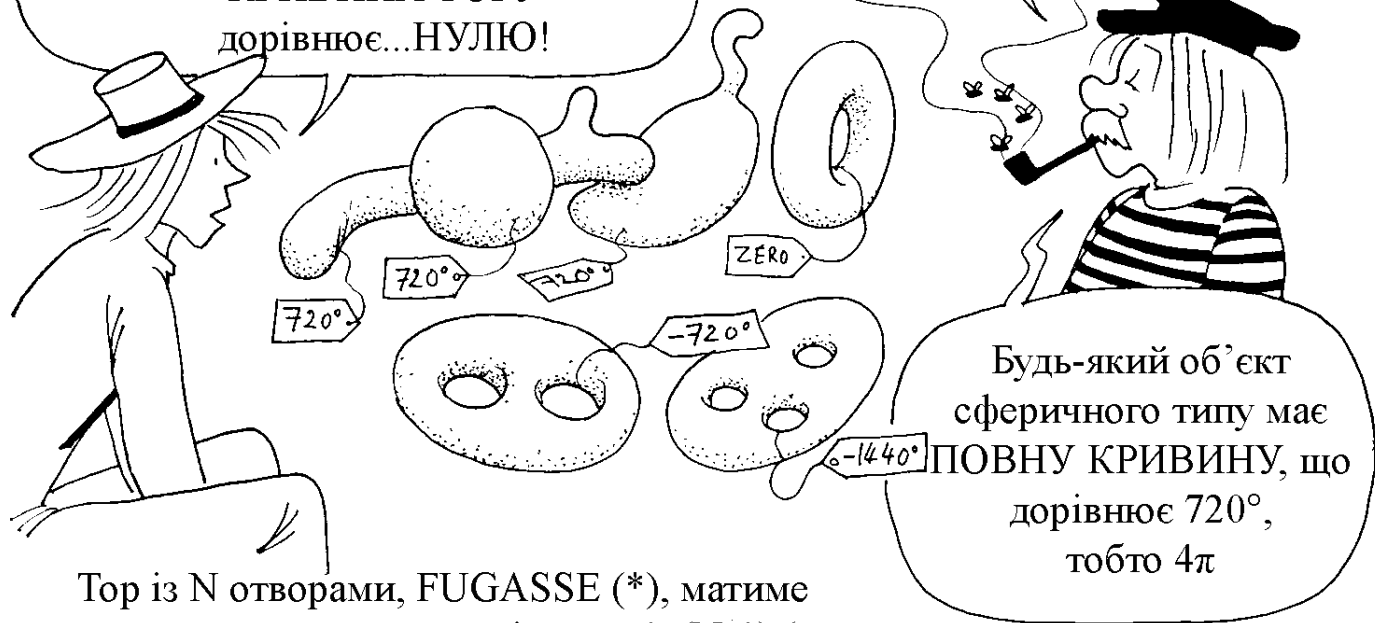
Містере Альберте, скажіть мені, яка загальна кривизна?

Дуже просто, Ансельме, вам просто потрібно представити це так: вісім позиконів ($\theta = +90^\circ$) і вісім негаконів ($\theta = -90^\circ$)



Сума шістнадцяти кутів - шістнадцяти кривизн - дорівнює нулю. Таким чином, ПОВНА КРИВИНА ТОРУ дорівнює...НУЛЮ!

Так, так.



Будь-який об'єкт сферичного типу має ПОВНУ КРИВИНУ, що дорівнює 720° , тобто 4π

Тор із N отворами, FUGASSE (*), матиме загальну кривизну, що дорівнює $-4\pi(N-1)$ (ми віднімаємо 4π для кожного отвору).

І якщо зробити замкнутий сам на себе об'єкт у формі багатогранника, підсумовуючи всі кривизни, зосереджені в його вершинах, то доведеться знайти його повну кривизну.

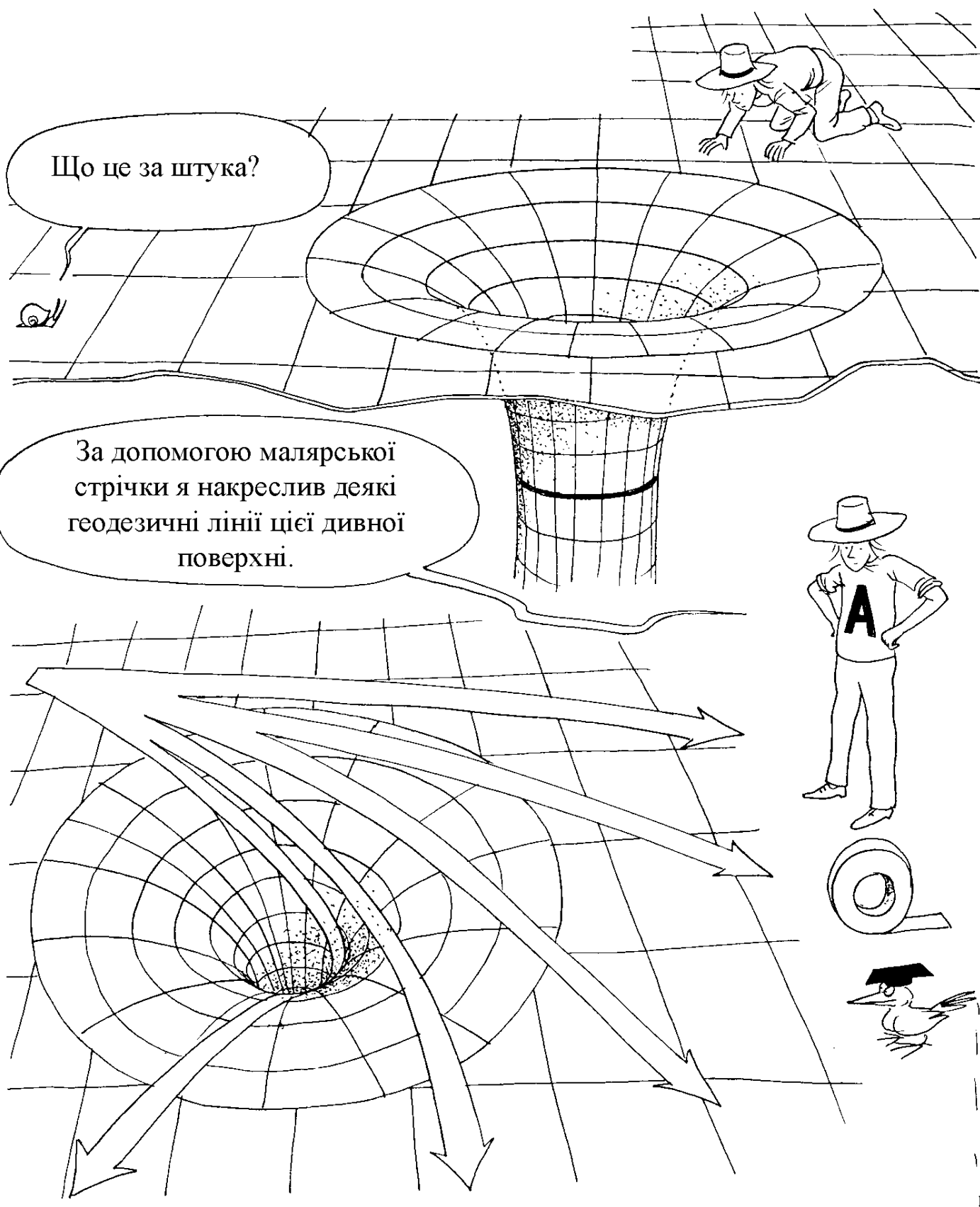
Тиресій, що ти робиш, старий?



Я шукаю свою повну кривизну

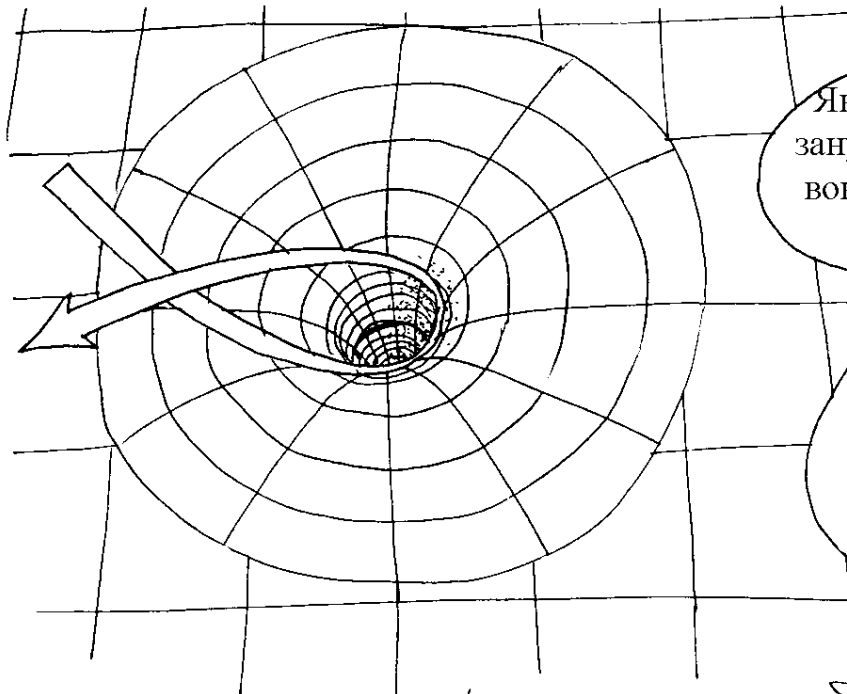
(* FUGASSE - це вид хліба, який виготовляють на півдні Франції, де живе автор.

ПЕРШЕ НАБЛИЖЕННЯ ДО ЧОРНОЇ ДІРИ

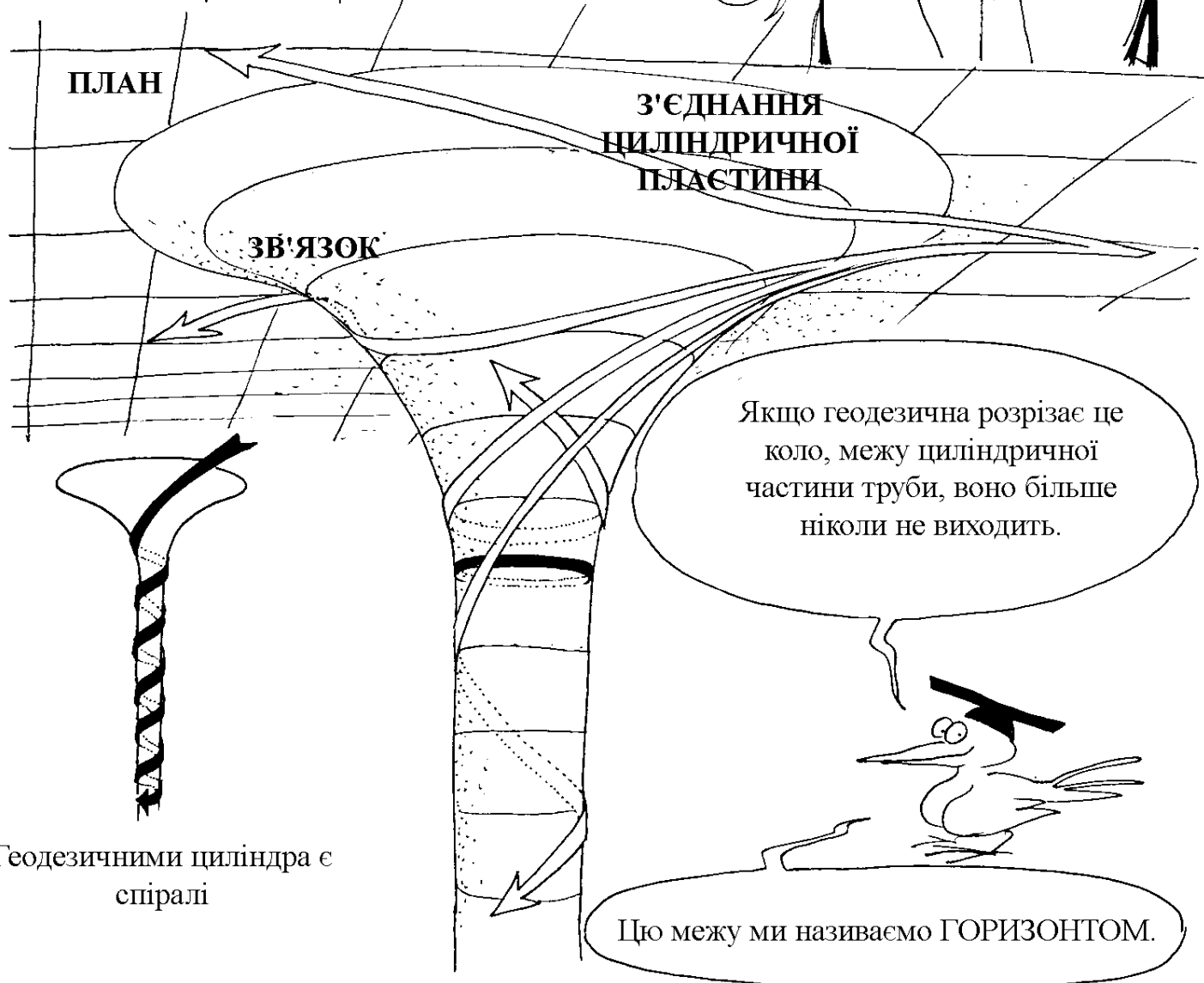
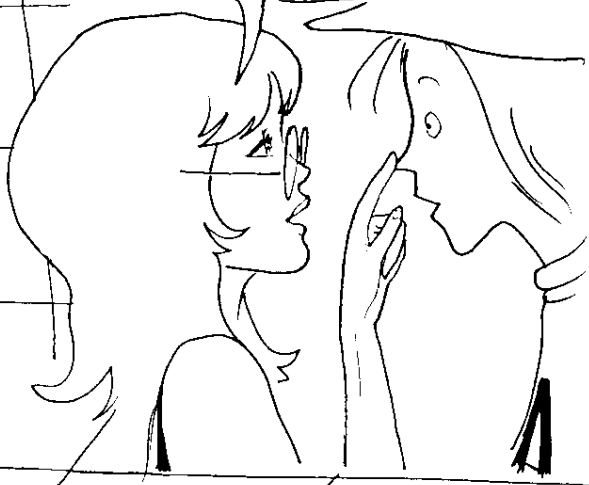


Що це за штука?

За допомогою малярської стрічки я накреслив деякі геодезичні лінії цієї дивної поверхні.



Якщо геодезична досить глибоко занурюється в свердловину, то коли вона знову виходить, то перетинає сама себе.

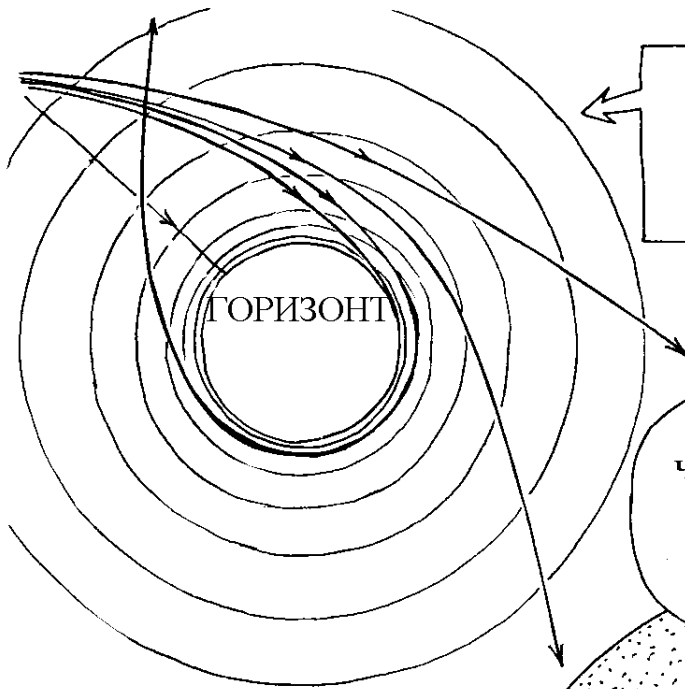


Якщо геодезична розрізає це коло, межу циліндричної частини труби, воно більше ніколи не виходить.



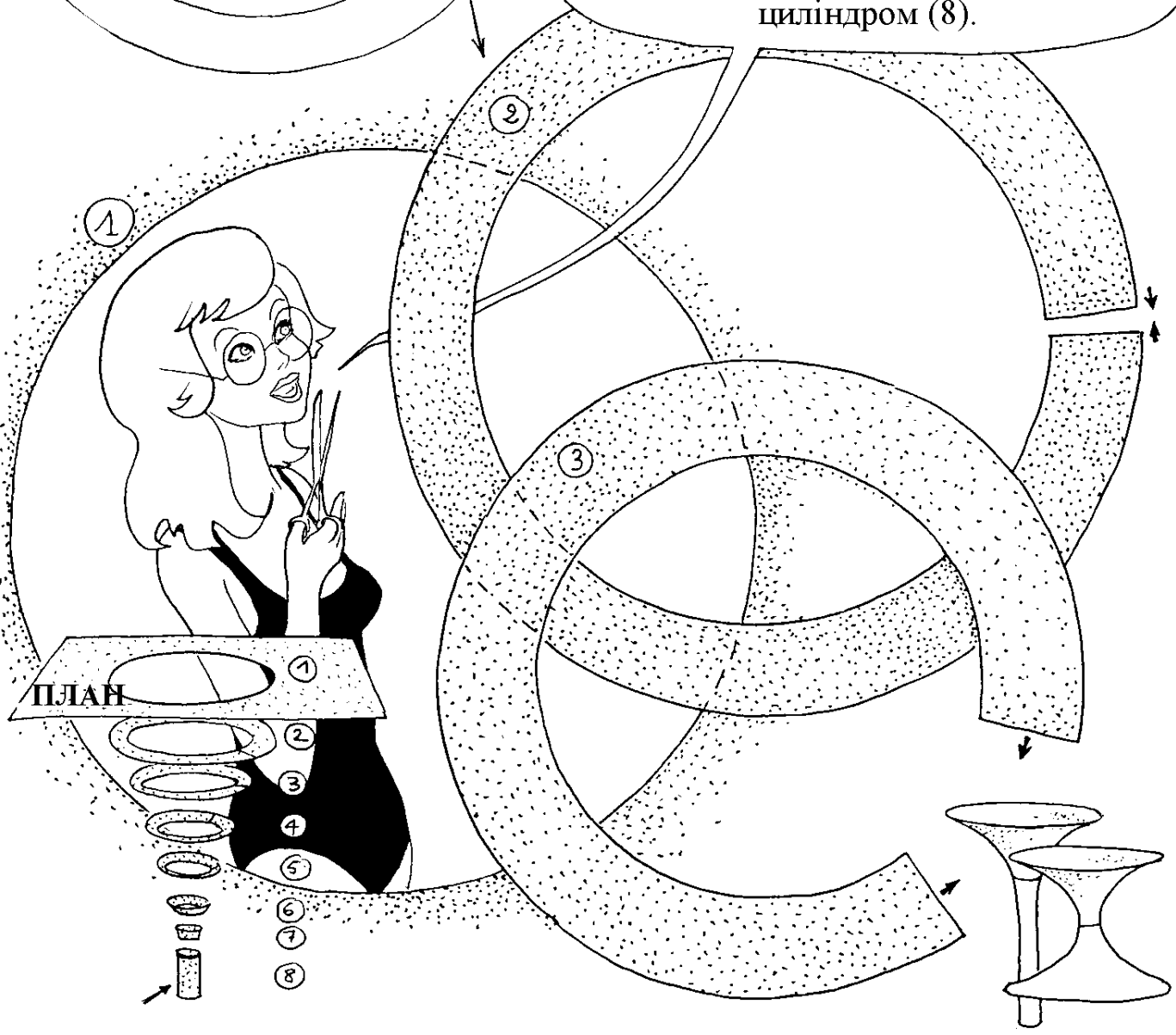
Цю межу ми називаємо ГОРИЗОНТОМ.

Геодезичними циліндра є спіралі



Кожен, хто думав, що він живе в ПЛОСКОМУ світі, подумав би про траєкторії ось так.

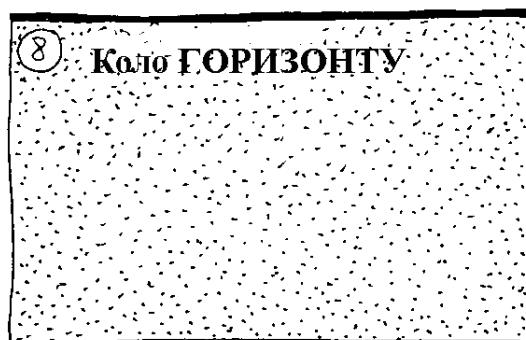
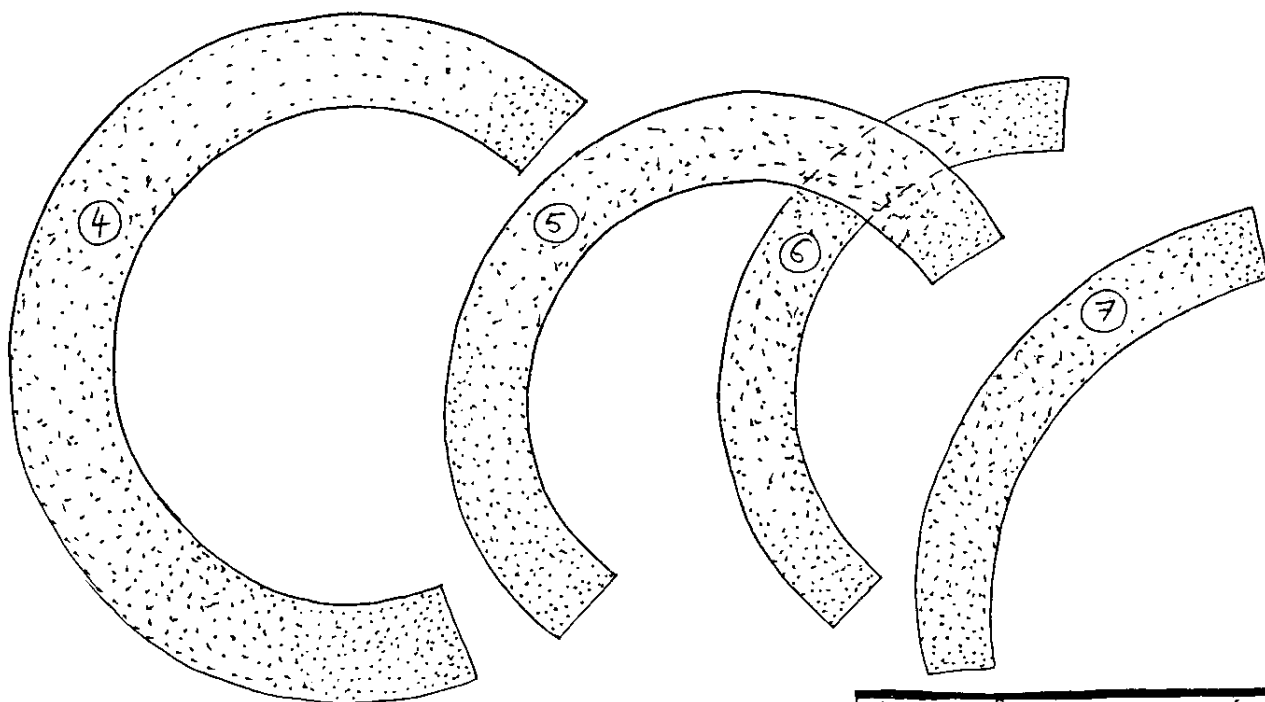
Ви можете зробити свою власну чорну діру, використовуючи площину з отвором у ній (1), шість усічених конусів (з'єднаних краєм до краю та циліндром (8).



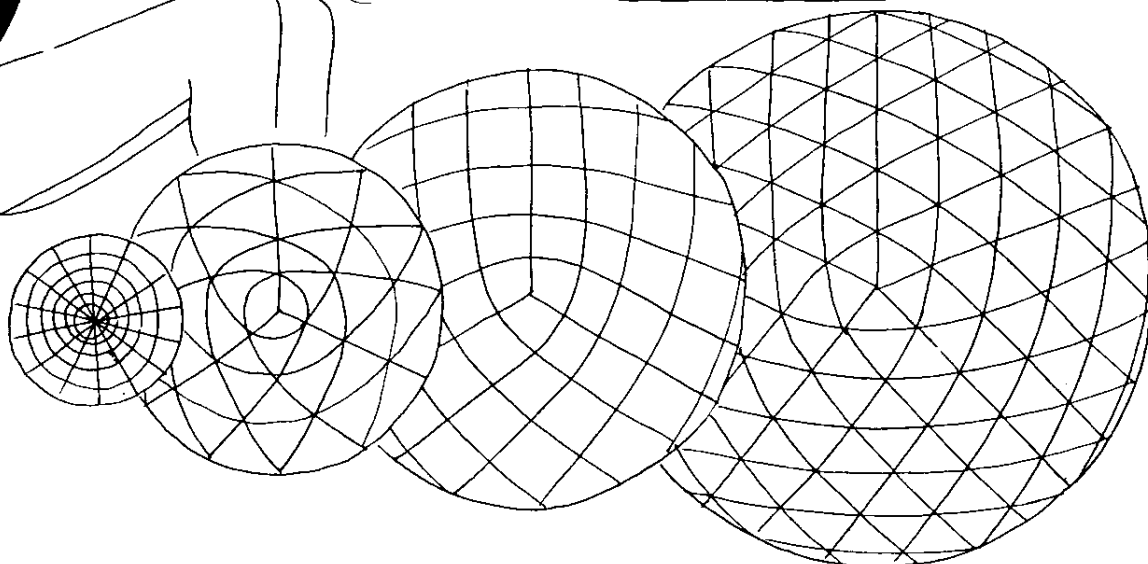
ПЛАН

циліндр

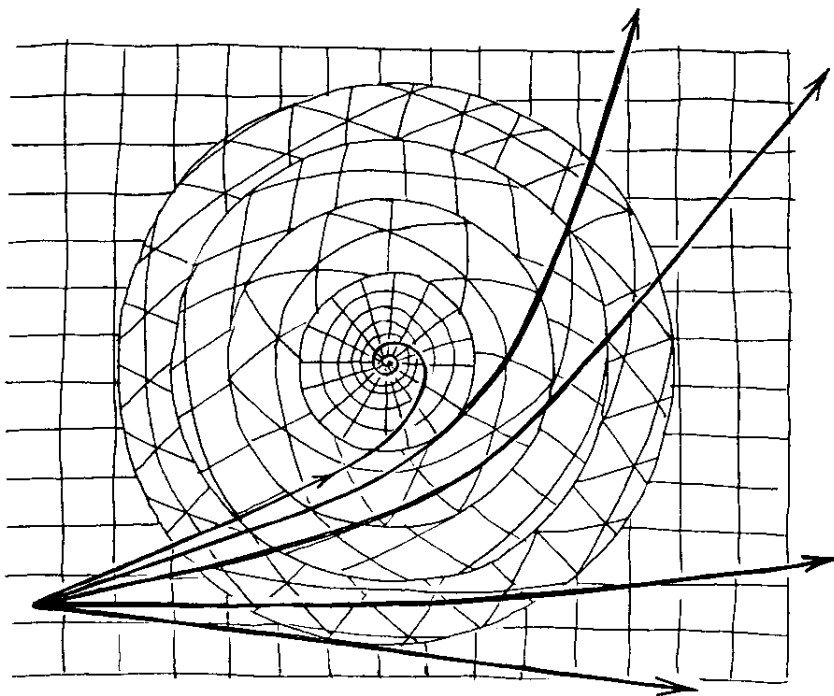
ВАРІАНТИ



Ось інший спосіб зображення ЧОРНОЇ ДІРИ за допомогою сітки.



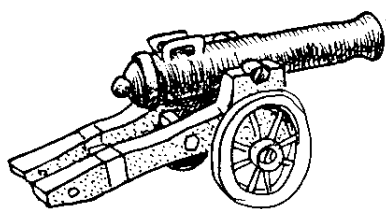
Ми взяли звичайні сітки лише з цих естетичних міркувань.



Правила гри: ви повинні малювати лінії, які розрізають кожну сітку під фіксованим кутом, зберігаючи послідовність і безперервність у кожному граничному колі, де сітки з'єднуються. Чим ближче ви підходите до чорної діри, тим сильніше буде здаватися її тяжіння. У межах КОЛО ГОРИЗОНТУ траєкторія буде згортатися по спіралі. Зверніть увагу, що центральну сітку, яка має форму стовпа, можна отримати з сітки геодезичних на циліндрі, якщо дивитися в перспективі.

Увага! У вашій справі щось не так від А до Я!

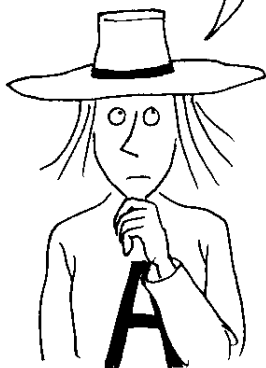
Ви заміните маси кривизною, а траєкторії геодезичними.
Але як щодо ПОЧАТКОВОЇ ШВИДКОСТІ?



Траєкторія об'єкта в силовому полі, створюваному однією або кількома масами, залежить від його початкової швидкості V_0 .

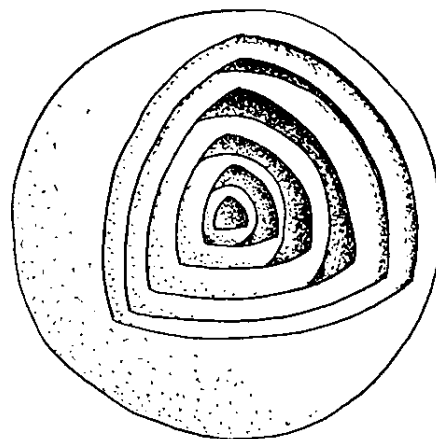
Наприклад: гарматні ядра в полі тяжіння

Отже, на більш ранніх малюнках відповідало те чи інше значення початкової швидкості V_0 ?



У ДАЙВІНГУ

Уявіть собі світ, побудований як цибуля, тобто шарами концентричними. (*)

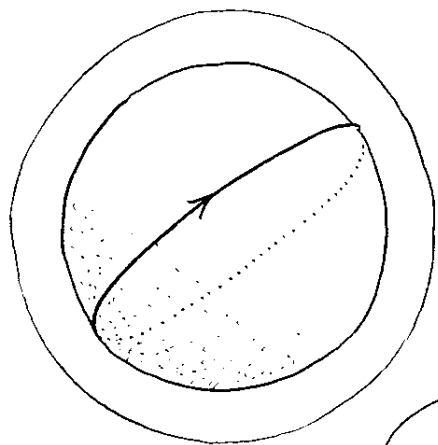


Кожен шар відповідає інтенсивності V швидкості. І чим швидше ти йдеш, тим глибше ти йдеш.

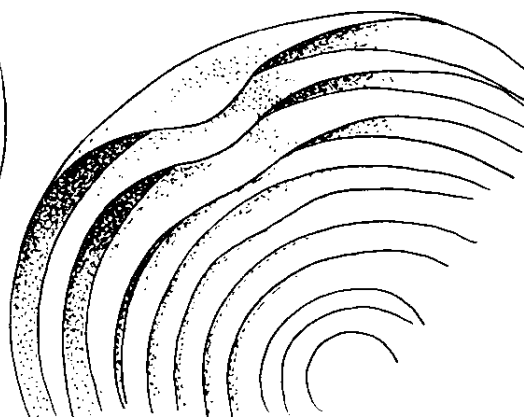
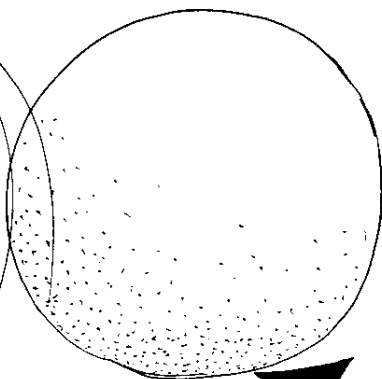
Зі швидкістю світла ви досягаєте середини цибулі.

(*) Ця модель вже була представлена в УСЕ ВІДНОСНО під назвою КОСМІЧНИЙ ПАРК (той же автор, видання BELIN)

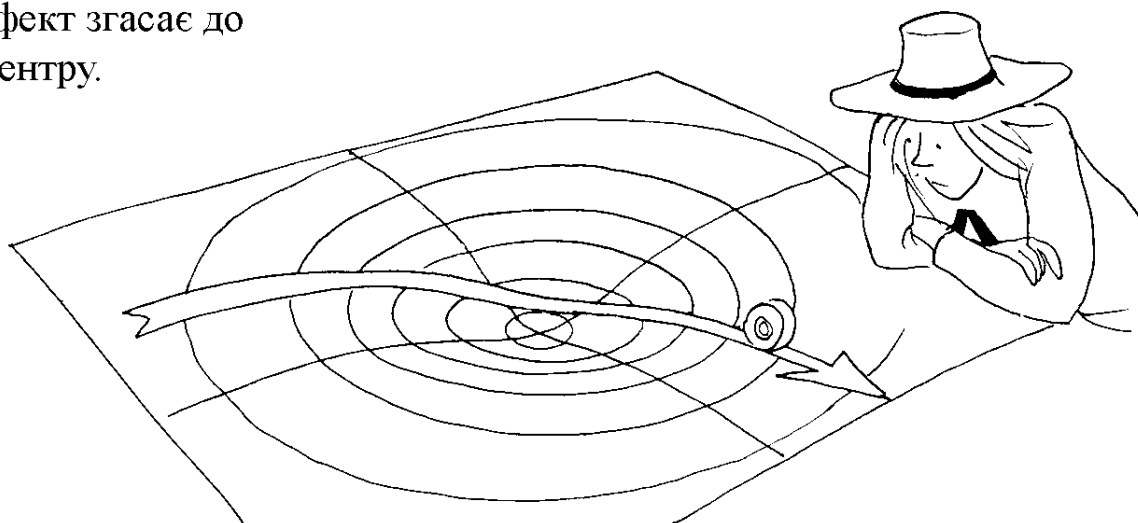
За відсутності СИЛ об'єкт зберігає свою швидкість V (тому залишається на тій самій відстані від центру цибулі). Він описує ГЕОДЕЗИЧНУ відповідної СФЕРИ, тобто ВЕЛИКЕ КОЛО.



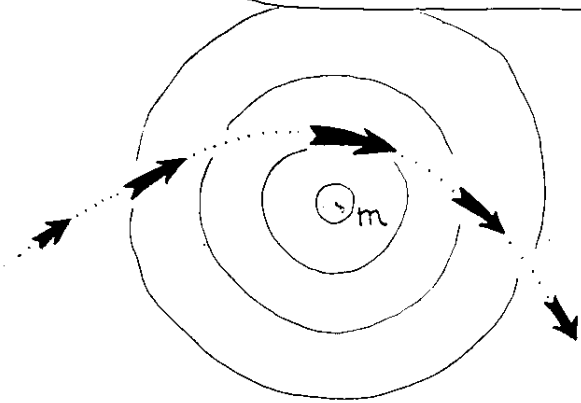
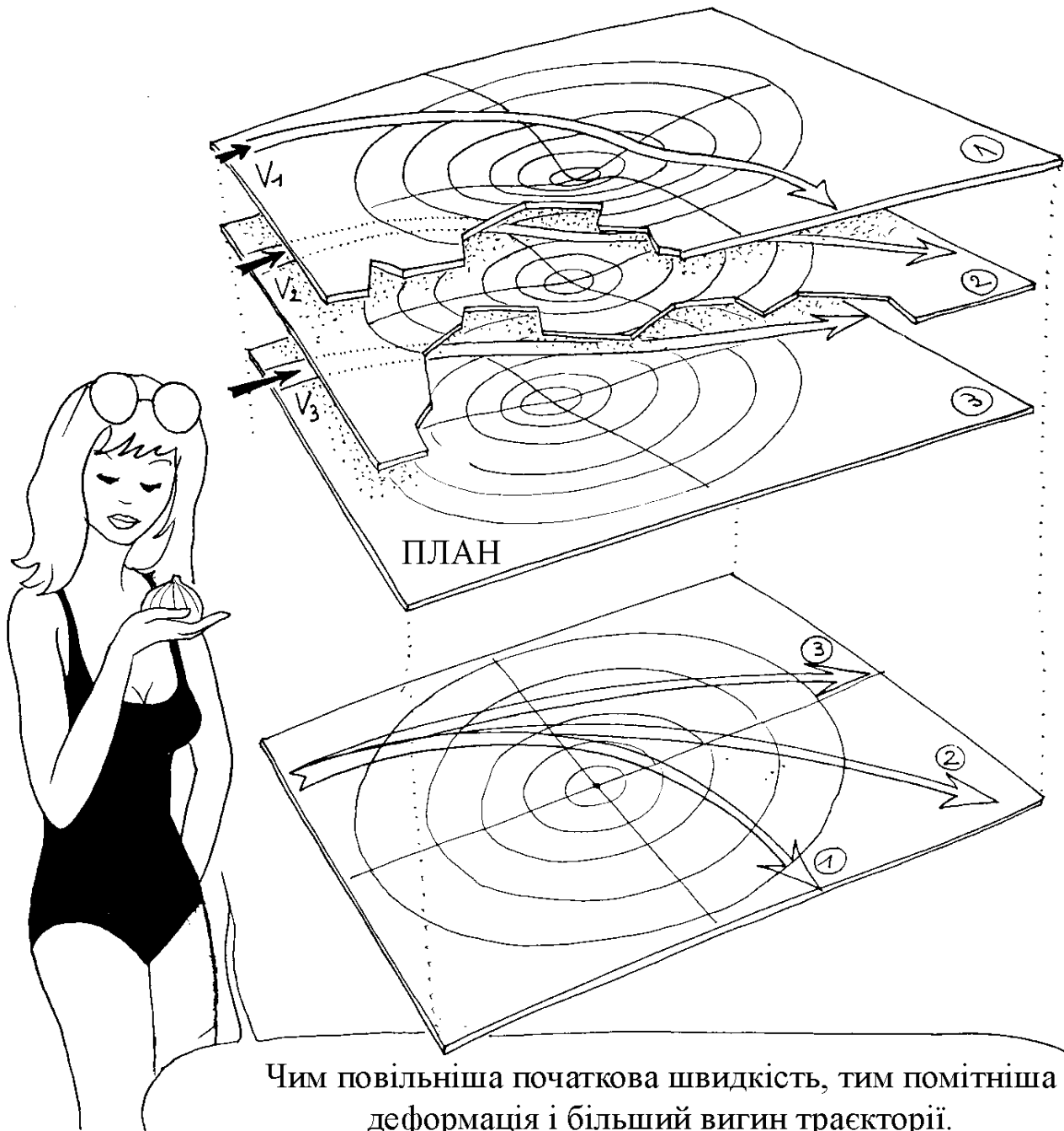
А тепер подивіться добре!



Ось результат удару пана Альберта молотком. Як бачите, ефект згасає до центру.



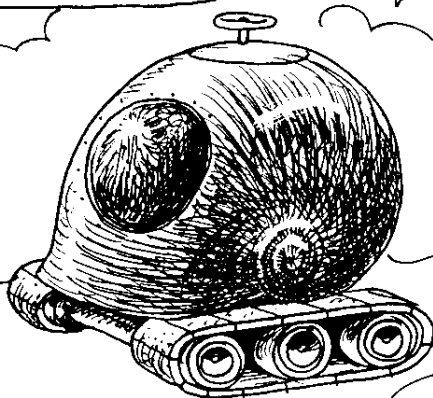
Ось дупло (або горбок, все одно ...). Ми показали лінії рівня (які НЕ є геодезичними!) і окрему геодезичну.



Під дією гравітаційного притягання швидкість тіла спочатку збільшується, потім зменшується. Він найбільший, коли відстань між об'єктом і масою, що притягує, найменша. Астрономи називають це положення перигелієм.

Що це за пристрій?

Це
ХРОНОСКАФ



Це дозволяє слідкувати за
геодезичними лініями
космічного парку

Але навіщо замикатися
в хроноскафі?

Весь Космічний парк
купається в рідині:
CHRONOL

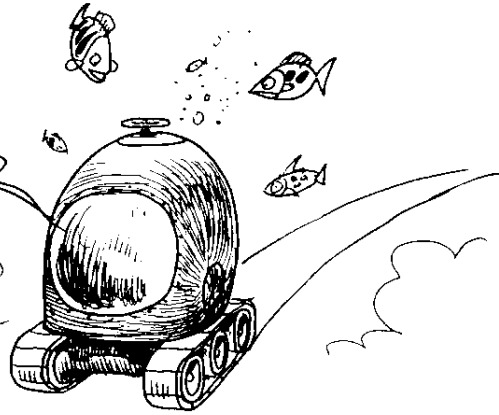
Мене туди ніколи
не візьмуть!

Шлях, яким йде
ХРОНОСКАФ,
називається ДОЛЯ

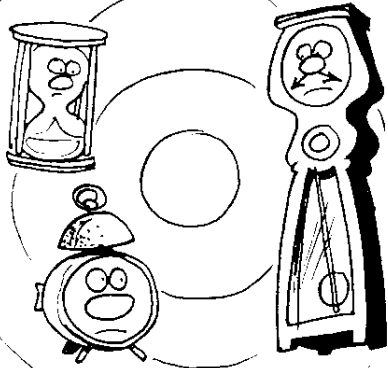


(*) СЕРВІС Примітка: ДРУГИЙ ПРИНЦИП говорить нам, що його неможливо дотримуватися геодезичних простору-часу (COSMIC PARK) проти зерна.
Напрямок

Оскільки тиск PR перевищує PE , хронол закінчується, і витратомір показує проходження часу.



Чим глибше ви опускаєтеся в хронол, тим більше зростає тиск PE . Оскільки швидкість течії пропорційна $(PR - PE)$, різниці тиску, час тече повільніше на більшій глибині.



А глибина - ЦЕ швидкість.
Отже, чим швидше ми йдемо, тим менше часу проходить (*)

А зі швидкістю світла PE точно дорівнює PR , і час зупиняється.



І ви не можете подорожувати швидше за світло, тому що ви не можете зайти глибше центру Космічного парку.

Поверхня космічного парку – нерухомість, спокій.

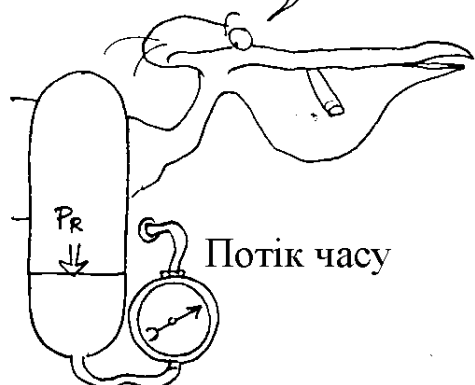
Саме залишаючись
нерухомими, ми найбільше
старіємо!



Дуже масивне тіло створює велику кривизну простору-часу. Це означає, що будь-який предмет поблизу, навіть той, що знаходиться в спокої, занурюється в **CHRONOL** під більш високим тиском. Отже, для нього час тече повільніше, ніж для об'єкта, що перебуває в спокої, але далеко від будь-якої маси. Таке уповільнення часу відбувається, наприклад, поблизу надщільного об'єкта, такого як **НЕЙТРОННА ЗІРКА**.

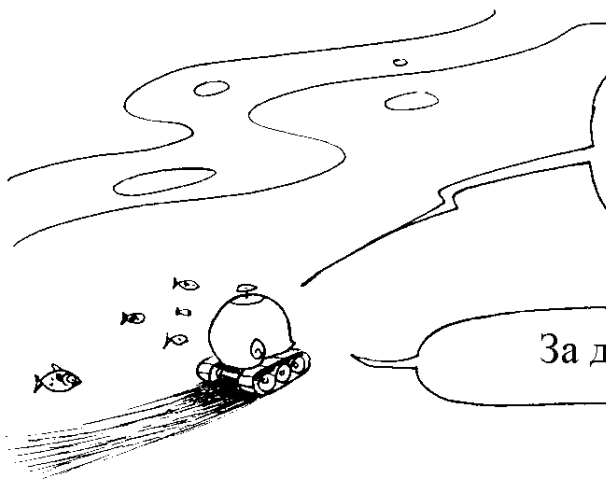
Що станеться, якщо ми
різко вийдемо з
хроноскофа?

Ймовірно, він отримує
раптовий напад
старості.



І коли весь хронол закінчиться,
це ... смерть?

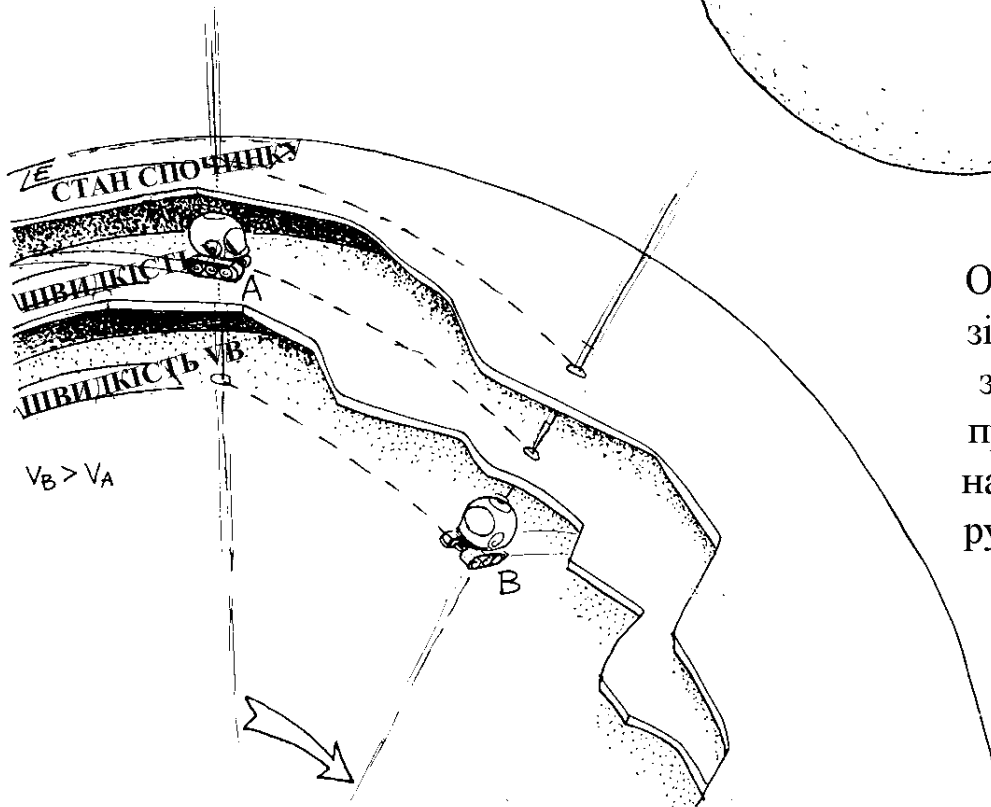
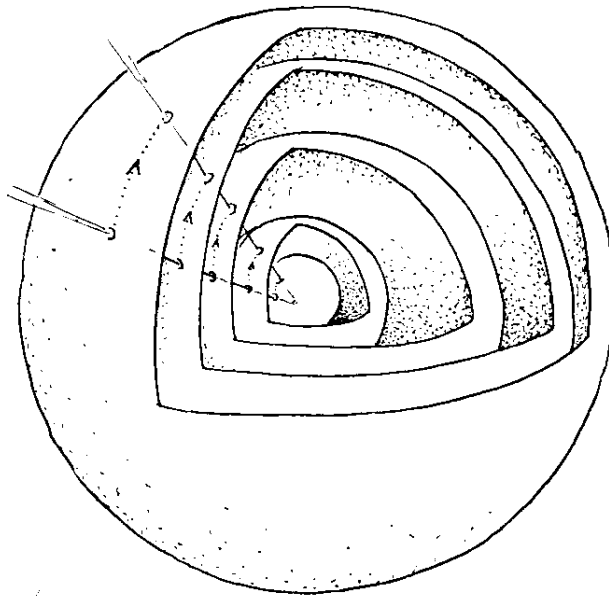
СПІЛКУВАННЯ



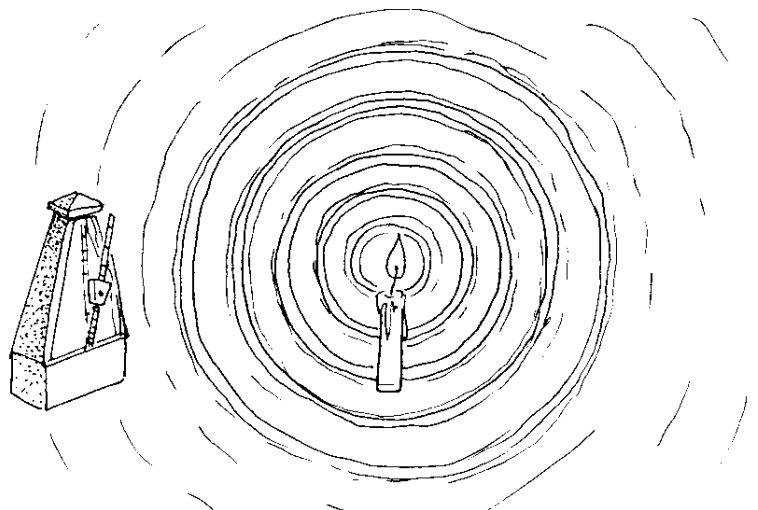
Отже, ми замкнені в цих хроноскафах. Але як ми можемо спілкуватися?

За допомогою ФОТОНІВ.

Фотони – крихітні кількості світла – поведуться так само, як промінь прожектора, що пронизує всі шари Космічного парку. При постійній кутовій швидкості.

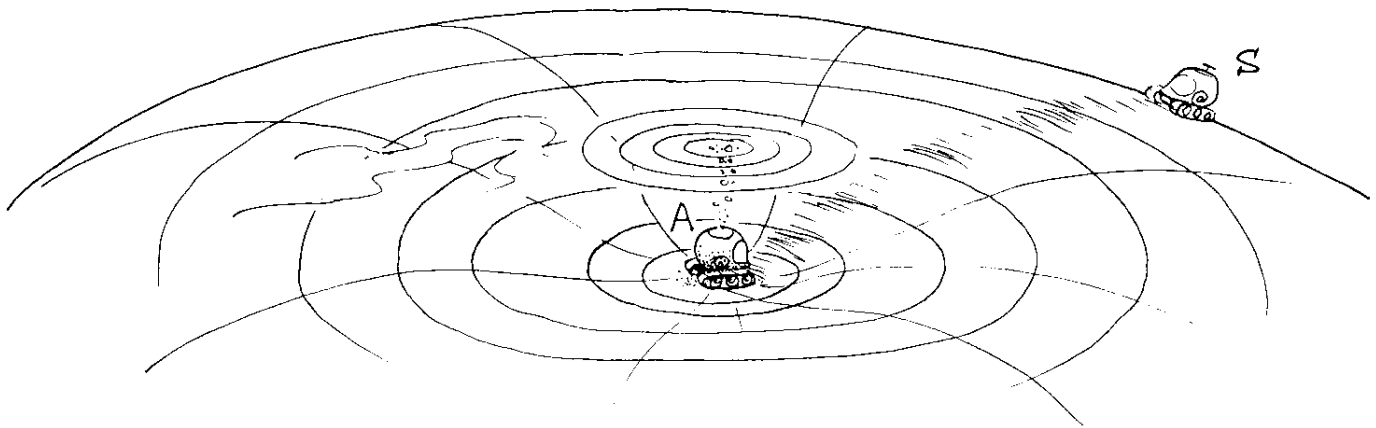


Об'єкт А, що рухається зі швидкістю V_A , може запустити один із цих променів прожектора в напрямку об'єкта В, що рухається зі швидкістю V_B .



← **Низькочастотний** **Високочастотний** →
 ІНФРАЧЕРВОНИЙ ОРАНЖЕВИЙ ЖОВТИЙ ЗЕЛЕНИЙ СИНІЙ ФІОЛЕТОВИЙ
 УЛЬТРАФІОЛЕТОВИЙ

І колір визначається
цією частотою

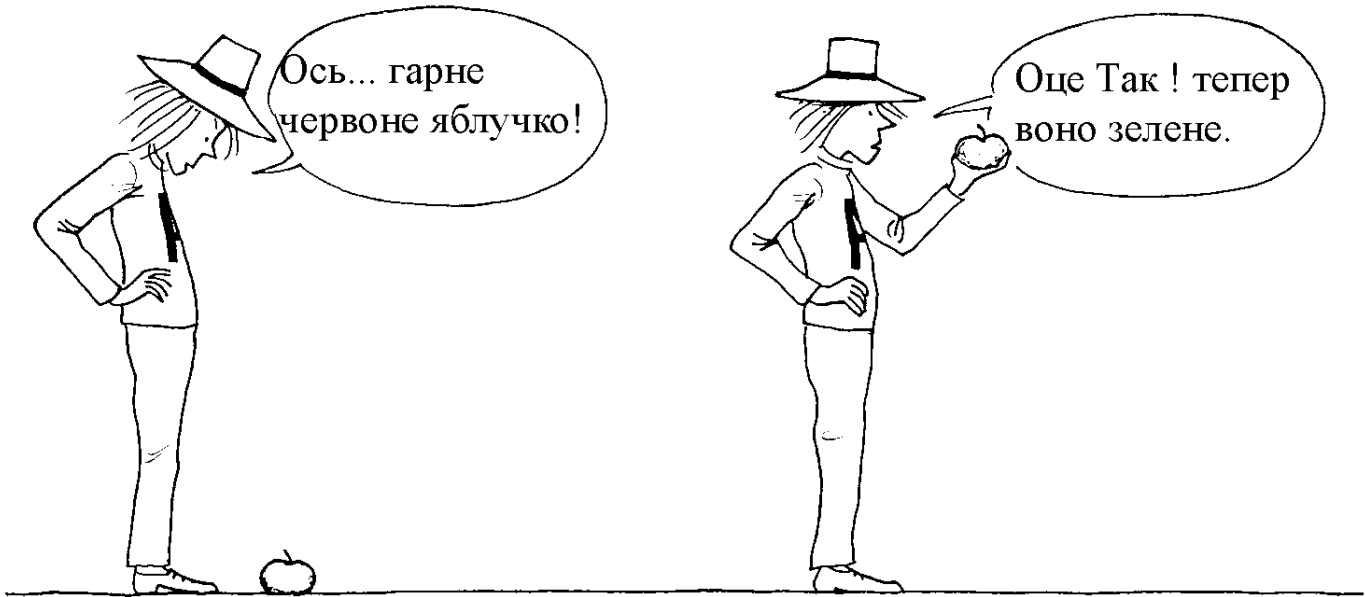


Частоти випромінюваних або отриманих фотонів будуть вимірюватися відносно швидкості потоку часу в хроноскафі випромінювача або приймача. У хроноскафі а Арчі випромінює синє світло. Він опиняється в області простору, який сильно викривлений - наприклад, він може бути поблизу нейтронної зірки величезної маси.

Софі в хроноскафі S отримує це світло. Вона далеко від надщільного об'єкта. Тому її час тече швидше, і вона вимірює нижчу частоту. Їй здається, що колір світла змінився в бік ЧЕРВОНОГО.

Ансельм на нейтронній зірці.

(Ми звільнили його від обмежень гравітації, щоб це не було миттєво розплющується на поверхні під дією власної ваги).



Насправді яблуко весь час було зеленим, але вплив сили тяжіння на час змінило його на червоне.

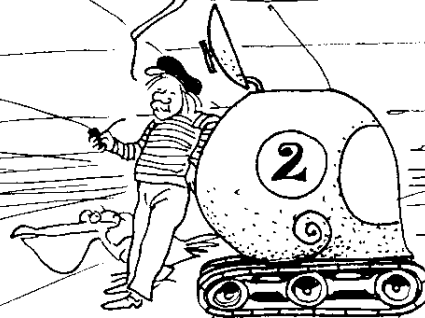
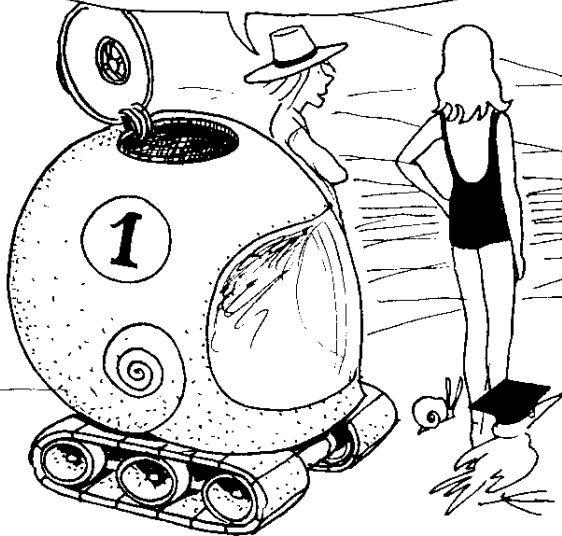
Яблука НЕ ті, що були в мої часи...



ДРУГИЙ ПІДХІД ДО ЧОРНОЇ ДІРИ

Я хочу ще трохи дослідити
Космічний парк.

Добре, я піду з Леоном.
Хороша геодезична!...

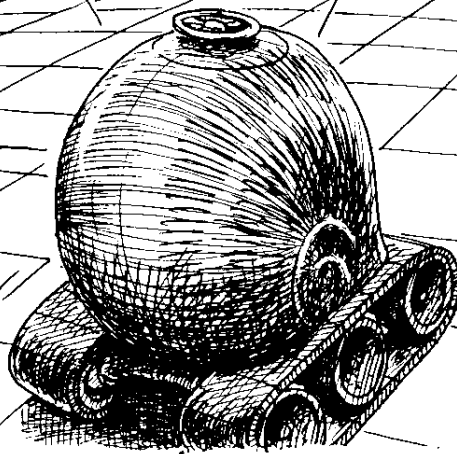


А також у мене є контакт
по телефону, по радіо (*)

Леоне, месье Альбер,
я бачу їх там

Ось, що це за штука,
вдалині?

Схоже на трубу – або
торнадо.



(*) Радіохвилі подібні до світлових хвиль. Вони мають однакову швидкість поширення C , але меншу частоту.



Це чорна діра!

**Месьє Альбер і Леон впали
прямо в нього.**

**ми проходимо
близько,
скажи так!**

**Чи можемо ми щось зробити для
Леона та мосьє Альбера?**

**Ні. Наші
геодезичні не
перетинаються.**




Ви їх бачите?


Дно чорної діри виглядає абсолютно непрозорим.

Я все ще бачу їх, але їхній хроноскоф став темно-червоним

Привіт? МІСТЕР. Альберт? Ленні? Ви мене приймаєте?



Я нічого не розумію. Його голос став високим, і він говорить занадто швидко.



Його голос стає все глибшим і глибшим. Це схоже на диск, який зупиняється!?!

АННДТЕУННН

Виникають проблеми зі спілкуванням, коли ви живете в дуже різних «часових поясах».

ПИТАННЯ ЧАСУ

Чим глибше MR. Альберт і Ленні занурюються в хронол, тим більше зовнішній тиск РЕ збільшується, чим повільніше клепсидра закінчує хронол, і тим повільніше час тече в їхньому хроноскафі.

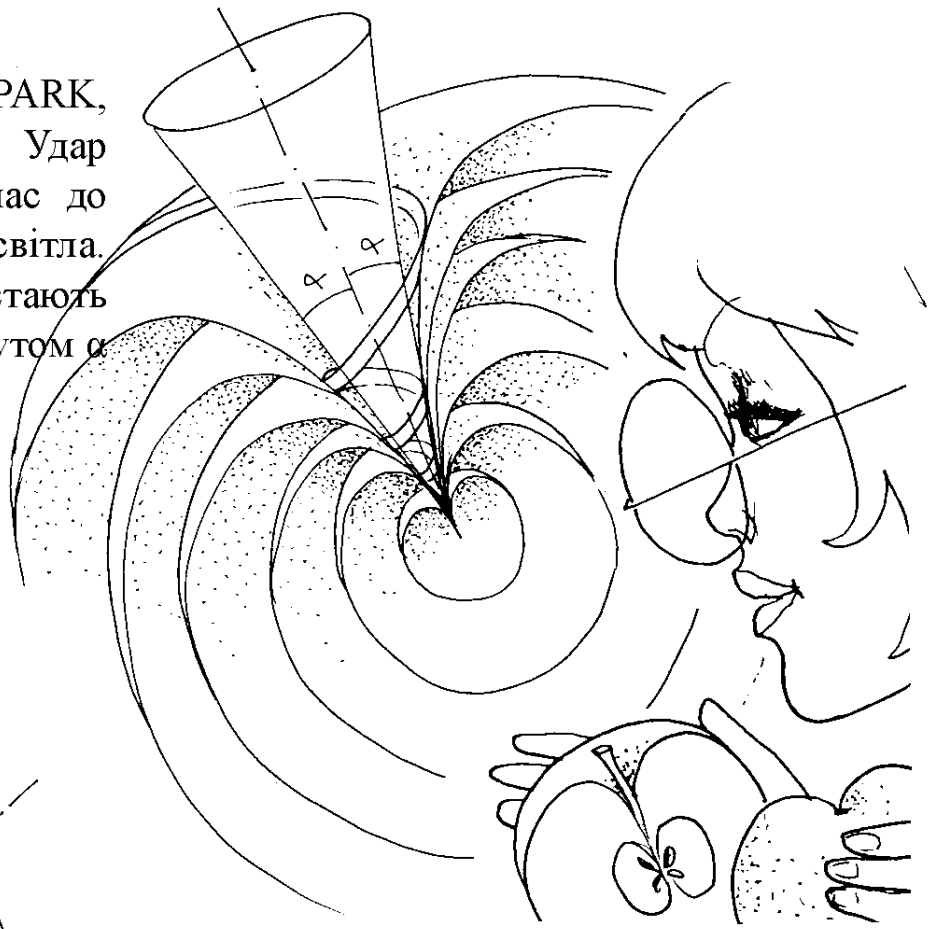
Коли вони досягнуть суті речей і досягнуть швидкості світла, їх бортовий гідравлічний годинник списує обмежену кількість хронолу, що означає, що ця подорож буде здійснена за КІНЕЧНИЙ час.

Але якби Софі, Ансельм, Макс і Тіресій могли продовжувати слідувати за своїм падінням, воно здавалося б їм нескінченним.

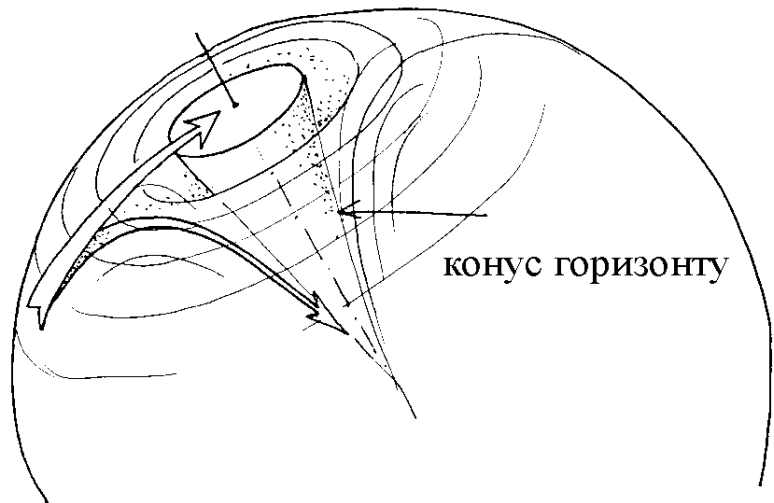
Світло, випромінюване їхнім хроноскафом, швидко занурюється в інфрачервоне поле за межами домену видиме світло, тоді як їх радіоповідомлення переходить в інфразвук.

Це нагадує мені парадокс Ахілла та равлика. Ахілл намагається зловити равлика, кілька разів зменшуючи відстань між ними вдвічі. Можна подумати, що це триватиме вічно, але загальний час у підсумку скінченний.

Ось, на цій моделі COSMIC PARK, зображення чорної діри. Удар повністю пробив простір-час до центру, де панує швидкість світла. Усі шари в цій точці стають дотичними до конуса з півкутом α при вершині.



У цій моделі відстань насправді є кутом між двома радіальними векторами, такими як OM і OC . З діаграми вище видно, що всередину цього конуса з півкутом α ніщо не може проникнути. Уявіть собі спостерігача в стані спокою на поверхні хронолу, який не усвідомлює, що простір-час викривлений. Для нього межа чорної діри – ГОРИЗОНТ ПОДІЙ – виглядає як КОЛО, яке досягається зі швидкістю світла.





О, подивіться, ось куди ми потрапили – чорний на хроноскофі №3, який не рухався.

Наша екскурсія навколо чорної діри сповільнила наше старіння. Якби хтось із нас залишився у цьому спочиваючому хроноскофі він, можливо, чекав на наше повернення сотні чи тисячі років!

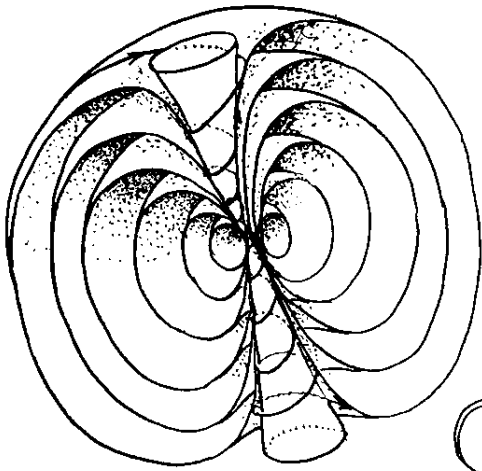
Куди ведуть чорні діри?

Ніхто не знає. Теорія показує, що античорна діра може існувати.

Тобто об'єкт, куди не можна було заходити. Ми могли лише вийти з цього.

БІЛИЙ ФОНТАН

Ось як могла б виглядати пара в моделі
COSMIC PARK; чорна діра - білий фонтан

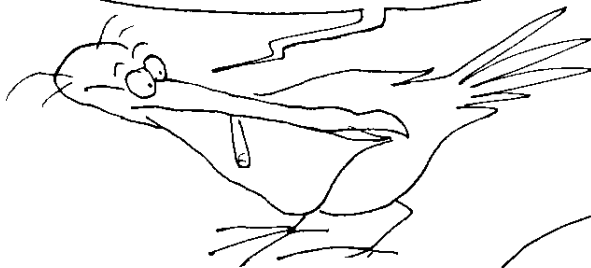


Білий фонтан точно такий же, за винятком того, що його геодезичні орієнтації перевернуті.



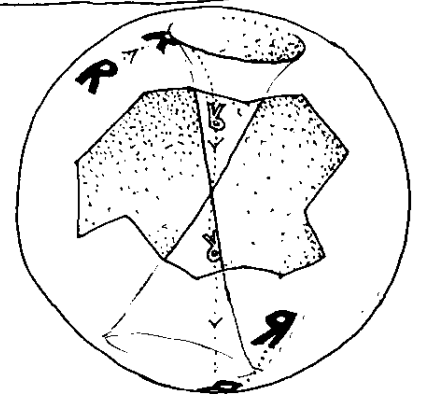
Але що в чорній дірі, за ГОРИЗОНТОМ? Є... НІЧОГО?!?

Чи може всередині чорної діри бути нічим у чистому вигляді?...



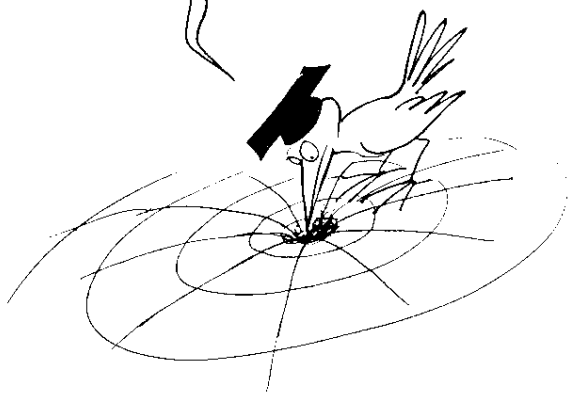
Ні ні! "Інтер'єр" чорної діри - це лише зовнішній вигляд пов'язаного з нею білого фонтану.

Зверніть увагу, що в цій моделі структура ЧОРНА ДІРА – БІЛИЙ ФОНТАН надає всім листям Cosmic Park вигляду неорієнтованих односторонніх поверхонь, "прохід", що перевертає об'єкти. Наприклад, R знайдено відповідно до Я.



ЧОРНИЛЬНА ПЛЯШКА

Але є й інші теорії. Деякі люди вважають, що чорні діри створюють нам контакт із всесвітом-близнюком.



Або навіть зі світом, де все віддзеркалюється, включаючи час.




Зважаючи на це, якщо й є розумні хлопці, які потрапили в чорну діру, ніхто з них не повернувся, щоб розповісти про це.

Внизу оболонка Тіресія, мабуть, лише чорна діра!



мама!




Леоне, залиш
Тіресія!


Не хвилюйся, Тіресію.
Головне — почуватися
комфортно у власній
оболонці.

Мі!

ЕПІЛОГ

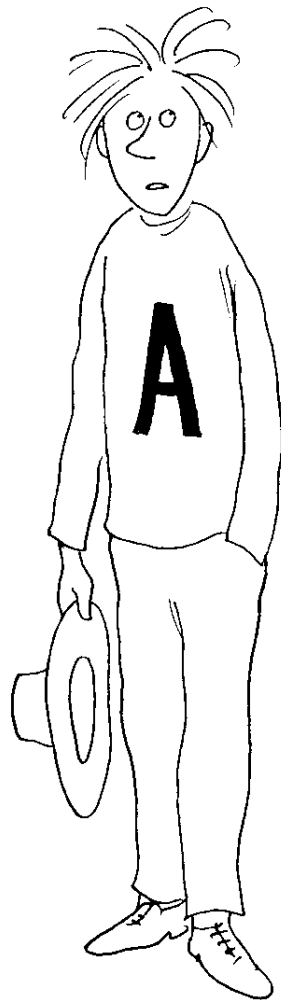


О боже, космос! В мене
головний біль ...



Дайте мені зрозуміти...
Порожнеча і матерія — це
одне й те саме... Простір
може замкнутися сам у собі...
І єдиний шлях, яким ви
можете йти, — це ПРЯМО!

**Якщо цей Всесвіт є найкращим
із можливих всесвітів, то які
інші?**



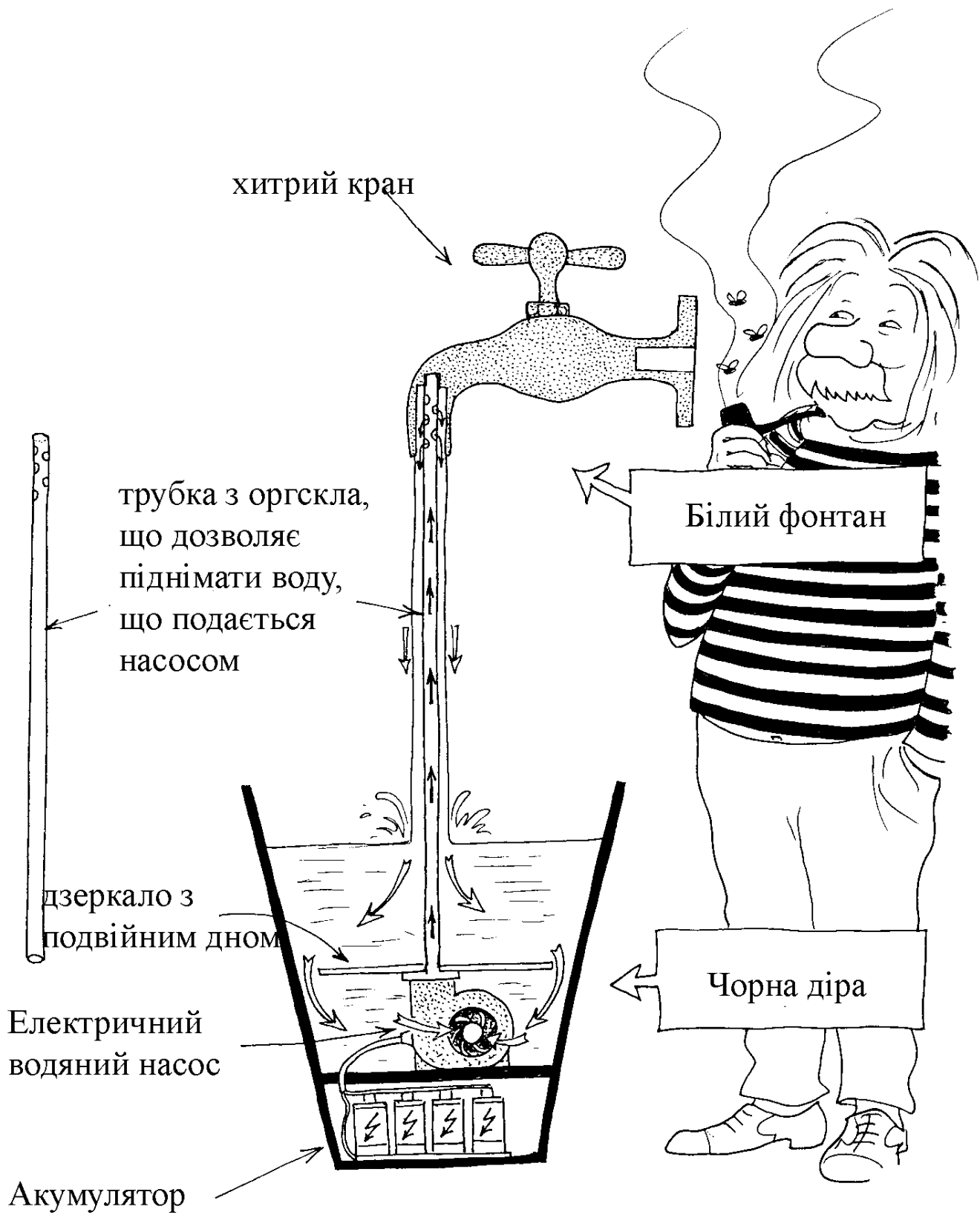


Кран плаває в повітрі –
То звідки береться
вода?

Хмм...

І куди він дінеться,
оскільки рівень у відрі
залишається
постійним!

а втім, тоне!



Читачеві може здатися дивним, що автор презентує цей комікс, присвячений, у тому числі, ЧОРНІЙ ДІРІ, коли він неодноразово висловлював скептицизм щодо існування таких об'єктів.



Модель чорної діри є рішенням рівняння Ейнштейна, коли воно відноситься до частини Всесвіту, де немає ні речовини, ні енергії. Ця так звана модель просто математична вигадка!

Але цей альбом був задуманий на початку вісімдесятих. У майбутньому альбомі автор розвине іншу ідею, описуючи долю дестабілізованих гіперщільних об'єктів, де надлишкова маса інвертується та викидається з об'єкта. Але нинішній альбом можна вважати гарною презентацією окремих аспектів загальної теорії відносності.

