

(1) 허영진 (2005190207 영어교육과)

“저 바닥에는 충분한 공간이 있다.”

물리학의 새로운 분야로의 초대

by Richard P. Feynman

이 글은 Richard P. Feynman이 1959년 12월 29일 미국물리학회 연차 총회(장소: Caltech)에서 "There's Plenty of Room at the Bottom"이라는 제목으로 강연한 내용을 번역한 것으로서, Caltech에서 발행한 "공학과 과학"이라는 잡지 1960년 2월호에 처음으로 게재되었던바 있습니다.

저는 실험 물리학자들이 Kamerlingh Onnes와 같은 사람들을 종종 부러움으로 바라봤을 것이라 생각합니다. 그는 점점 더 낮게 내려갈 수 있는, 즉 끝이 없는 것처럼 보이는 저온의 분야를 발견했습니다. 그런 사람은 그 무렵 지도자가 되고 과학적 탐구 분야에서 일시적인 독점을 하게 됩니다. 이후, Percy Bridgman은 더 높은 고압을 얻는 방법을 고안해냄으로써 또 하나의 새로운 연구 분야를 열었으며, 그것을 통해 계속해서 과학자들을 이끌어갈 수 있었습니다. 더 높은 진공의 개발 또한 같은 연결 선상에 있는 것이었습니다.

제가 설명하고자 하는 분야는 아직 실질적으로 되어진 것은 거의 없지만, 이론상으로는 무궁무진한 가능성을 가지고 있습니다. 이 분야는 낮은 입자들에 대해 의문을 품는 기초 물리학을 언급하지 않는다는 점에서 다른 분야들과 구분이 되지만, 복잡한 상황에서 일어나는 낮은 현상에 대해 큰 호기심을 품는다는 점에서는 고체 물리학과 매우 비슷하다고 볼 수 있습니다. 이것의 가장 중요한 점은 바로 기술적으로 다양하게 적용될 것이라는 것입니다.

제가 말하고자 하는 것은 작은 규모 위에 어떤 것들을 조작하는 것에 관한 것입니다. 제가 이것을 언급하자마자 사람들은 ‘소형화’를 말하면서, 그것이 오늘날 얼마나 진행되어왔는지, 그리고 손톱 크기의 전기모터에 대해 말했습니다. 또한, 저에게 시장에 파는 도구들 이용해서 핀 머리에 주기도문을 쓸 수 있을 것이라 말했습니다. 그러나 그것은 제가 논의하고자 하는 이 분야에서 아주 기초적이고 작은 부분에 지나지 않습니다. 그것은 엄청나게 작은 세계의 그 아래에 있는 것입니다. 2000년대에 사람들은 이 시대를 돌아보면서 왜 1960년이 되어서야 이 부분을 심각하게 고민하기 시작했는지에 대해 의아해 할 것입니다.

그렇다면 우리는 왜 브리태니커 백과사전 24권 전체를 핀 머리에 기록할 수 없을까요? 무엇이 연관되어 있는지 살펴보도록 합시다. 핀 머리 지름 약 1.6mm를 2만5000배 확대하면 브리태니커 백과사전을 모두 펼쳐놓은 넓이와 같습니다. 즉, 반대로 백과사전에 기록된 모든 것을 2만5000분의 1로 축소해 기록하면 되는 것이지요. 그것이 가능할까요? 눈의 해상력은 1/120인치 정도로, 그것은 대략 백과사전 망판(인쇄의 작은 점) 하나의 지름과 같습니다. 이를 25000분의 1로 축소하면 지름이 약 80옹스트롬(1옹스트롬=100억분의 1미터)이지요. 보통의 금속은 80옹스트롬 지름 안에 원자 32개가 들어갈 수 있습니다. 다시 말하면, 그 안에 약 1000개의 원자를 담을 수 있음을 뜻합니다. 따라서 1/120인치 점들을

사진 조판에 필요한 크기로 맞추면 브리태니커 백과사전 전체를 핀 머리에 새기기에 충분한 풍부한 바닥 공간(분자세계)이 있는 것입니다. 게다가 그렇게 썩어진다면 읽힐 수도 있습니다. 그것이 일반 글자 크기의 1/25,000 배로 축소된 양각 글자로 되어 있다면, 우리는 어떻게 그 글자를 읽을 수 있을까요?

만약 그러한 방법으로 썩어진 어떤 것이 있었다면, 오늘날 보다 일반적으로 사용되는 기술을 이용하여 읽을 수 있었을 것입니다. (틀림없이 앞으로 더 좋은 방법이 개발될 것이지만 제 견해를 보다 신중하게 하기 위하여 저는 일단 우리가 오늘날 알고 있는 기술을 예들 들어 살펴보겠습니다.) 먼저 금속을 플라스틱 물질에 인쇄하여 몰드를 만듭니다. 그런 다음 매우 조심스럽게 플라스틱을 벗겨내고 실리카를 플라스틱에 증발시켜 매우 얇은 막을 형성 시킵니다. 그 후 실리카의 반대 각도로 금속을 증발시켜 음영을 넣으면 모든 작은 글자가 뚜렷하게 나타나게 되고, 실리카박막에서 플라스틱을 녹여 제거하면 전자현미경을 통하여 글자를 읽을 수 있게 됩니다.

만약 핀 머리에 25,000배로 줄여진 양각 글자의 형태로 썩어있다면 오늘날 우리는 그것을 쉽게 읽을 수 있을 것이라는 것에는 의심의 여지가 없습니다. 게다가, 원본을 쉽게 복사하는 방법을 찾을 수 있을 것이라는 것 또한 의심의 여지가 없습니다. 복사본 제조에 필요한 것은 단지 같은 금속 활자판을 플라스틱에 인쇄하는 것이며, 그로써 또 하나의 복사본을 가질 수 있습니다.

(2) 이현주 (2005130870 국제어문학부)

어떤 방법으로 글자를 작게 쓸 수 있을까?

다음 질문은 ‘어떤 방법으로 글자를 작게 쓸 수 있는가?’ 입니다. 현재, 이것에 대한 표준 규격의 기술은 없다고 할 수 있습니다. 그러나 가장 먼저 선보였던 기술보다는 그리 어렵지 않다는 것을 설명해 보이겠습니다. 사물을 확대하는 방법과 마찬가지로 축소할 수 있도록 전자현미경의 렌즈를 반대로 뒤집습니다. 반대로 된 렌즈에 통과시킨 이온소스는 아주 작은 점으로 초점이 맞춰집니다. 이 점을 이용하여 라인을 따라가고, 라인을 주사할 때 부착되는 물질의 양을 조절함으로써 tv의 음극선 오실로스코프에 쓰는 것과 같이 쓸 수 있습니다.

이 기술은 공간전하 제한 현상 때문에 매우 느릴 수 있습니다. 더 빠른 기술이 있을 것입니다. 우선, 광학적 과정을 이용함으로써 글자 형태의 구멍을 가진 스크린을 만듭니다. 이 구멍 뒤에서 전호를 발생시켜 구멍을 통하여 금속 이온을 통과시킵니다. 그리고 나서 앞에서 설명한 구조의 축소 렌즈를 사용하면 핀 머리에 금속을 부착할 수 있는 이온 형태의 작은 이미지를 만들 수 있습니다.

확실히 가능할지는 모르지만 더 간단한 방법이 있습니다. 빛을 거꾸로 작동시킨 광학 현미경에 통과시킵니다. 그 빛을 매우 작은 광전 스크린에 비추어 초점을 맞추면 빛이 비춰진 스크린에서 전자가 방출됩니다. 전자현미경렌즈로 알맞게 초점이 맞춰진 전자들은 금속의 표면에 직접적으로 부딪칩니다. 이것을 충분히 오래하면 빛이 금속을 부식시키지 않을까요? 저도 모르겠습니다. 만약 금속표면이 부식되지 않는다면 원래의 핀에 어떤 물질을 코팅해서 표면에 전자를 가하면 후에 변화를 인식하기가 가능할 것입니다.

이러한 장치에는 강도의 문제가 없습니다. 전자 몇 개를 갖고 계속 더 크게 스크린 위에 펼치는 확대의 경우와는 정반대입니다. 한 면에서 나온 빛을 아주 작은 범위로 집중시키기

때문에 빛은 아주 강렬합니다. 그럼에도 불구하고 왜 아직까지 이것을 성공하지 못하는지 이유를 모르겠습니다.

핀 머리위에 브리태니커 백과사전이 있습니다. 그러나 이 세상의 모든 책으로 가정해봅시다. 미국국회도서관에는 약 9백만 권의 책이 있습니다. 영국 대영박물관 도서관에는 5백만 권, 프랑스 국립 도서관에도 5백만 권이 있습니다. 분명히 중복된 것들도 있을테니 이 세상에서 관심을 가질만한(중요한) 책이 2천4백만 권쯤 있다고 합시다.

우리가 지금 말한 규모의 책을 모두 인쇄하면 어떻게 될까요? 이것은 얼마나 많은 공간을 차지할까요? 물론 이것은 핀 머리 약 백만 개 정도의 면적을 차지할 것입니다. 백과사전 24권이 아니라 자그마치 2천 4백만 권이란 말입니다. 백만 개의 핀은 천개의 핀을 한 변으로 하는 정사각형에 놓일 수 있으며, 이 정사각형은 약 2.5m²의 범위입니다. 종이두께의 플라스틱으로 뒷면을 댄 실리카(이산화규소) 사본에 모든 책의 내용을 넣어 한 부로 만들면 대략 백과사전 35페이지 정도가 됩니다. 바로 이 잡지의 반 정도 밖에 안 되는 분량입니다. 지금까지 인류가 책에 기록한 모든 정보를 팜플렛 한 권에 담아 한 손으로 들고 다닐 수 있습니다. 그것도 기호화한 것이 아니라 해상도의 손실이 전혀 없이 원래의 그림, 조판, 그 밖에 모든 것을 아주 작은 크기로 간단히 복사한 것을 말입니다.

우리의 캘리포니아 공과대학 사서가 이 건물 저 건물로 뛰어 다닐 때 이렇게 말하면 어떨까요? “당신이 관리하느라 고군분투하고 있는 모든 정보, 즉 바닥부터 천장까지 쌓여있는 12만 권의 책, 카드로 꽂 찬 서랍, 서고에 가득한 고서(古書) 들을 지금부터 10년 후에는 단 한 장의 도서카드에 보관 할 수 있습니다!!!” 예를 들어, 브라질 대학에 불이 나면, 우리는 몇 시간 내에 카드 원판을 복사함으로써 우리도서관에 있는 모든 책들의 사본을 보통의 항공 우편보다 크지도 무겁지도 않는 봉투에 넣어 우송해 줄 수 있습니다.

지금 이 강연의 주제는 ‘저 바닥에는 충분히 많은 공간이 있다.’ 입니다. 그냥 단지 ‘바닥에는 공간이 있다.’가 아닙니다. 제가 논증한 것은 실질적인 방법으로 사물의 크기를 축소할 수 있는 ‘공간이 있다’ 입니다. 이제 충분히 많은 공간을 보여주고 싶습니다. 지금 실질적으로 어떻게 그것을 할 수 있는지는 논하지 않을 것입니다. 단지 이론적으로는 가능한, 다시 말하면 물리학의 법칙을 따를 때에 가능한 것을 말하려고 합니다.

저는 반 중력을 조작하려는 것이 아닙니다. 반 중력은 기존 법칙이 우리가 생각하는 것과 다를 때 어울리는 것입니다. 저는 기존 법칙이 우리가 생각하는 것과 같을 때 무엇이 될 수 있을지를 말하고 있습니다. 우리가 법칙을 따르는 일을 간단히 행하지 않는 이유는 아직 이것에 도달하지 못했기 때문입니다.

작은 크기(면적) 위의 정보

그림이나 모든 정보를 현재 형태 그대로 재현하려고 애쓰는 대신에, 오직 점과 대쉬 혹은 이와 같은 종류의 기호로 다양한 문자를 나타내기 위해 정보를 쓴다고 가정해 봅시다. 각각의 문자는 정보의 6, 7개의 비트들로 표현됩니다. 즉, 각각의 문자에는 겨우 6,7개의 점 혹은 대쉬만 필요합니다.

지금 핀 머리의 외면 위에, 전에 했던 것처럼 모든 것을 쓰는 대신, 물질 내부까지도 마찬가지로 사용할 것입니다. 우리가 한 금속의 작은 지점을 점으로, 인접한 다른 금속 부분을 대쉬로 표현하도록 합시다. 조심스럽게 추측해보면 대략 정보 한 비트는 5x5x5개의 원자들 -즉, 125개- 로 이뤄진 작은 입방체 하나가 필요합니다. 아마도 확산이나 다른 변화에 의하여 정보를 잃어버리지 않기 위해 100여개의 임시 원자를 필요로 할 것입니다.

(3) 이승희 (2005130898 국제어문학부)

저는 백과사전에 얼마나 많은 문자가 있는지 추측하기 위해 2천 4백 만권의 책이 백과사전의 크기와 같다고 가정한 뒤, 얼마나 많은 양의 정보의 비트가 있는지 계산해 보았습니다. 그 결과는 (10^{15}) 이었습니다. 각각의 비트가 100개의 원자를 필요로 하는데 세상의 모든 책에 인간이 신중하게 축적해 온 정보는 200분의 1인치크기의 정육면체에 기록 될 수 있다는 것을 알아냈습니다. 이것은 육안으로는 가까스로 판별 할 수 있는 미세한 먼지 수준입니다. 나에게 마이크로필름에 대한 말을 하지 마십시오.

많은 양의 정보가 매우 작은 공간에 담겨질 수 있다는 사실은 생물학자에게도 물론 잘 알려져 있습니다. 그리고 우리가 이 모든 것을 확실히 사실을 이해하기 전부터 존재했던 미스터리를 풀 수 있습니다. 우리와 같은 복잡한 생물체의 조직에 관한 모든 정보가 어떻게 아주 조그만 세포 하나에 저장 될 수 있는가라는 미스터리 말입니다. 우리가 갈색의 눈을 가졌는지, 우리가 적어도 어떤 생각을 하는지, 태아 때 턱뼈가 한쪽 작은 구멍에서 발전하는데, 후에 거기서 신경섬유가 자랄 수 있게 한다는 것까지 이르는 모든 정보가, 긴 사슬 형태인 DNA분자의 아주 작은 세포 하나에 담겨져 있습니다. 그리고 대략 50개의 원자가 세포에 대한 정보의 한 비트를 위하여 사용 됩니다.

더 강력한 전자 현미경

만약 제가 한 비트에 5의 세제곱크기의 원자를 기호로 쓴다면, 오늘날 그것을 어떻게 읽을 수 있을까라는 문제가 발생할 수 있습니다. 전자현미경은 그다지 썩 좋지 않습니다. 최대한의 노력을 기울인다 하더라도 전자현미경은 10옹스트롬 정도만을 볼 수 있을 뿐입니다. 제가 지금 전부 작은 크기의 물질들에 대해서만 말하고 있지만, 100배까지 전자현미경을 향상시키는 것의 중요성을 알아주셨으면 합니다. 이것은 불가능 하지 않습니다. 이는 전자의 회절법칙에 어긋나지도 않습니다. 그러한 전자현미경의 전자 파장은 겨우 1/20옹스트롬입니다. 그러므로 각각의 원소를 보기가 가능한 것입니다. 원소각각을 볼 수 있다는 것은 어떤 점이 좋을까요?

우리는 다른 분야에 친구가 있습니다. 예를 들면 우리 물리학자들은 생물학자들에게 종종 이렇게 말하곤 합니다. “당신네들의 생물학이 매우 작게 진보해 나가는 원인이 뭔지 아시오?” (실제로 저는 생물학보다 더 빠르게 진보하는 다른 분야를 본 적이 없습니다.) “당신들은 수학을 좀 더 이용해야 합니다. 우리처럼.” 그들은 우리에게 충분히 대답할 수 있지만 겸손하기 때문에 내가 그들을 위해 대답하겠습니다. “우리가 더 빠른 진보를 하기 위해 당신들이 해야 할 일은 100배 더 나은 현미경을 만들어 줘야 합니다.”

오늘날 생물학에서 가장 근본적이고 중심적인 문제는 무엇입니까? 그것은 다음과 같은 질문들입니다. “DNA에서 염기서열이란 무엇인가? 돌연변이가 생긴다면 무슨 일이 벌어질 것인가? DNA에서 염기서열은 어떻게 단백질의 아미노산 서열과 연결되는가? RNA의 구조는 무엇인가? RNA의 구조는 무엇인가? RNA는 single-chain인가 double-chain인가? 그리고 이것이 DNA의 염기서열과 어떤 관련이 있는가? 세포 내 미립자의 조직은 무엇인가? 단백질은 어떻게 합성되는가? RNA는 어디를 향해 움직이며 어떻게 착상하는가? 또, 단백질은 어떻게 착상하는가? 아미노산은 어디로 들어가는가? 광합성에서 엽록소는 어떤 위치에 있는가? 엽록소의 어느 곳에 카로티노이드가 포함되는가? 빛 에너지가 화학적 에너지로 변환하는 시스템은 무엇인가?

이러한 기본적인 생물학적 질문에는 간단한 대답이 있습니다. 그것은 단지 관찰하기만 하

면 된다는 것입니다! 체인구조의 서열을 보는 것입니다. 세포내의 미립자구조를 보는 것입니다. 하지만 불행히도 현재의 현미경은 다소 큰 크기로 볼 수밖에 없습니다. 100배 더 뛰어난 현미경을 만든다면, 많은 생물학의 문제들이 매우 쉽게 풀릴 것입니다. 과장해서 말하자면, 생물학자들이 현재보다 수학을 많이 써야 한다는 비판에 더 호의적이 될 것이고, 여러분에게 감사를 표할 것입니다.

오늘날의 화학공정이론은 물리이론을 기초로 합니다. 그런 면에서 물리학은 화학의 기초를 제공한다고 할 수 있습니다. 그러나 화학은 분석도 합니다. 만약 당신이 낮은 물질을 갖고 있고, 그것이 무엇인지 알기를 원한다면, 당신은 길고 복잡한 화학분석의 과정을 거칠 것입니다. 요즘에는 거의 모든 물질을 분석할 수 있으며, 따라서 저의 아이디어가 조금 늦었습니다. 그러나 만약 물리학자가 그것을 원한다면, 그들 역시 화학분석의 문제에서 화학자들과 같이 연구해야 합니다. 원자가 어디에 있는지 알고 볼 수 있기만 해도 우리는 어떤 화학 물질도 쉽게 분석할 수 있을 것입니다. 단 하나의 문제는 전자현미경이 백배나 좋지 못하다는 것입니다. (나중에 말하겠지만, 물리학자들이 화학의 세 번째 문제인 합성에 관하여 어떤 일을 할 수 있겠습니까? 어떤 화학물질을 물리적으로 합성할 방법이 있습니까?) 전자현미경이 좋지 못한 원인은 렌즈의 초점거리가 약 1/1000정도이기 때문에 개구수가 너무나 작다는 데 있습니다. 그리고 축 방향으로 대칭인 정적영역 렌즈에서는 좀 더 큰 초점거리를 만들기 위해 더 이상의 배율증가는 불가능하다는 이론이 있다는 것을 압니다. 이론상으로 현재의 해상도가 최고치입니다. 그러나 모든 이론에는 가정이라는 것이 있습니다. 왜 렌즈는 대칭이어야 합니까? 저는 이것을 도전과제로 놓기로 했습니다. 전자현미경의 배율을 증대하는 방법은 없을까요?

(4) 최보선 (2005190559)

신비로운 생물학적 시스템

아주 작은 크기로 정보를 기록한 생물학적인 예들은 가능할 것 같은 한 가지 일을 생각하게 합니다. 생물학은 단지 정보를 기록하는 것이 아닙니다. 생물학은 정보를 갖고 어떤 특별한 일을 하는 것입니다. 생물 시스템은 지나칠 정도로 작을 수도 있습니다. 대부분의 세포들은 매우 작지만 활동적입니다. 세포들은 다양한 종류의 물질들을 만들어내고, 주위를 돌아다니고, 몸을 흔들고, 그리고 온갖 신비한 일들을 합니다. 그것도 매우 작은 범위에서 말입니다. 세포들은 정보도 저장합니다. 우리가 원하는 대로 활동하는 매우 작은 물건을 만들 수 있다고 생각해 보세요. 그것이 그만큼 작은 스케일에서 작동할 수 있을 것입니다.

소형화 사업에는 경제적인 면도 있을 것입니다. 계산 기계들의 몇 가지 문제점들을 상기시켜 봅시다. 우리는 컴퓨터에 엄청난 양의 정보를 저장해야 합니다. 이전에 언급하였던 금속의 분배 상태로 모든 것을 기록하는 방법은 영구적으로 남습니다. 컴퓨터에 더 흥미로운 것은 기록하고, 그것을 삭제하고, 또 다른 것을 기록 하는 것입니다. (이것은 대개 우리가 막 기록할 때 사용하였던 물질을 낭비하기 싫어서일 것입니다. 하지만 만약 우리가 매우 작은 공간에 기록할 수 있다면 그 물질을 버리더라도 별로 상관이 없을 것입니다. 그것은 잊혀진 다음에 바로 폐기될 것입니다. 이렇게 되면 그 물질에 비용이 얼마 안 듭니다.)

컴퓨터를 소형화하기

저는 어떻게 그 작은 크기에 실용적으로 기록할 수 있는지는 모릅니다. 하지만 컴퓨터가 매우 크다는 것은 압니다. 방을 몇 개씩 차지합니다. 왜 그것들을 더 작게 만들 수 없는 것 일까요? 왜 우리는 더 작은 전선으로, 더 작은 원소로 만들 수 없는 것일까요? 작다고 할 때 저는 매우 작은 것을 말합니다. 예를 들면 전선을 10개 또는 100개의 원자 직경으로 될 수 있고, 회로는 가로 수천 옴스트롱 정도로 만들어 질 수 있어야 합니다. 컴퓨터의 논리적 이론들을 분석해본 사람들은 컴퓨터의 가능성은 매우 흥미롭다고 결론을 짓습니다. --만약 그들이 몇 개의 거대한 차수에 의해 더 복잡하게 만들어 진다면 말입니다. 만약 컴퓨터들이 지금의 수백만 배가 되는 양의 원소들을 가지게 된다면 그들은 판단을 내릴 수 있을 것입니다. 컴퓨터들은 그것이 내려야할 판단 사항을 어떻게 해야 가장 잘 결정할 수 있는 지 계산 할 시간이 있을 것입니다. 그들은 우리가 주는 분석방법보다 더 나은 방법을 그들의 경험으로부터 선택할 것입니다. 그리고 많은 다른 방법들에서 그들은 새로운 정성(定性)의 형태를 갖게 될 것입니다.

만약 제가 당신의 얼굴을 본다면 저는 즉시 전에 보았다는 것을 인식합니다. (사실, 제 친구들은 이런 것을 설명하는 데에 부적절한 예라고 할 것입니다. 하지만 저는 최소한 사과가 아닌 사람이라는 것을 인식 할 수 있습니다.) 하지만 이렇게 빨리 얼굴 사진을 보고 그것이 사람이라고 조차 말할 수 있는 기계는 없습니다. 당신이 이전에 보여준 얼굴의 사람은 더더욱 못 알아 볼 것이고 말입니다. - 그것이 정확하게 똑같은 사진이 아닌 이상 말입니다. 얼굴이 바뀌었다고 해도, 얼굴에 더 가까이 다가가도, 멀리 떨어져도, 빛이 달라도 - 저는 그 얼굴을 알아봅니다. 제 머리 속에 가지고 다니는 이 작은 컴퓨터는 이런 것이 가능합니다. 우리가 제작하는 컴퓨터들은 그것을 할 수 없습니다. 저의 두개골 안에 있는 수많은 원소들은 우리의 “대단한” 컴퓨터의 원소보다 훨씬 많습니다. 하지만 컴퓨터 기계들은 너무 크고, 이런 상자 안에 있는 원소들은 매우 미세합니다. 저는 그것들을 더 미세하게 만들길 원합니다. 만약 이렇게 신비롭고 추가적인 정성(定性)의 능력을 가진 컴퓨터를 만들고 싶다면 우리는 아마 그것을 펜타곤의 크기로 만들어야 할 것입니다. 이것은 몇 가지 단점을 갖는데, 먼저 이것은 너무 많은 물질을 요구 합니다. 세상에는 이 거대한 컴퓨터에 넣을 트랜지스터에 쓰일 제라늄이 충분히 있지 않습니다. 열 발생과 에너지 소비 또한 문제가 되는데, TVA가 이 컴퓨터를 작동 하는 데에 필요할 것입니다. 하지만 더 실질적인 어려움은 컴퓨터가 특정 속도에 제한 될 것이라는 것입니다. 그 거대한 크기 때문에 한 자리에서 다른 곳으로 정보를 보내는 데에 시간이 한정될 것입니다. 그 정보는 빛의 속도보다 빠를 수가 없습니다. -그래서 최종적으로는 컴퓨터가 더욱 더 빨라지고 더욱더 정교해질 때, 우리는 컴퓨터를 점점 더 작게 만들어야 할 것입니다.

하지만 그들을 작게 만들 충분한 공간이 있습니다. 저는 컴퓨터 원소들이 지금보다 훨씬 더 작게 만들어 질 수 없다는 것을 말하는 물리 법칙은 본 적이 없습니다. 사실 특정 이점이 뒤따를 수도 있습니다.

증발에 의한 소형화

그런 장치를 어떻게 제조할 수 있을까요. 어떤 종류의 제조방법을 사용할까요? 원자를 정확하게 배열해 놓음으로써 글씨를 쓰는 것에 대해 얘기 한 김에 한 가지 고려해볼 만한 가능성은 그 물질을 증발시키고 그다음 그 옆의 절연체를 증발시키는 데에 있을 것입니다. 그리고 다음 층에서, 전선의 다른 부분을 증발시키고, 또 다른 절연체를 증발시키는 이런 형태로 나아가는 것입니다. 그래서 차원표기의 요소(코일, 냉각기, 트랜지스터 등)를 갖고 있

는 덩어리를 얻을 때 까지 계속 증발시키는 것입니다.

하지만 저는 흥미를 위해서 잠시 다른 가능성들이 있다는 것에 대해 얘기해보고 싶습니다. 왜 우리는 큰 컴퓨터들을 제조하듯이 이 작은 컴퓨터들도 제조할 수 없는 것일까요? 왜 미소한 수준에서 구멍을 뚫고, 자르고, 납땀하고, 찍어내고, 다른 형태로 구조해 낼 수 없는 것일까요? 더 이상 구조해 낼 수 없을 정도로 작다는 것의 한계는 어느 정도 일까요? 당신 아내의 손목시계처럼 당혹스러울 정도로 작은 것에 작업하면서, “개미를 훈련시켜서 이런 일을 시킬 수 있다면?” 이렇게 말한 적이 몇 번이나 됩니까? 제가 제안하는 것은 개미를 훈련시켜 개미가 진드기에게 이 일을 하는 법을 가르치는 것입니다. 작지만 움직이는 기계를 만드는 가능성은 어느 정도나 될까요? 그것은 별로 유용하지 않을지 몰라도 매우 만들기 재미있을 것입니다.

어떤 기계든 생각해 보세요. 예를 들어 자동차에 대해 생각해 보고 자동차 같은 극소한 기계를 만들어 내는 것의 문제를 물어봐 보세요. 자동차의 어떤 특정 디자인에 있어서 부품들에 특정한 정도의 정밀도를 요구한다고 가정합니다. 4/10,000 인치의 정밀도를 요구한다고 가정하여 봅시다. 만약에 실린더와 같은 형태에서 그것보다 정밀하지 않다면 그 자동차는 잘 작동하지 않을 것입니다. 만약에 제가 자동차를 너무 작게 만든다면, 저는 원자의 크기에 대해 걱정을 해야 합니다. 만약에 원이 너무 작으면 저는 공들을 원으로 만들 수 없습니다. 그래서 제가 만약 4/10,000에 해당하는, 원자 10개에 해당하는 실수를 한다면 저는 자동차의 크기를 약 4,000배 줄일 수 있습니다. 즉 가로 1mm가 되는 것이죠. 확실히, 만약 당신이 더 큰 허용오차를 둘 수 있도록 자동차를 디자인 한다면(그것은 불가능한 일이 아니지요) 그럼 당신은 더 작은 장치를 만들 수 있습니다.

(5) 이경민

보시다시피, 만약 이렇게 큰 내구력을 가진 자동차를 다시 만들 수 있다면(이건 전혀 불가능한 일도 아닙니다.) 훨씬 작은 기계도 만들 수 있는 것입니다. 작은 기계들에 어떤 문제가 있는지를 보는 것은 꽤나 흥미로운 일입니다. 우선, 부품들이 같은 비율로 압축되면 면적이 줄어드는 만큼 기계에 대한 압박도 줄어들어 무게나 관성과 같은 것들이 상대적으로 거의 아무런 영향을 끼치지 않게 됩니다. 다시 말하자면 물질의 힘은 그 크기에 따라 훨씬 커지는 것입니다. 예를 들어 속도 조절 바퀴의 원심력에서 오는 확대와 압박은 회전 속도가 크기의 축소와 비례해서 커질 때에만 유지되는 것입니다. 이에 비해 우리가 이용하는 금속들은 조직적인 결이 있는데 물질의 구조는 항상 같은 것이 아니므로 이는 작은 스케일에서 볼 때 골치 아픈 일이 됩니다. 플라스틱과 유리나 이와 같은 비결정의 조직을 가진 것들은 훨씬 일률적이므로 우리는 이런 재질을 가지고 기계를 만들어야 합니다.

시스템의 전기 부문, 즉 구리 전선과 자석 부분과 관련된 문제도 있습니다. 아주 작은 규모에서 볼 때의 자석의 영향권과 큰 규모의 그것이 서로 다르므로 도메인의 문제가 생겨나는 것입니다. 수백만 개의 도메인으로 만들어진 커다란 자석은 작은 규모에서 단 한 개의 도메인으로 만들어질 수 있습니다. 전자 기구는 단순하게 규모가 줄어들 수 있는 것이 아니라 다시 디자인되어야 하는 것입니다. 하지만 저로서는 왜 그 기능을 할 수 있도록 새로 디자인 될 수 없는지의 이유를 모르겠습니다.

윤활문제

유탄에는 흥미로운 몇 가지 흥미로운 점이 있습니다. 우리가 규모를 줄이면서 속도를 높일수록 효과적인 유탄유의 점질은 비율적으로 높아집니다. 만약 우리가 속도를 별로 높이지 않고 유탄유를 등유나 그 밖의 물질로 대체한다면 문제는 그다지 크지 않습니다. 하지만 사실 우리는 전혀 유탄을 하지 않아도 될 지도 모릅니다. 우리는 많은 여분의 힘을 가지고 있습니다. 베어링들이 그냥 마른 채로 돌아가게 내버려 두어도 작은 기계에서는 열이 매우 신속히 빠져나가므로 기계가 뜨거워지지는 않을 것입니다.

이와 같은 빠른 열 분산은 가솔린의 폭발을 막으므로 내부 연소 엔진은 있을 수 없습니다. 식어있는 상태에서 에너지를 만들어 내는 다른 화학반응은 이용될 수 있습니다. 어쩌면 외부로부터 공급되는 전력이 이런 작은 기계에 가장 적합할 수 있겠습니다.

이런 기계를 어디에 쓰든 말일까요? 누가 이에 답할 수 있을까요? 물론 작은 자동차는 진드기들이나 몰고 다닐 수 있을 테고 우리의 기독교적인 이해관계는 거기까지 미치지 않습니다. 그러나 우리는 매우 작은 단계의 도공용 녹로나 다른 기계 부품을 가진 완전 자동화된 공장 내의 컴퓨터를 위한 작은 구성요소의 가능성을 인지하였습니다. 그 작은 녹로는 지금 쓰이는 커다란 것과 완벽히 같아야 하지는 않습니다. 작은 규모의 것들의 성질을 완전히 자동화된 측면에서 관리하기 제일 쉽도록 최대한 이용하기 위한 디자인의 개선은 여러분의 상상력에 맡겨두겠습니다.

저의 친구 Albert R. Hibbs는 상대적으로 작은 기계들의 매우 흥미로운 가능성을 제시합니다. 매우 엉뚱한 발상이긴 하나 그는 외과 의사를 만약 삼킬 수 있다면 참 흥미롭지 않겠느냐고 합니다. 수술하는 기계를 혈관에 넣으면 그것이 심장으로 들어가 한번 “둘러보는” 것입니다. (물론 이것이 얻을 정보는 모두 밖으로 보내져야 하겠죠.) 그 후 어느 막이 판에 문제가 있는지 보고 난 기계가 작은 칼을 꺼내어 이를 잘라내는 것입니다. 그 외의 작은 기계들은 영구적으로 몸속에 심어져 그 기능을 잘 해내지 못하고 있는 장기를 도울 수 있겠습니다.

그렇다면 여기 흥미로운 문제가 있습니다. 이렇게 작은 장치를 우리는 어떻게 만들 것인가? 저는 이 문제를 당신에게 남겨두겠으나 하나 특이한 가능성을 제시하겠습니다. 핵발전소에서는 방사성을 띠어 직접 만질 수 없는 물질과 기계가 있습니다. 못과 고정나사를 조이고 풀기 위해서 그들은 조정되는 기계손들을 사용합니다.

이와 같은 기계들은 사실 인형극의 인형과 같이 조작판에서 기계손으로 직접 연결되어 있는 특별한 전선을 이용하여 꽤나 단순하게 만들어집니다. 물론 많은 것들이 둘의 연결이 기계적이기 보다는 전기에 의해 조정되도록 서보 모터를 사용하도록 지어져 있기도 합니다. 조작판에서 레버들을 돌리면 그들이 서보 모터를 돌리고, 이것이 전선 내의 전류를 바꿔 저쪽 끝의 모터의 위치를 바꾸는 것입니다.

제가 만들고 싶은 기계도 이와 같이 전기로 작동하는 조작 가능한 시스템입니다. 하지만 저는 작동부가 현대의 대규모 공학도에 의해 우리가 보통 조작하는 ‘손’의 4분의 1의 크기가 되도록 특별히 신경 써서 만들어 지길 바랍니다. 그러면 4분의 1의 규모에서도 무엇이든지 가능한 기획이 생겨납니다. 작은 손을 가진 서보 모터가 고정나사와 볼트를 다루고 네 배나 작은 구멍을 뚫는 것입니다. 아하! 그러면 녹로도 네 배 작아지고 도구도 네 배 작게 만들어 방금 전에 비해 네 배 더 작은 손을 한 세트 만들 수 있는 것입니다! 저의 관점에서 보자면 이건 처음보다 열여섯 배 더 작은 것입니다. 이 작업이 끝나면 저는 이 열여섯 배 더 작은 손으로 변압기 같은 장치를 통해 나의 커다란 기계에서 직접 조정합니다. 그로 인해 저는 이제 열여섯 배 더 작은 손을 조정할 수 있게 되는 것입니다.

거기부터 이론은 대충 설명됩니다. 이것은 상당히 어려운 프로그램이지만 가능성은 농후합니다. 시작부터 네 배보다 더 큰 비율이 가능하다고 말할 지도 모르겠습니다. 물론 이 모든 것은 매우 조심스럽게 디자인 되어야 하고 단순히 이 기계를 손처럼 만들어야만 하는 것도 아닙니다. 만약 이에 대해 매우 심사숙고 한다면 아마 작은 기계를 만드는 것을 통해 훨씬 좋은 시스템을 갖게 될 수도 있을 것입니다.

(6) 권아람 (2005190249 영어교육과)

만약 여러분이 팬타그래프를 통하여 작업을 한다면 심지어 오늘날에조차도 여러분은 하나의 단계에서 4가지 요소들보다 훨씬 많은 것들을 얻을 수 있습니다. 그러나 여러분은 구조의 불규칙성과 구멍의 느슨함 때문에 더 작은 팬타그래프를 만드는 팬타그래프를 통해서 직접 작업할 수는 없습니다. 팬타그래프의 끝은 당신이 손을 흔드는 것의 불규칙성보다도 상대적으로 더욱 불규칙하게 흔들립니다. 이러한 기준을 따라서, 저는 너무 심하게 흔들리기 전에 섬세한 그 어떤 것도 전혀 할 수 없게 되어버린 팬타그래프를 발견하곤 하였습니다.

각 단계에서, 장치의 정밀도를 향상시키는 일은 꼭 필요합니다. 예를 들어, 만약 팬타그래프에 작은 선반이 만들어져 있었다면, 우리는 그것의 주나사가 더 큰 규모의 것보다 훨씬 불규칙하다는 것을 알아차렸을 것이고, 우리는 우리의 규모에서 원래의 주나사만큼 정확한 정도의 이 주나사가 나올때까지 앞뒤로의 보통의 방식으로 뒤집을 수 있는 부러지기 쉬운 너트에 대한 주나사를 연마할 수 있습니다.

우리는 세 쌍을 세 배로 하여 편평하지 않은 표면을 문지름으로써 평면을 만들 수 있으며, 그리고 그 평면은 여러분이 시작한 것보다 더욱 편평해 진 평면이 됩니다. 그러므로 올바른 작동법에 의하여 작은 규모에서까지 정밀도를 향상시키려는 것은 불가능한 것은 아닙니다. 그래서 Johansen block이 말하기를, 우리가 이러한 재료를 만들 때에, 우리가 정확한 주나사를 만들면서 그곳에서 잠시 일함으로써 장비의 정확성을 향상시키는 각각의 단계가 필요하다고 합니다. 그리고 우리가 높은 수준의 기계를 정확하게 사용하는 다른 모든 물질들은 더 높은 수준에서 작업을 합니다.

우리는 각각의 단계를 멈추게 해야 하며 모든 재료를 다음의 단계인 매우 길고 어려운 프로그램으로 이동할 수 있도록 제작해야 합니다. 아마도 여러분은 작은 규모로 내려가는 것을 좀더 빨리 계산할 수 있을 것입니다.

그러나 결국, 여러분은 보통의 것 보다 4천 배 정도 적은, 단지 아주 작은 아기 선반 하나를 얻은 것에 불과합니다. 그러나 우리는 어마어마한 컴퓨터를 만드는 생각을 했었고 우리는 컴퓨터를 위한 작은 위셔를 만들기 위하여 이 선반에 구멍을 뚫음으로써 만들려고 했던 것입니다. 이 하나의 선반위에 얼마나 많은 위셔를 생산해 낼 수 있었습니까?

수많은 작은 손

제가 1/4의 크기로 첫 번째 슬레이브 손을 만들 때에, 저는 10개의 세트를 만들기로 하였습니다. 저는 10개의 손의 세트를 만들고, 평행으로 동시에 정확히 같은 것을 하게 하기 위하여 저의 원래 레버에 연결합니다. 이제, 제가 1/4만큼 더 작게 새로운 장치를 만들 때에 저는 각각이 열 개의 복사체를 생산하도록 하였으며, 저는 1/16크기의 100개의 손을 얻게 됩니다.

제가 얻게 될 수백만 개의 선반을 어디에 두면 좋을까요? 하나의 전체 규모의 선반보다 너무 극히 적은 부피이기에 아무것도 할 필요가 없습니다. 예를 들어, 만약 제가 10억 개의

작은 선반을 만든다면, 일반적인 선반의 1/4000만한 규모의 각각은 10억 개의 작은 것들 안에 하나의 커다란 선반의 2%의 물질보다 더 적은 물질들이 있기 때문에 이용 가능한 많은 재료와 공간이 존재합니다.

여러분이 보시다시피, 재료에 관하여 아무런 비용도 들지 않습니다. 그래서 저는 서로를 델로 삼는 작은 10억 개를 만들기를 바랍니다. 그리고 그것은 동시에 생산하고, 구멍을 뚫고, 부품들을 붙이는 등등의 것입니다.

크기가 줄어들면서 많은 흥미로운 문제점들이 발생하게 됩니다. 모든 것들이 단순히 비례하면서 규모가 줄어들지 않습니다. 분자간의 인력에 의해서 물질들이 서로 들러붙는 문제가 발생합니다. 그것은 이와 같습니다. 여러분이 부분과 여러분을 볼트로부터 너트를 돌려 빼 후에 중력이 강하지 않기 때문에 그것은 떨어지려 하지 않을 것입니다. 그것은 볼트에서 떼어내기가 어려울 것입니다. 그것은 당밀을 가득 찬 손을 물 컵에서 빼내려고 노력하는 어떤 남자의 오래된 영화의 그것과 같은 것입니다. 우리가 대처할 준비가 되어있어야 할 이러한 성질의 문제가 여러 가지 있을 것입니다.

원자의 재배열

그러나 저는 궁극적으로 먼 미래에 우리가 원하는 방법으로 특정한 어떤 원자를 계속 작게 하여 배열할 수 있는가 없는가에 대한 마지막 질문에 대해 고려하는 것을 개의치 않습니다. 만약 우리가 우리의 원하는 대로 원자들을 하나씩 배열할 수 있다고 하면 어떤 일이 벌어지겠습니까? (물론 여러분은 예를 들어 화학적으로 불안정한 상태로 그들을 둘 수는 없는 것과 같은 이유 한에서) 지금까지, 우리는 광물을 찾아내기 위하여 기꺼이 땅을 파왔습니다. 우리는 그들을 가열하고, 그들에게 커다란 덩어리에 무언가의 절차를 가하고, 많은 불순물을 함유한 물질을 통해서 순수한 물질을 얻기를 바랍니다. 그러나 우리는 자연이 우리에게 준 원자의 배열을 항상 받아들여야만 합니다. 말하자면 우리는 1000개의 떨어져 배열된 불순물이 있는 체스판의 배열이나 그 밖의 어떤 특정한 패턴들의 아무것도 얻지를 못했습니다.

단지 일정한 층으로만 이루어진 층의 구조로 우리가 할 수 있는 것은 무엇이겠습니까? 만약 우리가 원하는 대로 정말 원자들을 배열할 수 있다면 물질들의 성질은 어떻게 되겠습니까? 그것들은 이론적으로 조사하기에 매우 흥미로울 것입니다. 저는 정확히 무엇이 일어날는지 알 수는 없지만, 저는 우리가 작은 규모의 것들에의 물질 배열을 조절할 수 있을 때에 어마어마한 범위의 물질들이 가질 수 있고 우리가 할 수 있는 다른 것들에 대한 가능한 성질을 얻을 수 있을 것을 믿어 의심치 않는다. 예를 들어 한 회로에 1000~10000용 스트롬의 작은 코일이나 콘덴서 등을 설치하고, 한 쪽에 작은 안테나를 가지고 있으며, 넓은 면적에 다른 끝에 서로 연결되어 일련의 전체 회로의 시리즈를 이루는 한 물질을 가정해 봅시다. 예를 들어, 라디오파를 안테나의 정돈된 세트에서 유럽의 라디오 프로그램까지 쏘아 보내는 것과 같이 안테나 세트 전체로부터 빛을 쏘아 보내는 것이 가능하겠습니까? 특정한 방향으로 매우 높은 강도의 빛을 쏘아내는 같은 일이 일어날 것입니다. (아마도 그러한 광선 기술적으로나 경제적으로 아주 유용하지는 않을 것입니다.)

저는 소규모의 빌딩 전기 회로의 몇 가지 문제점에 대하여 생각해 보아왔으며, 그 문제의 지속은 심각한 것입니다. 만약 여러분이 어떤 소규모의 상용 회로를 만들었다면 그것은 파장의 크기를 낮추어야 되며, 표면의 깊이는 크기의 비의 제곱근으로만 감소하기 때문에 저항 문제의 어려움은 증가됩니다. 만약 진동이 너무 높지 않거나 또는 다른 방법을 이용할

수만 있다면 우리는 초전도의 사용을 통해서 난관을 저항해 나갈 수 있을 것입니다.

(7) 추경혜 (2005190247 영어교육과)

작은 세계의 원자들

우리가 7개의 원자로 구성된 회로와 같은 극히 작은 세계를 이해하게 될 때, 우리는 모양 (design)에 대한 완전히 새로운 기회들을 나타내는 새로운 일들을 많이 접하게 될 것입니다. 작은 규모에서의 원자들은 양자 역학의 법칙에 따르는 큰 규모에서는 아무것도 아닌 것처럼 움직입니다. 따라서 우리가 미시세계에 관심을 가지고 이 세계의 원자를 조작함에 따라, 우리는 기존과는 다른 법칙으로 연구하고 있고, 우리는 이전과는 다른 것들을 할 수 있기를 기대합니다. 우리는 다른 방법들로 만들 수 있습니다. 우리는 단지 회로뿐만 아니라 양자화된 에너지 단계를 포함하는 어떤 체계나, 양자화된 회전 등을 이용할 수 있습니다.

우리가 알아차리게 될 또 다른 것은, 만일 우리가 작은 세계를 알 수 있게 된다면, 우리의 모든 장치는 대량으로 생산될 수 있고, 이것들은 각각이 서로 절대적으로 완전한 복제품이 될 수 있습니다. 우리는 물리적으로 정확히 같은 두 개의 큰 기계를 만들 수 없습니다. 그러나 만약 여러분의 기계가 단지 100개 원자 정도의 높이라면, 여러분은 단지 하나로 그것을 바르게 하면 될 뿐입니다. 다른 기계를 확실히 하기 위한 절반의 백분율은 정확히 같은 크기로서 100개 원자의 높이인 것입니다!

원자 단위에서, 우리는 새로운 종류의 힘과 가능성 그리고 효과를 얻습니다. 생산의 문제들이나 재료의 재생산은 꽤 어려울 것입니다. 저는, 제가 말했듯, 화학적 힘은 모든 종류의 이상한 효과를 만들어내기 위한(그 중의 하나는 필자다) 생물학적 현상에 고무되었습니다.

저의 물리학적 원칙들은, 원자단위로 사물들을 다루는 가능성에 대해서는 언급하지 않습니다. 이것은 그 어떤 법칙에도 위배되지 않으며 이것은 이론적으로는 실행될 수 없지만 실제로는 우리가 너무 커서 실행되어오지 않은 그 어떤 것입니다.

결국, 우리는 화학적 합성을 할 수 있습니다. 우리에게 한 화학자는 다가와 말합니다. “보세요, 나는 원자의 군집으로 구성된 분자를 만들고 싶습니다. 그러니 그 분자를 만들어 주십시오.” 이 화학자는 그가 분자를 만들려 할 때 신비한 일을 진행합니다. 그는 이것이 고리 모양을 하고 있음을 보고, 이것저것을 종합하여 그것들을 섞습니다. 그리고 만지작거리입니다. 그리하여 어려운 과정 끝에 그는 보통 그가 원하는 것을 합성하는데 성공합니다. 제가 저의 계획된 업무를 수행하였을 때, 그리하여 우리가 그것을 물리학적으로 할 수 있을 때, 그는 어떻게 무엇이든 완전하게 종합할 수 있고 그것이 정말 쓸모없는 것인지를 알아낼 것입니다.

그러나 물리학자에게 화학자들이 언급한 어떤 화학물질이든 합성하는 것은 이론적으로는 가능하다는 것은 흥미롭습니다. 주문을 하면 물리학자들은 그것을 합성합니다. 어떻게? 화학자가 말하는 곳에 원자를 두면, 여러분은 물질을 만듭니다. 화학과 생물학의 문제들은, 만일 우리가 무엇을 하고 있는지 보거나 원자단위에서 어떤 일을 할 수 있는 우리의 능력이 결국 개발되면- 피할 수 없다고 내가 생각하는 개발- 엄청나게 도움이 될 수 있습니다. 이제, 여러분은 말할 것입니다. “왜 이것을 해야 하며 그들이 이것을 해야 하는가?” 글썄요, 저는 몇 가지 경제적 이용을 지적하고 싶지만, 저는 여러분이 이것을 아마 단지 흥미를 위해 할 것이라는 것을 알고 있습니다. 그러나 즐겁게 생각하십시오. 실험실 사이에서 경쟁을 하십시오. 한 실험실에 작은 모터를 만들어 다른 실험실로 보내고, 그 모터의 손잡이 안에 꼭 맞는 물체와 함께 다시 그 모터를 다른 실험실로 보내 봅시다.

고교 경연대회

단지 재미로, 혹은 이 분야에 아이들이 관심을 가지게 하기 위하여 저는 고등학교들과 어느 정도 접촉하고 있는 누군가에게 고교 경연 대회와 같은 종류를 만드는 것을 생각해볼길 제안 합니다. 지금까지 우리는 이 분야에서 시작하지도 않았음에도, 아이들은 전에 해왔던 것보다 더 작게 글을 쓸 수 있습니다. 그들은 고교에서 경연 대회를 가질 수 있었습니다. LA고등학교는 Venice고등학교에 “How’s this?” 라고 쓰인 편을 보낼 수 있었습니다. 그들은 그 편을 다시 보내는데, i의 하나의 점에 “그렇게 최신의 것은 아니네.” 라고 적혀있습니다. 아마 여러분이 이것을 하는 것은 그리 신나지 않을 것이고, 경제적으로만 흥미로울 것입니다. 그리고는, 저는 무언가를 하기를 원합니다. 그러나 이 무언가를 지금 시점에서는 할 수 없는데, 왜냐하면 저는 기초가 준비되어 있지 않기 때문입니다. 저는, 이와 같은 방법으로 책의 정보를 선형적으로 책의 1/25000 크기의 더 작은 공간에 넣을 수 있고 전자 현미경으로 읽을 수 있는 첫 번째 사람에게 1000달러의 상을 줄 계획입니다. 그리고 저는 또 다른 상을 제공할 것입니다- 만약 제가 어떻게 표현할지 알아내어 정의들에 대해 난무하는 논쟁에 휘말리지 않는다면- 또 다른 1000달러를 전자동 모터- 1/64 인치밖에 되지 않는 정육면체에 들어가는, 외부로부터 제어되고 납이 포함되지 않은 회전 전자 모터를 가장 먼저 만드는 사람에게 줄 것입니다. 저는 이 상이 수여되는데 그리 오래 기다리지 않기를 바랍니다.