

# 250 Temel Sayılar Teorisi Problemi

Wacław Sierpiński

5 Kasım 2025

# İçindekiler

<b>Sunuş</b>	<b>3</b>
<b>Problemler ve Çözümler</b>	<b>4</b>
Tam Sayıların Bölünmesi . . . . .	4
Aralarında Asal Sayılar . . . . .	14
Aritmetik Diziler . . . . .	18
Asal ve Bileşik Sayılar . . . . .	25
Diofant Denklemleri . . . . .	43
Karışık Problemler . . . . .	52
<b>Kaynakça</b>	<b>57</b>

# Sunus

Bu kitap, matematik dünyasına değerli katkılar sunmuş olan Waclaw Sierpiński'nin klasik eseri *250 Problems in Elementary Number Theory*'nin Türkçe çevirisidir. Amacımız, bu kıymetli eseri matematikseverlere ve öğrencilere ücretsiz olarak ulaştırarak, sayılar teorisinin temel problemlerine olan ilgiyi artırmaktır.

Eserin ilk baskısının üzerinden ellı yılı aşkın bir süre geçmiş olması ve bu çevirinin ticari bir amaç gütmemesi sebebiyle, çalışmamızı ücretsiz olarak erişime açmanın yerinde olacağına inanıyoruz. Yine de eserin telif hakları devam ediyorsa, hak sahiplerinin [acarzfr@gmail.com](mailto:acarzfr@gmail.com) adresinden bizimle iletişime geçmesi durumunda gerekli düzenlemeleri yapmaya hazır olduğumuzu belirtmek isteriz.

Bu kitabın Türkçe matematik literatürüne katkı sağlayacağına inanıyor ve matematik meraklılarının bu eseri aynı coşkuyla okuyacağını umuyoruz.

Waclaw Sierpiński'yi saygı ve minnetle anarak, çevirinin faydalı olmasını dileriz.

*Çeviri Ekibi*

## Teknik Detaylar

Bu kitap, açık kaynaklı bir yazım sistemi olan [Quarto](#) ile hazırlanmıştır. Kitap, HTML ve PDF olmak üzere iki farklı formatta sunulmaktadır:

- [HTML](#)
- [PDF](#)

Soruların çözümleri dipnotlarda verilmiştir. Her iki formatta da soru numarasından çözüme kolayca ulaşabilirsiniz.

Ayrıca, [Hypothesis](#) aracını kullanarak kitap üzerine notlar alabilir ve bu notları herkese açık veya özel olarak paylaşabilirsiniz. Bunun için HTML formatında, sayfanın sağındaki panelden ücretsiz bir hesap oluşturmanız yeterlidir.

# Problemler ve Çözümler

## Tam Sayıların Bölünmesi

1.  $n^2 + 1$  sayısının  $n + 1$ 'e bölünecek şekilde tüm pozitif tam sayı  $n$  değerlerini bulunuz.<sup>1</sup>
2.  $x^3 - 3$  sayısının  $x - 3$ 'e bölünecek şekilde tüm  $x \neq 3$  tam sayılarını bulunuz.<sup>2</sup>
3.  $4n^2 + 1$  sayısının 5'e ve 13'e bölünmesini sağlayan sonsuz sayıda pozitif tam sayı  $n$ 'nin bulunduğu kanıtlayınız.<sup>3</sup>
4. Her pozitif tam sayı  $n$  için  $3n^3 + 26n - 27$  sayısının 169'a bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>4</sup>
5.  $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $22^{6k+2} + 3$  sayısının 19'a bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>5</sup>
6.  $2^{70} + 3^{70}$  sayısının 13'e bölündüğünü gösteriniz.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup>Bu koşulu sağlayan yalnızca bir pozitif tam sayı vardır:  $n = 1$ . Gerçekten de  $n^2 + 1 = n(n + 1) - (n - 1)$ 'dir; bu nedenle,  $n + 1 \mid n^2 + 1$  ise,  $n + 1 \mid n - 1$  olur. Bu, pozitif tam sayılar için yalnızca  $n - 1 = 0$  olduğunda mümkündür, yani  $n = 1$  olmalıdır.

<sup>2</sup> $x - 3 = t$  olarak tanımlayalım. Böylece,  $t$ ,  $t \neq 0$  olacak şekilde bir tam sayı olur ve  $t \mid (t + 3)^3 - 3$ , bu da  $t \mid 3^3 - 3$  yani  $t \mid 24$  koşuluna eşdeğerdir. Bu nedenle,  $t$ 'nin 24'ün bir tam sayı böleni olması gerekli ve yeterlidir. Bu durumda,  $t, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 6, \pm 8, \pm 12, \pm 24$  sayılarından biri olmalıdır.  $x = t + 3$  için şu değerleri elde ederiz:  $-21, -9, -5, -3, -1, 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 15$ , ve 27.

<sup>3</sup>Örneğin,  $65k + 56$  aritmetik dizisindeki tüm  $n$  sayıları (burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ ), istenen özelligi sahiptir. Gerçekten de,  $n = 65k + 56$  için,  $k \geq 0$  tam sayısı ile  $n \equiv 1 \pmod{5}$  ve  $n \equiv 4 \pmod{13}$  olur. Bu nedenle,  $4n^2 + 1 \equiv 0 \pmod{5}$  ve  $4n^2 + 1 \equiv 0 \pmod{13}$  olur. Böylece,  $5 \mid 4n^2 + 1$  ve  $13 \mid 4n^2 + 1$ .

<sup>4</sup>İddiamızı tümevarım yöntemiyle kanıtlayacağımız.  $169 \mid 3^6 - 26 - 27 = 676 = 4 \cdot 169$  olduğunu biliyoruz. Sonraki adımda,  $3^{3(n+1)+3} - 26(n+1) - 27 - (3^{3n+3} - 26n - 27) = 26(3^{3n+3} - 1)$  elde ederiz. Ancak,  $13 \mid 3^3 - 1$ , bu nedenle  $13 \mid 3^{3(n+1)} - 1$  ve  $169 \mid 26(3^{3n+3} - 1)$ 'dır. Tümevarım yöntemiyle kanıt hemen ortaya çıkar.

<sup>5</sup> $2^6 = 64 \equiv 1 \pmod{9}$  olduğuna göre,  $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $2^{6k} \equiv 1 \pmod{9}$  elde ederiz. Bu nedenle  $2^{6k+2} \equiv 2^2 \pmod{9}$  olur ve her iki taraf da çift olduğundan,  $2^{6k+2} \equiv 2^2 \pmod{18}$  elde ederiz. Buradan  $2^{6k+2} = 18t + 2^2$  elde ederiz, burada  $t \geq 0$  bir tam sayıdır. Ancak, Fermat'ın küçük teoremine göre,  $2^{18} \equiv 1 \pmod{19}$ dur ve  $2^{18t} \equiv 1 \pmod{19}$  olur,  $t = 0, 1, 2, \dots$  için. Böylece,  $2^{6k+2} \equiv 2^{18t+4} \equiv 2^4 \pmod{19}$  olur; buradan da  $2^{6k+2} + 3 \equiv 2^4 + 3 \equiv 0 \pmod{19}$  elde edilir ve bu da kanıtlanması gereken şeydir.

<sup>6</sup>Fermat'ın küçük teoremine göre,  $2^{12} \equiv 1 \pmod{13}$  olduğundan,  $2^{60} \equiv 1 \pmod{13}$  elde ederiz. Ayrıca,  $2^5 \equiv 6 \pmod{13}$  olduğu için,  $2^{10} \equiv -3 \pmod{13}$  elde ederiz. Öte yandan,  $3^3 \equiv 1 \pmod{13}$ 'tür, bu da  $3^{69} \equiv 1 \pmod{13}$  ve  $3^{70} \equiv 3 \pmod{13}$  anlamına gelir. Bu nedenle,  $2^{70} + 3^{70} \equiv 0 \pmod{13}$  olur, yani  $13 \mid 2^{70} + 3^{70}$ , bu da kanıtlanması gereken şeydir.

7.  $20^{15} - 1$  sayısının  $11 \cdot 31 \cdot 61$  çarpanına bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>7</sup>

8. Her pozitif tam sayı  $m$  ve  $a > 1$  tam sayısı için

$$\left( \frac{a^m - 1}{a - 1}, a - 1 \right) = (a - 1, m)$$

eşitliğinin sağlandığını kanıtlayınız.<sup>8</sup>

9. Her pozitif  $n$  sayısı için  $3 \cdot (15^5 + 25^5 + \dots + n^5)$  sayısının  $13^3 + 23^3 + \dots + n^3$ 'e bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>9</sup>

10.  $1^n + 2^n + \dots + (n-1)^n$  sayısının  $n$ 'e bölünmesini sağlayan tüm  $n > 1$  tam sayılarını bulunuz.<sup>10</sup>

<sup>7</sup>Açıkça görülüyor ki,  $20^{15} - 1$  sayısının her bir asal böleni olan 11, 31 ve 61'in  $20^{15} - 1$ 'i böldüğünü göstermek yeterlidir.  $2^5 \equiv -1 \pmod{11}$  ve  $10 \equiv -1 \pmod{11}$  olduğundan,  $10^5 \equiv -1 \pmod{11}$ , bu da  $20^5 \equiv 1 \pmod{11}$  ve  $20^{15} \equiv 1 \pmod{11}$  anlamına gelir. Dolayısıyla  $11 \mid 20^{15} - 1$ . Sonra,  $20 \equiv -11 \pmod{31}$  olduğundan,  $20^2 \equiv 121 \equiv -3 \pmod{31}$ 'dir. Bu nedenle,  $20^3 \equiv (-11)(-3) = 33 \equiv 2 \pmod{31}$  ve  $20^{15} \equiv 2^5 \equiv 1 \pmod{31}$  olur. Böylece,  $31 \mid 20^{15} - 1$ . Son olarak,  $3^4 \equiv 20 \pmod{61}$  ve bu da  $20^{15} \equiv 3^{60} \equiv 1 \pmod{61}$  anlamına gelir (Fermat'ın küçük teoremine göre); bu nedenle  $61 \mid 20^{15} - 1$ .

<sup>8</sup> $d = \left( \frac{a^m - 1}{a - 1}, a - 1 \right)$  olarak tanımlayalım. Aşağıdaki eşitliği göz önünde bulunduralım:

$$\frac{a^m - 1}{a - 1} = (a^{m-1} - 1) + (a^{m-2} - 1) + \dots + (a - 1) + m \quad (1)$$

ve  $a - 1 \mid a^k - 1$  ifadesinin  $k = 0, 1, 2, \dots$  için geçerli olduğunu dikkate alarak,  $d \mid m$  elde ederiz. Bu nedenle,  $a - 1$  ve  $m$  sayılarının  $d > \delta$  ortak bir böleni olsaydı, (1) eşitliğine göre  $\delta \mid \frac{a^m - 1}{a - 1}$  olurdu ve  $a^m - 1$  ile  $a - 1$  sayıları  $\delta > d$  ortak bir bölenine sahip olurdu ki bu imkânsızdır. Bu nedenle,  $d$ ,  $a - 1$  ve  $m$  sayılarının en büyük ortak bölenidir ve bu kanıtlanması gereken şeydir.

<sup>9</sup>Pozitif tam sayı  $n$  için, şu eşitlige sahibiz:

$$1^3 + 2^3 + \dots + n^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$$

(bu eşitlik tümevarım ile elde edilir). Yine tümevarım ile şu eşitliği de elde ederiz:

$$1^5 + 2^5 + \dots + n^5 = \frac{1}{12}n^2(n+1)^2(2n^2 + 2n - 1)$$

bu da tüm pozitif tam sayılar  $n$  için geçerlidir. Bu formüllerden şu sonucu elde ederiz:

$$3(1^5 + 2^5 + \dots + n^5)/(1^3 + 2^3 + \dots + n^3) = 2n^2 + 2n - 1$$

bu da istenen özelliği kanıtlar.

<sup>10</sup>Bunlar, 1'den büyük tüm tek sayılardır. Aslında,  $n$  tek ve  $n > 1$  ise,  $(n-1)/2$  pozitif bir tam sayıdır ve  $k = 1, 2, \dots, (n-1)/2$  için kolayca şu ifadeyi elde ederiz:

$$n \mid k^n + (n-k)^n \quad (\text{çünkü } (-k)^n = -k^n)$$

Böylece,  $n \mid 1^n + 2^n + \dots + (n-1)^n$  elde ederiz. Diğer yandan, eğer  $n$  çift ise,  $2^s$ ,  $n$ 'yi bölen en yüksek 2 kuvveti olsun (bu nedenle  $s$  pozitif bir tam sayıdır).  $2^s \geq s$  olduğundan,  $k$  çift olduğunda  $2^s \mid k^n$  ve  $k$  tek olduğunda (bu dizideki  $k$  sayılarının sayısı  $(n-1)/2$ 'dir) Euler'in teoremine göre  $k^{2^s-1} \equiv 1 \pmod{2^s}$  ve  $k^n \equiv 1 \pmod{2^s}$  elde ederiz (çünkü  $2^s \mid n$ ). Böylece şu sonuca ulaşırız:

$$1^n + 3^n + \dots + (n-3)^n + (n-1)^n \equiv \frac{n}{2} \pmod{2^s}$$

11. Pozitif tam  $n$  sayısı için  $a_n = 2^{2n+1} - 2^{n+1} + 1$  ve  $b_n = 2^{2n+1} + 2^{n+1} + 1$  sayılarından hangisinin 5'e bölündüp, hangisinin bölünmediğini tespit ediniz.<sup>11</sup>

12. Her  $n$  pozitif tam sayısı için

$$x + 1, x^x + 1, x^{x^x} + 1, \dots$$

sonsuz dizisinin her bir terimi  $n$ 'ye bölünecek şekilde bir  $x$  pozitif tam sayısı bulunduğunu kanıtlayınız.<sup>12</sup>

13. Her  $x$  çift pozitif tam sayısı için

$$x^x + 1, x^{x^x} + 1, x^{x^{x^x}} + 1, \dots$$

bu da şu sonucu verir:

$$1^n + 2^n + \dots + (n-1)^n \equiv \frac{n}{2} \pmod{2^s}$$

$2^n + 4^n + \dots + (n-2)^n \equiv 0 \pmod{2^s}$  olduğundan,  $n | 1^n + 2^n + \dots + (n-1)^n$  elde ederiz. Eğer  $2^s | n$  ise,  $\frac{n}{2} \equiv 0 \pmod{2^s}$  olur ve  $2^s | n$  ve  $2^{s+1} | n$  gelişimini elde ederiz. Böylece,  $n$  çift olduğunda  $n \nmid 1^n + 2^n + \dots + (n-1)^n$  elde edilir.

**Not:** Fermat teoreminden şu sonucu kolayca çıkarırız: Eğer  $n$  bir asal sayıysa,  $n | 1^n + 1 - 1^n + \dots + (n-1)^n + 1$ . Ancak, bu ilişkisi sağlayan bileşik bir sayı bilmiyoruz. G. Ginga, böyle bir bileşik sayı olmadığını öne sürdü, ancak bu 1'den küçük bileşik bir sayının var olmadığını henüz kanıtlayamadı.

<sup>11</sup>Dört durumu inceleyelim:

(a)  $n = 4k$  olsun, burada  $k$  pozitif bir tam sayıdır. Bu durumda,

$$a_n = 2^{8k+1} - 2^{4k+1} + 1 \equiv 2 - 2 + 1 \equiv 1 \pmod{5},$$

$$b_n = 2^{8k+1} + 2^{4k+1} + 1 \equiv 2 + 2 + 1 \equiv 0 \pmod{5}.$$

$(2^4 \equiv 1 \pmod{5})$  olduğundan,  $2^{4k} \equiv 1 \pmod{5}$ 'tir.)

(b)  $n = 4k + 1$  olsun,  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Bu durumda,

$$a_n = 2^{8k+3} - 2^{4k+2} + 1 \equiv 8 - 4 + 1 \equiv 0 \pmod{5},$$

$$b_n = 2^{8k+3} + 2^{4k+2} + 1 \equiv 8 + 4 + 1 \equiv 3 \pmod{5}.$$

(c)  $n = 4k + 2$  olsun,  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Bu durumda,

$$a_n = 2^{8k+5} - 2^{4k+3} + 1 \equiv 2 - 8 + 1 \equiv 0 \pmod{5},$$

$$b_n = 2^{8k+5} + 2^{4k+3} + 1 \equiv 2 + 8 + 1 \equiv 1 \pmod{5}.$$

(d)  $n = 4k + 3$  olsun,  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Bu durumda,

$$a_n = 2^{8k+7} - 2^{4k+4} + 1 \equiv 8 - 1 + 1 \equiv 3 \pmod{5},$$

$$b_n = 2^{8k+7} + 2^{4k+4} + 1 \equiv 8 + 1 + 1 \equiv 0 \pmod{5}.$$

Sonuç olarak,  $a_n$  sayıları yalnızca  $n \equiv 1$  veya  $2 \pmod{4}$  olduğunda 5'e bölünürken,  $b_n$  sayıları yalnızca  $n \equiv 0$  veya  $3 \pmod{4}$  olduğunda 5'e bölünür. Böylece, yalnızca  $a_n$  veya  $b_n$  sayılarından biri 5'e bölünür.

<sup>12</sup> $x = 2n - 1$  seçmek yeterlidir. Böylece  $x, x^x, x^{x^x}, \dots$  sayılarının her biri tek olur ve dolayısıyla  $2n = x + 1$ , sonsuz dizinin her bir terimi olan  $x + 1, x^x + 1, x^{x^x} + 1, \dots$  sayılarının bir bölenidir.

dizisinin terimlerinden hiçbirinin  $n$ 'ye bölmeyecek şekilde sonsuz sayıda  $n$  tek pozitif tam sayısı bulunduğu kanıtlayınız.<sup>13</sup>

14. Her  $n$  pozitif tam sayısı için  $(n+1)^n - 1$  sayısının  $n^2$ 'ye bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>14</sup>
15. Her  $n$  pozitif tam sayısı için  $2^{(2^n-1)n} - 1$  sayısının  $(2^n - 1)^2$ 'ye bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>15</sup>
16.  $2^n + 1$  sayısı  $n$ 'ye bölünecek şekilde sonsuz sayıda pozitif tam  $n$  sayısı bulunduğu kanıtlayınız. Bu koşulu sağlayan tüm asal sayıları bulunuz.<sup>16</sup>
17. Her  $a > 1$  tam sayısı için  $a^n + 1$  sayısının  $n$ 'ye bölünecek şekilde sonsuz sayıda pozitif tam  $n$  sayısı bulunduğu kanıtlayınız.<sup>17</sup>

---

<sup>13</sup> Örneğin,  $4k+3$  biçimindeki tüm asal sayılar  $p$ . Aslında,  $x$  çift olduğunda, dizideki  $x, x^x, x^{x^x}, \dots$  terimlerinin her biri çifttir. Eğer dizideki  $x + 1, x^{x^x} + 1, x^{x^{x^x}} + 1, \dots$  terimlerinden herhangi biri  $p$ 'ye tam bölünseydi, pozitif bir tam sayı  $m$  için  $p \mid x^m + 1$  ilişkisine sahip olurduk, dolayısıyla  $(x^m)^2 \equiv -1 \pmod{p}$ . Ancak,  $-1, 4k+3$  biçimindeki asal bir modül için bir karekök kalani olamaz.

<sup>14</sup> Binom açılımından

$$(1+n)^n = 1 + \binom{n}{1}n + \binom{n}{2}n^2 + \dots + \binom{n}{n}n^n$$

$n > 1$  için (bu,  $1^2 \mid 2^2 - 1$  durumu göz önüne alındığında varsayılabılır), üçüncü terimden itibaren tüm terimler  $n$ 'yi en az 2 üssünde içerir. İkinci terim  $\binom{n}{1}n = n^2$ 'ye eşittir. Bu nedenle,  $n^2 \mid ((1+n)^n - 1)$  ve bu kanıtlanması gereken şeydir.

<sup>15</sup> Problem 14'e göre, pozitif tam sayılar  $m$  için

$$m^2 \mid ((m+1)^m - 1)$$

ilişkisini elde ederiz.  $m = 2^n - 1$  için,  $(m+1)^m = 2^{(2^n-1)n}$  olduğundan, şu ilişkiyi elde ederiz:

$$(2^n - 1)^2 \mid (2^{(2^n-1)n} - 1),$$

ve bu, kanıtlanması gereken şeydir.

<sup>16</sup>  $3 \mid 2^3 + 1$  ve pozitif bir tam sayı  $m$  için  $3^m \mid 2^{3^m} + 1$  olduğunu varsayıyalım. O zaman  $2^{3^{m+1}} = (3^m k - 1)^3 = 3^m k^3 - 3^m k^2 + 3^m k - 1 = 3^m t - 1$ , burada  $t$  pozitif bir tam sayıdır. Böylece  $3^{m+1} \mid 2^{3^{m+1}} + 1$  ve tümevarım ile  $3^m \mid 2^{3^m} + 1$ 'i elde ederiz,  $m = 1, 2, \dots$ . Ancak,  $n \mid 2^n + 1$  ilişkisini sağlayan başka pozitif tam sayılar da vardır. Aslında, pozitif bir tam sayı  $n$  için  $n \mid 2^n + 1$  ise, aynı zamanda  $2^n + 1 \mid 2^{2^n+1} + 1$  olur. Gerçekten de  $2^n + 1 = kn$ , burada  $k$  bir tam sayıdır (açıkça, tektir), o zaman  $2^n + 1 \mid 2^{kn} + 1 = 2^{2^n+1} + 1$  olur. Böylece  $9 \mid 2^3 + 1$  ifadesi  $513 \mid 2^{513} + 1$  sonucunu verir.

$n$ 'nin asal olduğunu ve  $n \mid 2^n + 1$  olduğunu varsayıyalım. Fermat'ın teoremiyle,  $n \mid 2^n - 2$  elde ederiz, bu da  $n \mid 3$  sonucunu verir.  $n$  asal olduğuna göre,  $n = 3$  elde ederiz. Gerçekten,  $3 \mid 2^3 + 1$  olur. Böylece,  $n \mid 2^n + 1$  ilişkisini sağlayan tek asal sayı  $n = 3$  olur.

<sup>17</sup> Öncelikle O. Reutter'e ait aşağıdaki teoremi kanıtlayacağız (bkz. (Reutter 1963)):

*Eğer  $a + 1$ , tam sayı üs ile bir 2 kuvveti değilse, o zaman  $n \mid a^n + 1$  ilişkisi pozitif tam sayılarla sonsuz çözümü vardır.*

Eğer  $a + 1$ , tam sayı üs ile bir 2 kuvveti değilse, o zaman  $p > 2$  olan bir asal böleni vardır. Bu durumda,  $p \mid a + 1$  olur.

**Lemma.** Eğer  $k \geq 0$  bir tam sayı ve  $p \mid a^k + 1$  ise, o zaman  $p^{k+1} \mid a^{p^{k+1}} + 1$ .

**Lemmanın İspatı.**  $k \geq 0$  olan bir tam sayı için  $p^k \mid a^k + 1$  olduğunu varsayıyalım.  $a^k = b$  yazalım, bu durumda  $p^k \mid b + 1$  elde ederiz, dolayısıyla  $b = -1 \pmod{p^{k+1}}$  olur.

18.  $2^n + 2$  sayısı  $n$ 'ye bölünecek şekilde sonsuz sayıda pozitif tam  $n$  sayısını bulunuğunu kanıtlayınız.<sup>18</sup>
19.  $a^{10} + 1$  sayısının 10'a bölünmesini sağlayan tüm pozitif tam  $a$  sayılarını bulunuz.<sup>19</sup>

$p$  tek asal olduğundan,  $a^{p^{k+1}} + 1 = b^{p+1} = (b+1)(b^{p-1} - b^{p-2} + \dots - b + 1)$  ifadesini elde ederiz.

Ve (günkü  $b = -1 \pmod{p^{k+1}}$ ) bu da  $b^p = 1 \pmod{p^{k+1}}$  anlamına gelir)  $b^2 = 1 \pmod{p}$  ve  $b^{2^i} = 1 \pmod{p}$  elde ederiz. Bu nedenle:

$$b^{p-1} - b^{p-2} + \dots - b + 1 = 0 \pmod{p},$$

bu da ikinci terimin  $p$ 'ye bölünebilir olduğunu gösterir. Dolayısıyla,  $p^{k+1} \mid a^{p^{k+1}} + 1$  elde ederiz ve bu ispatlanması gereken şeydir.

Lemma,  $p \mid a + 1$  olduğunda,  $p^{k+1} \mid a^{p^{k+1}} + 1$  ve  $p^{k+1} \mid a^{p^{k+1}} + 1$  için  $k = 1, 2, \dots$  ifadesiyle tümevarım sağlar. Bu da  $n \mid a^n + 1$  ilişkisini sağlayan sonsuz pozitif tam sayı  $n$  olduğunu ve O. Reutter'in teoremini ispatladığımızı gösterir.

Reutter teoreminin koşullarını sağlayan pozitif tam sayılar için,  $a$ 'nın tek ve  $a > 1$  olduğunu varsayıp yeterlidir. Bu durumda,  $a^2 + 1$  ve  $a^2$  ifadesi  $8k + 1$  formundadır. Dolayısıyla,  $a^2 + 1 = 8k + 2 = 2(4k + 1)$  tek bir çift sayıdır. Şu lemayı ispatlayacağız:

**Lemma.** Eğer  $a$  tek ise, o zaman  $a$  ve  $a^2 + 1$  çift tek sayılar olup,  $s \mid a + 1$  ise, pozitif bir tam sayı  $s_1 > s$  vardır ki  $s_1$  ve  $a^{s_1} + 1$  de çift tek sayılardır ve  $s_1 \mid a^{s_1} + 1$ .

**İspat.**  $a^2 + 1$  ve  $a^{s_1} + 1$  çift tek sayılar olduğundan,  $a + 1 = ms$  elde ederiz, burada  $m$  tektir. Böylece  $a^s + 1 = a^{s_1} + 1 = a^{s_1} + 1'$  dir ve  $a^{s_1} + 1$  çift bir çift tek sayıdır.

$s_1 \mid a + 1$  olduğunda,  $s_1 \mid a^{s_1} + 1$  ve  $s_1 \mid a^{s_1} + 1$  elde ederiz. Bu durumda,  $a > 1$  olduğundan,  $s_1 > s$  olur. Böylece lema ispatlanmış olur.

$a$  tek olduğundan,  $s = 2$  diyebiliriz, bu da lemanın koşullarını sağlar. Böylece,  $n \mid a^n + 1$  ilişkisini sağlayan sonsuz pozitif tam sayı  $n$  olduğunu gösteririz ve bu ispatlanması gereken şeydir (bkz. (Sierpiński 1964c)).

<sup>18</sup> $n$  çift ise ve  $n \mid 2^n + 2$  ve  $n \mid n - 1 \mid 2^{n-1} + 1$  ise (örneğin  $n = 2$  için bu doğrudur), o zaman  $n_1 = 2^n + 2$  sayısı için  $n_1 \mid 2^{n_1} + 2$  ve  $n_1 \mid n_1 - 1 \mid 2^{n_1-1} + 1$  elde ederiz. Aslında,  $n \mid 2^n + 2$  ve  $n$  çift olduğunda,  $2^n + 2 = nk$  elde edilir, burada  $k$  tektir. Dolayısıyla:

$$2^n + 1 \mid 2^{2^{n+2}} + 1 = 2^{2^{2^{n+2}}} + 2$$

$n_1 = 2^n + 2$  için ise:

$$n_1 - 1 = 2^n + 1 \mid 2^{2^{n+1}} + 1$$

Sonra,  $n - 1 \mid 2^{n-1} + 1$  ifadesini elde ederiz ki bu da  $2^n + 1 = 2^{n-1}m + 1$ 'i verir, burada  $m$  tektir. Dolayısıyla:

$$2^n + 1 \mid 2^{a-1}m + 1 = 2^{2^{n+1}}$$

elde ederiz, bu da:

$$2^n + 2 \mid 2^{2^{2^{n+2}}} + 2, \quad \text{ve} \quad n_1 \mid 2^{n_1+2}$$

Bu koşulları sağlayan sonsuz sayıda çift tam sayı  $n$  vardır.

$n_1 = 2^n + 2$  olduğundan, koşullarımıza sağlayan sonsuz sayıda çift tam sayı vardır.  $n = 2$ 'den başlayarak, ardışık sayılar 2, 6, 66, 2<sup>66</sup> + 2, ... Ancak, C. Bindschedler bu yöntemin  $n \mid 2^n + 2$  ilişkisini sağlayan tüm sayıları vermediğini fark etti; örneğin 946 sayısı  $2^{946} + 2$  ilişkisini sağlamaz. Bu problemi tartışan C. Bindschedler tarafından verilen çözümü, *Elemente der Mathematik* dergisinin 18. sayısındaki 430 numaralı problemimde görebilirsiniz (1963), sayfa 90.

<sup>19</sup>Eğer  $a$  bir pozitif tam sayısa ve  $r$  sayısı  $a$  sayısının 10'a bölünmesinden kalan ise,  $a^{10} + 1$  ifadesi ancak ve ancak  $r^{10} + 1$  ifadesi 10'a bölünebiliyorsa 10'a bölünür. Bu nedenle, sadece  $r = 0, 1, 2, \dots, 9$  sayıları dikkate alınmalıdır ve bu sayılar için sadece  $3^{10} + 1$  ve  $7^{10} + 1$  ifadelerinin 10'a bölünebildiğini kolayca doğrularız. Dolayısıyla,  $a^{10} + 1$  ifadesi 10'a

20. Hiçbir  $n > 1$  tam sayısı için  $2^n - 1$  sayısının  $n$ 'ye bölünmediğini kanıtlayınız.<sup>20</sup>
- (a)  $2^n + 1$  sayısının  $n$ 'ye bölünmesini sağlayan sonsuz tane  $n$  pozitif tam sayısının bulunduğuunu gösteriniz.
21.  $3^n + 1$  sayısının  $n$ 'ye bölünmesini sağlayan tüm  $n$  tek pozitif tam sayılarını bulunuz.<sup>21</sup>
22.  $n \cdot 2^n + 1$  sayısının 3'e bölünmesini sağlayan tüm  $n$  pozitif tam sayılarını

bölünebilen tüm  $a$  sayıları  $10k + 3$  ve  $10k + 7$  formundadır, burada  $k = 0, 1, 2, \dots$

<sup>20</sup> $n > 1$  pozitif tam sayılarının olduğunu ve  $n$ 'in en küçüğü olduğunu varsayıyalım. Euler teoremine göre  $n | (2^n - 1)$ . Ancak, pozitif tam sayılar  $a$  ve  $b$  için  $2^a - 1$  ve  $2^b - 1$  sayıların en büyük ortak böleni  $2^d - 1$ 'dir, burada  $d = (a, b)$ 'dir.

$a = n$  ve  $b = \varphi(n)$  için  $d = (n, \varphi(n))$ 'dir, dolayısıyla  $n | (2^d - 1)$ 'dir. Ancak,  $n > 1$  olduğundan  $2^d - 1 > 1$  elde ederiz, bu da  $d > 1$  ve  $1 < d \leq \varphi(n) < n$  anlamına gelir ve  $d | n | (2^d - 1)$  ifadesi  $n$ 'in tanımına aykırıdır.

(a) Örneğin,  $n = 3^k$  biçimindeki tüm sayılar için ( $k = 1, 2, \dots$ ). Bu durumu matematiksel tümevarım yoluyla ispatlayacağız. Elimizde  $3 | 2^{3^k} + 1$  var. Eğer herhangi bir pozitif tam  $k$  için  $3 | 2^{3^k} + 1$ , o zaman, aşağıdaki özdeşlikten hareketle

$$2^{3^{k+1}} + 1 = (2^{3^k} + 1)(2^{3^k} - 2^{3^k} + 1)$$

ve şu gözlemden yola çıkararak:

$$2^{3^k} - 2^{3^k} + 2 = 2^{3^k} + 2 - (2^{3^k} + 1), \quad \text{ve} \quad 3 | 2^{3^k} + 2$$

(çünkü  $4^3$  bölündüğünde kalan 1 verir), formülün ikinci terimi  $2^{3^{k+1}} + 1$ 'in 3 ile bölünebilir olduğunu gösterir, bu da  $3 | 2^{3^{k+1}} + 1$  anlamına gelir.

<sup>21</sup> $n = 1$  olan tek sayıdır. Varsayıyalım ki,  $n > 1$  olan bir tek sayı vardır ve  $n | 3^n + 1$ . Bu durumda,  $n | 9n - 1$ .  $n, n | 9^{\varphi(n)} - 1$  ile pozitif bir tam sayı olsun.  $d = (\varphi(n), n)$  olarak tanımlandığında,  $n | 9^d - 1$  elde edilir. Ancak,  $d > 1$  olduğunda,  $n | 8$  elde edilir ki,  $n$  tek olduğu için bu mümkün değildir. Sonuç olarak  $1 < d \leq \varphi(n) < n$  ve  $d | n$ , bu nedenle  $n > 1$  koşulunu sağlayan tek bir sayı yoktur.

bulunuz.<sup>22</sup>

23. Her tek  $p$  asal sayısı için  $n \cdot 2^n + 1$  sayısının  $p$ 'ye bölünmesini sağlayan sonsuz sayıda  $n$  pozitif tam sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>23</sup>
24. Her pozitif tam  $n$  sayısı için,  $y^y$  sayısı  $x^x$ 'e bölünecek, fakat  $y$  sayısı  $x^x$ 'e bölünmeyecek şekilde  $x > n$  ve  $y$  pozitif tam sayılarının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>24</sup>
25. Her  $n$  tek pozitif tam sayısı için  $2^n - 1$  sayısının  $n$ 'ye bölündüğünü kanıtlayınız.<sup>25</sup>

<sup>22</sup>Açıkça,  $n$  sayısı 3'e bölünemez. Bu nedenle,  $n$  sayısı aşağıdaki formlardan birinde olmalıdır:  $6k + 1, 6k + 2, 6k + 4$  veya  $6k + 5$ , burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ .  
Eğer  $n = 6k + 1$  ise,  $2^6 \equiv 1 \pmod{3}$  olduğundan,

$$n2^n + 1 = (2^6)2 + 1 \equiv 2 + 1 \equiv 0 \pmod{3}.$$

Bu durumda  $3 \mid n2^n + 1$  olur.

Eğer  $n = 6k + 2$  ise,

$$n2^n + 1 = 2(2^6)2 + 1 \equiv 8 + 1 \equiv 0 \pmod{3},$$

yani yine  $3 \mid n2^n + 1$ .

Eğer  $n = 6k + 4$  ise,

$$n2^n + 1 \equiv 4(2^6)2^4 + 1 \equiv 2^5 + 1 \equiv 2 \pmod{3}.$$

Son olarak,  $n = 6k + 5$  ise,

$$n2^n + 1 = 5(2^6)2^5 + 1 \equiv 2 \pmod{3}.$$

Bu durumda,  $n2^n + 1$  ifadesi ancak ve ancak  $n, 6k + 1$  veya  $6k + 2$  formunda olduğunda 3'e bölünebilir. Burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ .

<sup>23</sup>Eğer  $p$  tek bir asal sayıysa ve  $n = (p-1)(kp+1)$ , burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ , o zaman  $n \equiv -1 \pmod{p}$  ve  $p-1 \mid n$ . Fermat'ın küçük teoremi gereğince,  $2^n \equiv 1 \pmod{p}$  olur, dolayısıyla  $n2^n + 1 \equiv 0 \pmod{p}$ .

**Not:** Bu problemden,  $n2^n + 1$  formunda sonsuz sayıda bileşik sayı olduğu sonucu çıkarılabilir, burada  $n$  pozitif bir tam sayıdır. Bu formdaki sayılar Cullen sayıları olarak bilinir.  $1 < n < 141$  aralığında bu formdaki tüm sayılar bileşik olduğu ispatlanmıştır, ancak  $n = 141$  için  $n2^n + 1$  asal bir sayıdır. Sonsuz sayıda asal Cullen sayısı olup olmadığı bilinmemektedir.

<sup>24</sup> $n$  verilen bir pozitif tam sayı olsun ve  $k > 1$  olmak üzere  $2^k > n$  olacak şekilde pozitif bir tam sayı olsun.  $p, 2^k - 1$ 'den büyük bir asal sayı olsun.  $k > 1$  olduğu için,  $x = 2^k, y = 2p$  olarak alalım. Buradan  $x \nmid y$  ve  $x^x \mid y^y$  olur, çünkü  $x = 2^{2^k}$  ve  $y^y = (2p)^{2^k}$ , burada  $2p > 2^k$ .

Örneğin,  $4 \nmid 10$ , fakat  $4^4 \mid 10^{10}$ ,  $8 \nmid 12$ , fakat  $8^8 \mid 12^{12}$ ,  $9 \nmid 21$ , fakat  $9^9 \mid 21^{21}$ .

<sup>25</sup>Pozitif tam sayılar için,  $\varphi(n) \mid n!$  olduğu açıktr. Aslında,  $n = 1$  için bu doğrudur; eğer  $n > 1$  ise ve  $n = q_1^{a_1} q_2^{a_2} \dots q_k^{a_k}$  asal çarpanlarına ayrılmışsa, burada  $q_1 < q_2 < \dots < q_k$  olmak üzere, o zaman

$$\varphi(n) = q_1^{a_1-1} q_2^{a_2-1} \dots q_k^{a_k-1} (q_1 - 1)(q_2 - 1) \dots (q_k - 1)$$

ve  $q_1^{a_1-1} q_2^{a_2-1} \dots q_k^{a_k-1} \mid n$ ,  $q_1 - 1 < q_2 - 1 < \dots < q_k - 1$  olduğu için  $q_k - 1 < n$  ve  $q_1 - 1 < q_2 - 1 < \dots < q_k - 1$ ,  $n$ 'den küçük farklı pozitif tam sayılarıdır. Böylece  $(q_1 - 1)(q_2 - 1) \dots (q_k - 1)(n - 1)! \mid n!$  elde edilir ve buradan  $\varphi(n)(n - 1)! \mid n!$  olduğu sonucu çıkar.

Eğer  $n$  tek ise, (Euler teoremine göre)  $n \mid 2^{\varphi(n)} - 1 \mid 2^{n!} - 1$ , dolayısıyla  $n \mid 2^{n!} - 1$ , bu da kanıtlanması gereken şeydi.

26.  $2^n - 3$  ( $n = 2, 3, \dots$ ) sonsuz dizisinin 5'e bölünen sonsuz sayıda terimi olduğunu; 13'e bölünen sonsuz tane terimin bulunduğuunu, fakat 65'e bölünen hiçbir terimin bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>26</sup>
27.  $2^n - 2$  ve  $3^n - 3$  sayıları  $n$ 'ye bölümnesini sağlayan iki en küçük bileşik  $n$  sayısını bulunuz.<sup>27</sup>
28.  $2^n - 2$  sayısının  $n$ 'ye bölümnesini,  $3^n - 3$  sayısının da  $n$ 'ye bölümnesini sağlayan en küçük  $n$  pozitif tam sayısını bulunuz.<sup>28</sup>
29.  $2^n - 2$  sayısının  $n$ 'ye bölümmemesini,  $3^n - 3$  sayısının da  $n$ 'ye bölümmemesini sağlayan en küçük  $n$  pozitif tam sayısını bulunuz.<sup>29</sup>

<sup>26</sup>Fermat'ın teoremine göre,  $2^4 \equiv 1 \pmod{5}$  ve  $2^{12} \equiv 1 \pmod{13}$ .

$2^3 \equiv 3 \pmod{5}$  ve  $2^4 \equiv 3 \pmod{13}$  olduğu için,  $24k + 3 \equiv 3 \pmod{5}$  ve  $2^{12k+4} \equiv 3 \pmod{13}$  elde ederiz, burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Dolayısıyla,  $5 \mid 2^{4k+3} - 3$  ve  $13 \mid 2^{12k+4} - 3$ , burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ .

Bir sonraki adımda,  $2^6 \equiv 1 \pmod{65}$  olduğunu ve bu nedenle  $2^{12} \equiv 1 \pmod{65}$  olduğunu görürüz. Böylece  $2^n - 3 \equiv 2^n - 3 \pmod{65}$ , bu da  $2^n - 3$  dizisinin ( $n = 2, 3, \dots$ ) 12 periyotlu olduğunu gösterir.  $2^n - 3$  sayılarının hiçbirini ( $n = 2, 3, \dots$ ) 65'e bölmübüysa, bunu göstermek için  $n = 2, 3, \dots, 13$  için  $2^n - 3$  sayılarının 65'e bölündüp bölünmediğini kontrol etmek yeterlidir. 65'e bölündüğünde kalanlar sırasıyla 1, 5, 13, 29, 61, 60, 58, 54, 46, 30, 63, 64 olup, bunların hiçbirini sıfır değildir.

<sup>27</sup> $n \nmid 2^n - 2$  olacak şekildeki en küçük dört bileşik  $n$  sayısının 341, 561, 645 ve 1105 olduğu bilinmektedir (örneğin, bakınız Sierpiński, [37, s. 215]). 341 için,  $341 \nmid 3^{341} - 3$ tür, çünkü Fermat teoremi gereğince  $3^{30} \equiv 1 \pmod{31}$ , bu da  $3^{330} \equiv 1 \pmod{31}$  anlamına gelir, dolayısıyla  $3^{341} \equiv 3^{11} \pmod{31}$  olur.  $3^3 \equiv -4 \pmod{31}$  olduğundan,  $3^9 \equiv -64 \equiv -2 \pmod{31}$  elde ederiz, dolayısıyla  $3^{11} \equiv -18 \pmod{31}$  olur. Bu nedenle  $3^{341} - 3 \equiv 3^{11} - 3 \equiv -21 \pmod{31}$ 'dir ve  $31 \nmid 3^{341} - 3$ , bu da  $341 = 11 \cdot 31 \nmid 3^{341} - 3$  anlamına gelir. Diğer yandan,  $561 = 3 \cdot 11 \cdot 17 \nmid 3^{561} - 3$ tür çünkü  $11 \mid 3^{10} - 1$  olması  $11 \mid 3^{390} - 1$  ve  $11 \mid 3^{561} - 3$  olmasını gerektirir, ve ayrıca  $17 \mid 3^{16} - 1$  olması  $17 \mid 3^{16 \cdot 35} - 1 = 3^{560} - 1$  olmasını gerektirir. Böylece  $17 \nmid 3^{561} - 3$ tür.

Böylece,  $n \mid 2^n - 2$  ve  $n \nmid 3^n - 3$  olan en küçük bileşik  $n$  sayısı  $n = 561$  sayısıdır.

645 sayısı  $3^{645} - 3$ 'ün bir böleni değildir çünkü  $645 = 3 \cdot 5 \cdot 43$ , iken  $3^{42} \equiv 1 \pmod{43}$  olması  $3^{42 \cdot 15} \equiv 1 \pmod{43}$  olmasını gerektirir. Böylece  $3^{630} \equiv 1 \pmod{43}$  ve  $3^{645} \equiv 3^{15} \pmod{43}$ .  $3^4 \equiv -5 \pmod{43}$  olduğundan,  $3^6 \equiv -45 \equiv -2 \pmod{43}$ ,  $3^{12} \equiv 4 \pmod{43}$ ,  $3^{15} \equiv 108 \equiv 22 \pmod{43}$  elde ederiz. Bu nedenle  $3^{645} - 3 \equiv 19 \pmod{43}$ , bu da  $43 \nmid 3^{645} - 3$  anlamına gelir.

Diger yandan,  $1105 \mid 3^{1105} - 3$ tür. Gerçekten de,  $1105 = 5 \cdot 13 \cdot 17$ ,  $3^4 \equiv 1 \pmod{5}$  ve  $3^{1104} \equiv 1 \pmod{5}$ , ve  $5 \mid 3^{1105} - 3$ . Sonra,  $3^{12} \equiv 1 \pmod{13}$ ,  $3^{1104} \equiv 1 \pmod{13}$  ve  $13 \mid 3^{1105} - 3$ . Son olarak,  $3^{16} \equiv 1 \pmod{17}$ , ve  $1104 = 16 \cdot 69$  olduğundan,  $3^{1104} \equiv 1 \pmod{17}$  elde ederiz, bu da  $17 \mid 3^{1105} - 3$  anlamına gelir. Böylece,  $n \mid 2^n - 2$  ve  $n \nmid 3^n - 3$  koşulunu sağlayan en küçük iki bileşik sayı 561 ve 1105'tir.

**Not:**  $n \mid 2^n - 2$  ve  $n \nmid 3^n - 3$  olacak şekilde sonsuz çoklukta bileşik  $n$  sayısı olup olmadığını bilmiyoruz. Bu iddia, A. Schinzel'in asal sayılarla ilgili bir sanısından ((Schinzel ve Sierpiński 1958a)) çıkıştır. Asal  $n$  sayıları için, Fermat teoremi nedeniyle hem  $n \mid 2^n - 2$  hem de  $n \mid 3^n - 3$  ilişkileri geçerlidir.

<sup>28</sup> $n \nmid 3^n - 3$  ve Fermat teoremi göz önüne alındığında,  $n$  sayısı bileşik olmalıdır ve  $n \mid 2^n - 2$  ile  $n \nmid 3^n - 3$  koşulunu sağlayan en küçük bileşik  $n$  sayısı  $n = 341$ 'dir. Problem 27'nin çözümünde  $341 \nmid 3^{341} - 3$  olduğunu kanıtlamıştık. Böylece,  $n \mid 2^n - 2$  ve  $n \nmid 3^n - 3$  olacak şekildeki en küçük  $n$  sayısı  $n = 341$ 'dir.

**Not:** A. Rotkiewicz,  $n \mid 2^n - 2$  ve  $n \nmid 3^n - 3$  olacak şekilde hem çift hem de tek olan sonsuz çoklukta pozitif  $n$  tam sayısının var olduğunu kanıtlamıştır.

<sup>29</sup> $n = 6$  sayısı istenen özelliği sağlar. Ashlinda, eğer  $n \nmid 2^n - 2$  ise,  $n$  bileşik olmalıdır. En küçük

30. Her  $a$  pozitif tam sayısı için  $a^n - a$  sayısının  $n$ 'e bölünecek şekilde bir  $n$  bileşik sayısı bulunuz.<sup>30</sup>

31.  $a, b, c$  tam sayılar olmak üzere  $a^3 + b^3 + c^3$  sayısı 9'a bölünüyorsa,  $a, b, c$  sayılarından en az birinin 3'e böldüğüünü kanıtlayınız.<sup>31</sup>

32.  $a_k, k = 1, 2, 3, 4, 5$  tam sayılar olmak üzere

$$a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + a_4^3 + a_5^3$$

sayısı 9'a bölünüyorsa,

$$3 \mid (a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5)$$

olduğunu kanıtlayınız.<sup>32</sup>

33.  $(x, y) = 1$  ve  $x^2 + y^2 = z^4$  olmak üzere  $x, y, z$  pozitif tam sayılsa,  $7 \mid x$  ya da  $y$  olduğunu kanıtlayınız.  $(x, y) = 1$  koşulunun gerekli olduğunu gösteriniz.<sup>33</sup>

bileşik sayı 4'tür, ancak  $4 \nmid 3^4 - 3 = 78$ . Sonraki bileşik sayı 6'dır ve  $6 \nmid 2^6 - 2 = 62$  iken,  $6 \mid 3^6 - 3$ 'tür çünkü  $3^6 - 3$  bariz bir şekilde çifttir ve 3 ile bölünebilir.

**Not:** A. Rotkiewicz,  $n \mid 3^n - 3$  ve  $n \nmid 2^n - 2$  olacak şekilde hem çift hem de tek olan sonsuz çökatkta bileşik  $n$  sayısının var olduğunu kanıtlamıştır.

<sup>30</sup>Eğer  $a$  bileşik ise,  $n = a$  alabiliriz çünkü  $a \mid a^n - a$  olduğu açıktr. Eğer  $a = 1$  ise,  $n = 4$  alabiliriz çünkü  $4 \mid 1^4 - 1$ . Eğer  $a > 2$  bir asal ise,  $n = 2a$  alabiliriz çünkü bu durumda  $a$  tekdir ve  $a^{2a} - a$  sayısı çifttir; böylece, tek bir  $a$  sayısı ile ve 2 ile bölünebilen  $a^{2a} - a$ ,  $2a$  ile bölünebilir. Geriye  $a = 2$  durumunu ele almak kahiyor. Burada  $n = 341 = 11 \cdot 31$  alabiliriz çünkü  $341 \mid 2^{341} - 2$ ; bu son özellik şu şekilde kanıtlanabilir:  $11 \mid 2^{10} - 1 = 1023$  elimizdedir, dolayısıyla  $11 \mid 2^{340} - 1$ , ve  $11 \mid 2^{341} - 2$ . Sonra,  $31 = 2^5 - 1 \mid 2^{340} - 1$ , dolayısıyla  $31 \mid 2^{341} - 2$ . Böylece  $2^{341} - 2$  sayısı 11 ve 31 ile bölünebilir, dolayısıyla bunların çarpımı olan 341 ile de bölünebilir.

**Not:** M. Cipolla, her pozitif  $a$  tam sayısı için  $n \mid a^n - a$  olacak şekilde sonsuz çökatkta bileşik  $n$  sayısının var olduğunu kanıtlamıştır. (Bakınız (Cipolla 1904)). Ancak, her  $a$  tam sayısı için  $n \mid a^n - a$  olacak şekilde sonsuz çökatkta bileşik  $n$  sayısının olup olmadığını bilmiyoruz. Bu tür sayıların en küçüğü 561 = 3 · 11 · 17'dir. A. Schinzel'in asal sayılarla ilgili belirli bir sanısından ((Schinzel ve Sierpiński 1958a)) bu tür sonsuz çökatkta bileşik sayının var olduğu sonucu çıkar.

<sup>31</sup>3 ile bölünemeyen bir tam sayının küpünün 9'a bölünmesiyle elde edilen kalan 1 veya -1'dir. Böylece, eğer  $a, b, c$  sayılarından hiçbir 3 ile bölünemeseydi, o zaman  $a^3 + b^3 + c^3$  sayısının 9'a bölünmesiyle elde edilen kalan, + ve - işaretlerinin herhangi bir kombinasyonu için 9 ile bölünemeyen  $\pm 1 \pm 1 \pm 1$  olurdu. Buradan, eğer  $9 \mid a^3 + b^3 + c^3$  ise, o zaman  $3 \mid abc$  olduğu sonucu çıkar, ki bu da kanıtlanması gerekdir.

<sup>32</sup>Kanıt, Problem 31'deki kanita benzerdir çünkü  $\pm 1 \pm 1 \pm 1 \pm 1 \pm 1$  sayısı, + ve - işaretlerinin herhangi bir kombinasyonu için 9 ile bölünemez.

<sup>33</sup> $(x, y) = 1$  koşulu gereklidir çünkü, örneğin,  $15^2 + 20^2 = 5^4$ , iken  $7 \nmid 15 \cdot 20$ . Şimdi, eğer  $(x, y) = 1$  ise ve  $x, y, z, x^2 + y^2 = z^4$  olacak şekilde pozitif tam sayılar ise, o zaman Pisagor denklemi teorisinden, örneğin  $x = m^2 - n^2$ ,  $y = 2mn$ ,  $z^2 = m^2 + n^2$  olacak şekilde  $m$  ve  $n$  tam sayıları vardır.  $7 \nmid y$  olduğunu varsayıyalım; böylece  $7 \nmid m$  ve  $7 \nmid n$ . 7 ile bölünmeyen bir tam sayının karesinin 7'ye bölünmesiyle 1, 2 veya 4 kalanını verdigini görmek kolaydır.  $1+2$ ,  $1+4$  ve  $2+4$  bu tür kalanlar olamayacağından ve hiçbir 7 ile bölünemediğinden,  $z^2 = m^2 + n^2$  denkleminden  $m$  ve  $n$  sayılarının 7'ye bölündüğünde aynı kalanları vermesi gerektiği sonucu çıkar. Böylece  $7 \mid x = m^2 - n^2$ .

34.  $a, b$  tam sayıları için  $7 \mid a^2 + b^2$  ise  $7 \mid a$  veya  $7 \mid b$  olduğunu kanıtlayınız.<sup>34</sup>
35. Aşağıdaki koşulları sağlayan sonsuz sayıda  $x, y$  pozitif tam sayı çiftinin bulunduğu kanıtlayınız ve böyle çiftlerden en küçüğünü bulunuz:<sup>35</sup>
- $$x(x+1) \mid y(y+1), \quad x+y, \quad x+1 \mid y, \quad x \cdot y + 1, \quad x+1 \mid y+1$$
36. Her  $s \leq 25$  pozitif tam sayısı ve  $s = 100$  için basamakları toplamı  $s$ 'ye eşit olan ve  $s$ 'ye bölünen en küçük  $n$  pozitif tam sayısını bulunuz.<sup>36</sup>
37. Her  $s$  pozitif tam sayısı için,  $s$ 'ye bölünen ve basamakları toplamı  $s$ 'ye eşit olan bir  $n$  pozitif tam sayısı bulunduğu kanıtlayınız.<sup>37</sup>
38. Aşağıdakileri kanıtlayınız.<sup>38</sup>

<sup>34</sup>7 ile bölünmeyen bir tam sayının karesi 7'ye bölündüğünde 1, 2 veya 4 kalanını verir, dolayısıyla bu tür karelerin toplamı 1, 2, 3, 4, 5 veya 6 kalanını verir. Böylece, eğer  $a$  ve  $b$ ,  $7 \mid a^2 + b^2$  olacak şekilde tam sayılar ise, o zaman bunlardan biri, dolayısıyla diğerinin 7 ile bölünmelidir.

<sup>35</sup> $x = 36k + 14$ ,  $y = (12k + 5)(18k + 7)$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , sayıları istenen özelliği sağlar.

Aşında,  $x(x+1) = 2 \cdot 3(12k+5)(18k+7) = 6y$  olduğu açıkça görülürken,  $6 \mid y+1$ .

$y$  sayısı  $x$  ile bölünemez çünkü  $y$  tekdir,  $x$  ise çifttir.  $y$  sayısı  $x+1$  ile bölünemez çünkü  $3 \mid x+1$ , iken  $3 \nmid y$ .  $y+1$  sayısı  $x$  ile bölünemez çünkü  $18k+7 \mid x$  ve  $18k+7 \mid y$ , dolayısıyla  $18k+7 \nmid y+1$ . Son olarak,  $y+1$  sayısı  $x+1$  ile bölünemez çünkü  $12k+5 \mid x+1$  ve  $12k+5 \mid y$ , dolayısıyla  $12k+5 \nmid y+1$ .

$k = 0$  için  $x = 14$ ,  $y = 35$  elde ederiz ve istenen özelliğe sahip daha küçük sayılar olmadığını göstermek kolaydır.

<sup>36</sup> $s < 10$  için, elbette  $n_s = s$ 'e sahibiz. Sonra,  $s$ 'nin ardışık katlarını inceleyerek,  $n_{10} = 190$ ,  $n_{11} = 209$ ,  $n_{12} = 48$ ,  $n_{13} = 247$ ,  $n_{14} = 266$ ,  $n_{15} = 155$ ,  $n_{16} = 448$ ,  $n_{17} = 476$ ,  $n_{18} = 198$ ,  $n_{19} = 874$ ,  $n_{20} = 9920$ ,  $n_{21} = 399$ ,  $n_{22} = 2398$ ,  $n_{23} = 1679$ ,  $n_{24} = 888$ ,  $n_{25} = 4975$  elde ederiz. Son olarak,  $n_{100} = 19999999999900$ 'a sahibiz. Aşında, 100 ile bölünebilen her sayının son iki basamağı sıfır olmalıdır ve 199999999999'dan küçük her sayının rakamları toplamı açıkça 100'den küçüktür. Bakınız (Kaprekar 1955).

<sup>37</sup> $s$  pozitif bir tam sayı olsun,  $s = 2^\alpha 5^\beta t$ , burada  $\alpha$  ve  $\beta \geq 0$  tam sayılar, ve  $t$ , 2 veya 5 ile bölünemeyen pozitif bir tam sayıdır. Euler teoremine göre  $10^{\varphi(t)} \equiv 1 \pmod{t}$ 'ye sahibiz.  $n = 10^{\alpha+\beta}(10^{\varphi(t)} + 10^{2\varphi(t)} + \dots + 10^{s\varphi(t)})$  olsun.  $10^{\varphi(t)} + 10^{2\varphi(t)} + \dots + 10^{s\varphi(t)} \equiv s \equiv 0 \pmod{t}$  ( $t \mid s$  olduğundan) sahibiz, ve  $2^\alpha 5^\beta \mid 10^{\alpha+\beta}$  olduğundan,  $n$  sayısı  $s$  ile bölünebilir. Diğer yandan,  $n$  sayısının ondalık rakamlarının toplamının  $s$ 'ye eşit olduğu açıktır.

<sup>38</sup>

- (a) Eğer sayının  $4k+3$  biçiminde bir asal böleni yoksa, teorem bariz bir şekilde doğrudur. Teoremin, asal çarpanlarına (birinci kuvvetler halinde, dolayısıyla farklı olması gerekmeyen) ayırtımı  $s \geq 0$  tane  $4k+3$  biçiminde asal içeren tüm sayılar için doğru olduğunu varsayıyalım.  $n$ , asal çarpanlarına (birinci kuvvetler halinde, dolayısıyla farklı olması gerekmeyen) ayırtımı  $s+1$  tane  $4k+3$  biçiminde asal çarpan içeren pozitif bir tam sayı olsun. O zaman  $n = mq$  olur; burada  $m$ 'nin asal çarpanlarına (birinci kuvvetler halinde) ayırtımı  $s$  tane  $4k+3$  biçiminde çarpan içeri ve  $q$ ,  $4k+3$  biçiminde bir asaldır.  $g$ ,  $m$ 'nin  $4k+1$  biçimindeki tam sayı bölenlerinin sayısını göstersin ve  $h$ ,  $m$ 'nin  $4k+3$  biçimindeki tam sayı bölenlerinin sayısını göstersin. Varsayılm gereği ( $s$  ile ilgili olarak)  $g \geq h$ 'ye sahibiz. Şimdi,  $mq$ 'nın  $4k+1$  biçimindeki tam sayı bölenleri, elbette  $m$ 'nin  $4k+1$  biçimindeki bölenleri (bu bölenlerin sayısı  $g$ 'ye eşittir) ve ayrıca  $m$ 'nin  $4k+3$  biçimindeki tam sayı bölenlerinin  $q$  sayısını ile çarpılmışlardır; bu bölenlerin sayısı  $h$ 'dir. Böylece,  $mq$  sayısı  $g+h$  tane  $4k+1$  biçiminde tam sayı bölene sahip olacaktır. Diğer yandan,  $mq$ 'nın  $4k+3$  biçimindeki tam sayı bölenleri,  $m$ 'nin  $4k+3$  biçimindeki tam sayı bölenleri (bu bölenlerin

- (a) Her pozitif tam sayının  $4k + 1$  şeklindeki bölenlerinin sayısı  $4k + 3$  şeklindeki bölenlerinin sayılarından az değildir.
- (b)  $4k + 1$  şeklindeki bölenlerinin sayısı  $4k + 3$  şeklindeki bölenlerinin sayısına eşit olan sonsuz tane pozitif tam sayı bulunduğu kanıtlayınız.
- (c)  $4k + 1$  şeklindeki bölenlerinin sayısı  $4k + 3$  şeklindeki bölenlerinin sayılarından fazla olan sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunur.
39.  $a, b, c$  herhangi tam sayılar ve  $n$  de  $3$ 'ten büyük olan bir tam sayı ise,  $k = a, k + b, k + c$  sayılarının hiçbirinin  $n$ 'ye bölünmeyecek şekilde bir  $k$  tam sayısının bulunduğu kanıtlayınız.<sup>39</sup>
40.  $F_n = 2^{2^n} + 1$  için  $F_n \mid 2^{F_n} - 2$  olduğunu kanıtlayınız ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).<sup>40</sup>

## Aralarında Asal Sayılar

41. Her  $k$  tam sayısı için  $2k + 1$  ve  $9k + 4$  sayılarının aralarında asal olduğunu kanıtlayınız.  $2k - 1$  ve  $9k + 4$  sayılarının OBEB'ini  $k$ 'ya bağlı bir fonksiyon olarak bulunuz.<sup>41</sup>

sayısı  $h$ 'dir) ve  $m$ 'nin  $4k + 1$  biçimindeki bölenlerinin  $q$  ile çarpımları (bu bölenlerin sayısı  $g$ 'dır) olacaktır. Ancak, bu sonuncular arasında  $m$ 'nin  $4k + 3$  biçimindeki bölenleri olan bölenler olabilir. Böylece  $mq$ 'nın  $4k + 3$  biçimindeki tam sayı bölenlerinin toplam sayısı  $\leq h + g$ 'dır (ve belki de,  $< h + g$ ). Teorem her  $mq$  sayısı için doğru olduğundan, tümevarım yoluya ( $s$ 'ye göre) teoremin pozitif  $s$  tam sayısı için doğru olduğunu elde ederiz.

- (b)  $3^{2n-1}$  sayısı ( $n = 1, 2, \dots$ )  $4k + 1$  biçiminde (yani,  $1, 3^2, 3^4, \dots, 3^{2n-2}$ ) tam sayı bölenlerine sahip olduğu kadar  $4k + 3$  biçiminde (yani  $3, 3^3, 3^5, \dots, 3^{2n-1}$ ) bölenlere sahiptir.
- (c)  $3^{2n}$  sayısı ( $n = 1, 2, \dots$  olmak üzere)  $n + 1$  tane  $4k + 1$  biçiminde (yani  $1, 3^2, 3^4, \dots, 3^{2n}$ ) bölene ve sadece  $n$  tane  $4k + 3$  biçiminde (yani  $3, 3^3, \dots, 3^{2n-1}$ ) bölene sahiptir.  $5^n$  sayısının tüm  $n + 1$  böleni  $4k + 1$  biçimindedir ve  $4k + 3$  biçiminde hiç böleni yoktur.

<sup>39</sup> $r_1, r_2$ , ve  $r_3, -a, -b$ , ve  $-c$  tam sayılarının  $n$ 'ye bölünmesiyle elde edilen kalanlar olsun. Böylece,  $r_1, r_2$ , ve  $r_3, 0, 1, 2, \dots, n-1$  dizisinden tam sayılardır, ve  $r_1, r_2, r_3$  sayıları arasında en fazla üç farklı sayı olduğundan,  $n > 3$  iken, bu dizide  $r \neq r_1, r \neq r_2$ , ve  $r \neq r_3$  olacak şekilde bir  $r$  sayısı vardır. Eğer  $n \mid a + r$  olsaydı, o zaman  $-a \equiv r_1 \pmod{n}$  olduğundan  $n \mid r - r_1$  olurdu. Ancak,  $r$  ve  $r_1, \geq 0$  ve  $< n$  olan tam sayılardır, ve eğer farkları  $n$  ile bölünebiliyorsa, o zaman  $r$ 'nin tanımının aksine  $r = r_1$  olmalıdır. Benzer bir şekilde  $n \nmid b + r$  ve  $n \nmid c + r$  olduğunu gösteririz. Böylece,  $k = r$  alabilirmiz.

<sup>40</sup>Pozitif  $n$  tam sayıları için  $2^n \geq n+1$  olduğunu tümevarımla kolayca gösteririz, bu da  $2^{n+1} \mid 2^{2^n}$  ve  $2^{2^{n+1}} - 1 \mid 2^{2^n} - 1$  anlamına gelir. Bu nedenle  $F_n = 2^{2^n} + 1 \mid 2^{2^{n+1}} - 1 \mid 2^{2^n} - 1 \mid 2^{2^{n+1}} - 2 = 2F_n - 2$ , ve  $F_n \mid 2F_n - 2$ , ki bu da kanıtlanması gerekendi.

**Not:** T. Banachiewicz, bu ilişkinin P. Fermat'ı tüm  $F_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayılarının asal olduğu sanısına götürdürgünden şüpheleniyordu. Fermat'ın zamanında, sözde Çin teoreminin doğru olduğu düşünülüyordu, yani bir  $m > 1$  tam sayısı  $m \mid 2^m - 2$  ilişkisini sağlıyorsa, o zaman  $m$ 'nin asal olduğunu öne süren teorem (bu, ilk birkaç yüz tam sayı için kontrol edilmişti). Ancak bu, o zamanlar bilinmeyen  $m = 341 = 11 \cdot 31$  için çöker.

<sup>41</sup> $9(2k + 1) - 2(9k + 4) = 1$  olduğundan  $2k + 1$  ve  $9k + 4$  sayıları aralarında asaldır.  $9k + 4 = 4(2k - 1) + (k + 8)$  ve  $2k - 1 = 2(k + 8) - 17$  olduğundan,  $(9k + 4, 2k - 1) = (2k - 1, k + 8) = (k + 8, 17)$ 'ye sahibiz. Eğer  $k \equiv 9 \pmod{17}$  ise,  $(k + 8, 17) = 17$  olur; aksi durumda,  $17 \nmid k + 8$ 'dır, dolayısıyla  $(k + 8, 17) = 1$  olur. Böylece, eğer  $k \equiv 9 \pmod{17}$  ise

42.  $\frac{n(n+1)}{2}$  şeklinde olan her ikilisi aralarında asal olan sonsuz tane tam sayı bulunduğuunu gösteriniz.<sup>42</sup>
43.  $\frac{n(n+1)(n+2)}{6}$  şeklinde olan her ikilisi aralarında asal olan sonsuz tane tam sayı bulunduğuunu gösteriniz.<sup>43</sup>
44.  $a$  ve  $b$  birinden farklı tam sayılar ise,  $a + n$  ve  $b + n$  sayıları aralarında asal olacak şekilde sonsuz sayıda  $n$  tam sayısı bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>44</sup>
45.  $a, b, c$  birbirinden farklı tam sayılarsa,  $a + n, b + n, c + n$  sayıları ikişer ikişer aralarında asal olacak şekilde sonsuz sayıda  $n$  pozitif tam sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>45</sup>

$(9k + 4, 2k - 1) = 17$  ve eğer  $k \not\equiv 9 \pmod{17}$  ise  $(9k + 4, 2k - 1) = 1$ 'dir.

<sup>42</sup>İlk olarak, eğer  $m$  pozitif bir tam sayı olmak üzere,  $a_1 < a_2 < \dots < a_m$  şeklinde ikişer aralarında asal  $m$  tane üçgensel sayıya sahipsek,  $t > a_m$  ve  $(t, a_1, a_2, \dots, a_m) = 1$  olacak şekilde bir  $t$  üçgensel sayısının var olduğunu gösteriyoruz.

Aşlında,  $a = a_1 a_2 \dots a_m$  olsun;  $a + 1$  ve  $2a + 1$  sayıları  $a$  ile aralarında asaldır.

$$a_{m+1} = t_{2a+1} = \frac{(2a+1)(2a+2)}{2} = (a+1)(2a+1)$$

sayısı  $a_m$  'den büyük bir üçgensel sayıdır;  $a$  ile aralarında asal olduğundan,  $a_1, a_2, \dots, a_m$  sayılarının her biriyle aralarında asaldır.

Buradan şu sonuç çıkar: Eğer ikişerli aralarında asal üçgensel sayılardan oluşan sonlu artan bir dizimiz varsa, o zaman her zaman hepsini aşan ve onlarla aralarında asal olan bir üçgensel sayı bulabiliriz. Her zaman bu tür sayıların en küçüğünü alarak,

$$t_1 = 1, t_2 = 3, t_4 = 10, t_{13} = 91, t_{22} = 253, \dots$$

ikişerli aralarında asal üçgensel sayılardan oluşan sonsuz diziyi oluştururuz.

<sup>43</sup>İlk olarak, eğer  $m$  pozitif bir tam sayı olmak üzere,  $a_1 < a_2 < \dots < a_m$  dörtüzlü (tetrahedral) sayıları ikişerli aralarında asalsa, o zaman  $T > a_m$  ve  $(T, a_1, a_2, \dots, a_m) = 1$  olacak şekilde bir  $T$  dörtüzlü sayısının var olduğunu kanıtlayacağız. Aşlında,  $a = a_1 a_2 \dots a_n$  olsun.  $T = T_{6a+1} = (6a+1)(3a+1)(2a+1)$  alalım;  $T$ 'nin  $a$  ile aralarında asal olduğu, dolayısıyla  $a_1, \dots, a_m$  sayılarının her biri ile aralarında asal olduğu ve  $T > a \geq a_m$  olduğu açıklıktır. Böylece, ikişerli aralarında asal dörtüzlü sayılardan oluşan istenen artan diziyi tümevarımla tanımlayabiliriz: dizinin ilk terimi olarak  $T_1 = 1$ 'i alın ve bu dizinin ilk  $m$  tane ikişerli aralarında asal dörtüzlü sayısını tanımladıktan sonra,  $m + 1$ 'inciyi ilk  $m$  terimin tümünü aşan ve her biriyle aralarında asal olan en küçük dörtüzlü sayı olarak tanımlayın. Bu şekilde, ikişerli aralarında asal dörtüzlü sayılardan oluşan sonsuz artan diziyi elde ederiz

$$T_1 = 1, T_2 = 4, T_5 = 35, T_{17} = 969, \dots$$

<sup>44</sup> $a$  ve  $b$  iki farklı tam sayı olsun. Örneğin,  $a < b$  olduğunu varsayıyalım ve  $n = (b - a)k + 1 - a$  olsun. Yeterince büyük  $k$  için,  $n$  pozitif bir tam sayı olacaktır.  $a + n = (b - a)k + 1$  ve  $b + n = (b - a)(k + 1) + 1$  olur, dolayısıyla  $a + n$  ve  $b + n$  pozitif tam sayılar olacaktır. Eğer  $d | a + n$  ve  $d | b + n$  olsaydı,  $d | a - b$  olurdu ve  $d | a + n$  olduğundan,  $d | 1$  de olur, bu da  $d = 1$  anlamına gelir. Böylece,  $(a + n, b + n) = 1$ .

<sup>45</sup>Eğer  $a, b, c$  tam sayıları farklıysa, o zaman

$$h = (a - b)(a - c)(b - c)$$

sayısı sıfırdan farklıdır.  $h \neq \pm 1$  durumunda,  $q_1, \dots, q_s, h$ 'nın 3'ten büyük tüm asal bölenlerini gösterrsün.

$a, b, c$  sayılarından iki veya daha fazlası çift ise,  $r = 1$  alın, aksi takdirde  $r = 0$  alın. Açıkça,

46.  $a+n, b+n, c+n$  ve  $d+n$  sayılarının ikişer ikişer aralarında asal olmamasını sağlayan hiçbir  $n$  pozitif tam sayısı olmayacak şekilde birbirinden farklı  $a, b, c, d$  pozitif tam sayıları bulunuz.<sup>46</sup>
47. 6'dan büyük olan her tam sayının 1'den büyük ve aralarında asal olan iki tam sayının toplamı şeklinde gösterilebileceğini kanıtlayınız.<sup>47</sup>
48. 17'den büyük olan her tam sayının ikişer ikişer aralarında asal olan 1'den büyük 3 tam sayının toplamı şeklinde yazılabileceğini ve 17'nin de bu şekilde gösterilemeyeceğini kanıtlayınız.<sup>48</sup>

$a+r, b+r, c+r$  sayılarından en az ikisi tek olacaktır. Eğer  $a, b, c$  sayıları 3'e bölündüğünde üç farklı kalan veriyorsa,  $r_0 = 0$  alın. Eğer  $a, b, c$  arasından iki veya daha fazlası 3'e bölündüğünde aynı  $q$  kalanını veriyorsa,  $r_0 = 1 - q$  alın. Açıka,  $a + r_0, b + r_0, c + r_0$  sayılarından en az ikisi 3 ile bölünemeyecektir.

Şimdi,  $i, 1, 2, \dots, s$  sayılarından birini göstersin. Problem 39'un ışığında (ve  $q_i > 3$  gerçeğeyle),  $a + r_i, b + r_i, c + r_i$  sayılarından hiçbirinin  $q_i$  ile bölünmemesini sağlayan bir  $r_i$  tam sayısı vardır. Çin kalan teoremine göre,

$$n \equiv r \pmod{2}, \quad n \equiv r_0 \pmod{3},$$

ve

$$n \equiv r_i \pmod{q_i} \quad i = 1, 2, \dots, s \text{ için}$$

olacak şekilde sonsuz sayıda pozitif  $n$  tam sayısı vardır.

$a+n, b+n$  ve  $c+n$  sayılarının ikişerli aralarında asal olduğunu göstereceğiz. Örneğin,  $(a+n, b+n) > 1$  olduğunu varsayıyalım. O zaman,  $q | a+n$  ve  $q | b+n$  olacak şekilde bir  $q$  asalı var olurdu, dolayısıyla  $q | a-b$ , bu da  $q | h$  ve  $h \neq \pm 1$  anlamına gelir.  $n \equiv r \pmod{2}$  olduğundan ve  $a+r, b+r, c+r$  sayılarından en az ikisi tek olduğundan,  $a+n, b+n, c+n$  sayılarından en az ikisi tektir ve  $q = 2$  olamaz. Ardından,  $n \equiv r_0 \pmod{3}$  olduğundan ve  $a+r_0, b+r_0, c+r_0$  sayılarından en az ikisi 3 ile bölünmediğinden,  $a+n, b+n, c+n$  sayılarından en az ikisi 3 ile bölünmez ve  $q = 3$  olamaz.  $q | h$  olduğundan,  $h$ 'nin tanımı gereği,  $1, 2, \dots, s$  dizisinden belirli bir  $i$  için  $q = q_i$  olur. Ancak,  $n \equiv r_i \pmod{q_i}$  olması ve  $a+r_i, b+r_i, c+r_i$  sayılarından hiçbirinin  $q_i$  ile bölünmemesi gerçeği göz önüne alındığında,  $a+n, b+n, c+n$  sayılarından hiçbir  $q_i = q$  ile bölünmez; bu da  $q | a+n$  ve  $q | b+n$  varsayımla çelişir. Böylece,  $(a+n, b+n) = 1$  olduğunu kanıtladık. Benzer şekilde  $(a+n, c+n) = 1$  ve  $(b+n, c+n) = 1$  olduğunu gösteririz. Bu nedenle  $a+n, b+n$ , ve  $c+n$  sayıları ikişerli aralarında asaldır. Bu tür  $n$  sayılarından sonsuz sayıda olduğundan, kanıt tamamlanmıştır.

<sup>46</sup>Bu tür sayılar örneğin  $a = 1, b = 2, c = 3, d = 4$ 'tür. Ashında, tek  $n$  için,  $a+n$  ve  $c+n$  sayıları çifttir, dolayısıyla aralarında asal değildirler, ve çift  $n$  için,  $b+n$  ve  $d+n$  sayıları çifttir, dolayısıyla aralarında asal değildirler.

<sup>47</sup>Eğer  $n$  tek ve  $n > 6$  ise,  $n = 2 + (n-2)$  olur, burada  $n-2$  tek ve  $> 1$ 'dir, ve  $(2, n-2) = 1$ 'e sahibiz.

$n > 6$  çift sayı durumu için aşağıdaki ispat A. Mąkowski'ye aittir.

Eğer  $n = 4k$  ise, burada  $k$  tam sayısı  $> 1$ 'dir ( $n > 6$  olduğundan), o zaman  $n = (2k-1) + (2k+1)$  olur, ve  $2k+1 > 2k-1 > 1$ 'dir ( $k > 1$  olduğundan).  $2k-1$  ve  $2k+1$  sayıları, ardışık tek sayılar olarak, aralarında asaldır.

Eğer  $n = 4k+2$  ise, burada  $k$  tam sayısı  $> 1$ 'dir ( $n > 6$  olduğundan),  $n = (2k+3)+(2k-1)$ 'e sahibiz, burada  $2k+3 > 2k-1 > 1$ 'dir ( $k > 1$  olduğundan).  $2k+3$  ve  $2k-1$  sayıları aralarında asaldır çünkü eğer  $0 < d | 2k+3$  ve  $d | 2k-1$  ise, o zaman  $d | (2k+3) - (2k-1)$  veya  $d | 4$ 'tür. Şimdi,  $d$  tek bir sayının böleni olarak tek olmalıdır, dolayısıyla  $d = 1$ 'dir, ve  $(2k+3, 2k-1) = 1$ 'dir.

<sup>48</sup>Eğer  $n$  çift ve  $> 8$  ise, o zaman  $n = 6k$ ,  $n = 6k+2$  veya  $n = 6k+4$ 'tür, ve ilk iki durumda  $k$

49. Her  $m$  pozitif tam sayısı için hem tek  $2k$  çift sayısının  $m$  ile aralarında asal olan iki pozitif tam sayının farkı şeklinde yazılabilceğini kanıtlayınız.<sup>49</sup>
50. Fibonacci dizisinin, tüm terimleri ikişer ikişer aralarında asal olan bir alt dizisinin bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>50</sup>

tam sayısı  $> 1$ 'dir, ve üçüncü durumda  $k$  pozitif bir tam sayıdır. Formüller

$$6k = 2 + 3 + (6(k - 1) + 1), \quad 6k + 2 = 3 + 4 + (6(k - 1) + 1),$$

$$6k + 4 = 2 + 3 + (6k - 1)$$

$n$ 'nin, ikişerli olarak aralarında asal olan üç pozitif tam sayının toplamı olduğunu kolayca gösterir.

Şimdi  $n$ 'nin tek ve  $> 17$  olduğunu varsayıyalım. Altı durumu ele aliyoruz:  $n = 12k + 1$ ,  $n = 12k + 3$ ,  $n = 12k + 5$ ,  $n = 12k + 7$ ,  $n = 12k + 9$ , ve  $n = 12k + 11$ , burada ilk üç durumda  $k$  tam sayısı  $> 1$ 'dir, ve son üç durumda  $k$  pozitif bir tam sayıdır. Elimizde

$$12k - 1 = (6(k - 1) - 1) + (6(k - 1) + 5) + 9,$$

var, burada  $6(k - 1) - 1$ ,  $6(k - 1) + 5$ , ve  $9$  sayıları  $> 1$ 'dir ve aralarında asaldır; aslında, ilk ikisi  $3$ 'e bölünemez, ve  $d | 6(k - 1) - 1$  ve  $d | 6(k - 1) + 5$  olması  $d | 4$ 'ü gerektireceğinden aralarında asaldırlar, oysa ele alınan sayılar tektir.

Eğer  $n = 12k + 3$  ise, o zaman  $n = (6k - 1) + (6k + 1) + 3$ 'e sahibiz; eğer  $n = 12k + 5$  ise, o zaman  $n = (6k - 5) + (6k + 1) + 9$ 'a sahibiz; eğer  $n = 12k + 7$  ise, o zaman  $n = (6k + 5) + (6k - 1) + 3$ 'e sahibiz; eğer  $n = 12k + 9$  ise, o zaman  $n = (6k - 1) + (6k + 1) + 9$ 'a sahibiz; eğer  $n = 12k + 11$  ise, o zaman  $n = (6(k + 1) - 5) + (6(k + 1) + 1) + 3$ 'e sahibiz, ve her durumda üç terimin  $> 1$  olduğunu ve ikişerli olarak aralarında asal olduğunu kolayca kontrol ederiz.

$17$  sayısı istenen özelliğe sahip değildir çünkü  $17 = a + b + c$  durumunda, üç sayının da ( $> 1$  ve ikişerli aralarında asal olarak)  $a, b, c$ 'nin tek ve farklı olması gereklidir. Ancak,  $3 + 5 + 7 = 15 < 17$ ,  $3 + 5 + 11 > 17$ 'ye sahibiz, ve  $3 < a < b < c$  durumunda,  $a \geq 5$ ,  $b \geq 7$ ,  $c \geq 9$ 'a sahibiz, dolayısıyla  $a + b + c \geq 5 + 7 + 9 = 21 > 17$ , bu da  $17$ 'nin istenen özelliğe sahip olmadığını gösterir.

<sup>49</sup>A. Schinzel'in bir fikrine dayanan (bkz. (Schinzel 1959)) ispatı sunacağız.  $k$  verilmiş bir pozitif tam sayıyı göstersin ve  $m$ , asal kuvvetlere açılmış  $m = q_1^{a_1} q_2^{a_2} \dots q_s^{a_s}$  olan pozitif tam sayı olsun.  $f(x) = x(x + 2k)$  olsun ve  $i, 1, 2, \dots, s$  sayılarından birini göstersin. Tüm  $x$  tam sayıları için  $q_i | x(x + 2k)$  olamaz, çünkü o zaman  $x = 1$  için  $q_i | 2k + 1$  olurdu, ve  $x = -1$  için  $q_i | 2k - 1$  olurdu, ve  $q_i | (2k + 1) - (2k - 1) = 2$  olurdu, ki bu  $q_i | 2k + 1$  (ve sonuç olarak  $q_i \nmid 1$ ) olması göz önüne alındığında imkansızdır. Bu nedenle,  $q_i \nmid x_i(x_i + 2k) = f(x_i)$  olacak şekilde bir  $x_i$  tam sayısı mevcuttur. Çin kalan teoremine göre,  $i = 1, 2, \dots, s$  için  $x_0 \equiv x_i \pmod{q_i}$  olacak şekilde pozitif bir  $x_0$  tam sayısı vardır, bu da  $i = 1, 2, \dots, s$  için  $f(x_0) \equiv f(x_i) \not\equiv 0 \pmod{q_i}$  sonucunu verir. Dolayısıyla,  $i = 1, 2, \dots, s$  için  $(f(x_0), q_i) = 1$ 'e sahibiz, ki bu ( $m$ 'nin asal çarpanlarına açılmış göz önüne alındığında)  $(f(x_0), m) = 1$  veya  $(x_0(x_0 + 2k), m) = 1$  verir. Böylece, eğer  $a = x_0 + 2k$ ,  $b = x_0$  alırsak,  $2k = a - b$ 'ye sahip oluruz, burada  $(a, m) = 1$ ,  $(b, m) = 1$ 'dir, ki bu da teoremi ispatlar.

**Not.**  $a$  ve  $b$ 'ye  $m$ 'nin keyfi katlarını eklemek  $2k = a - b$  ve  $(ab, m) = 1$  gerçeğini değiştirmeden, her  $m$  için, her çift sayının  $m$  ile aralarında asal olan pozitif tam sayıların farkı olarak sonsuz sayıda farklı şekilde temsil edilebileceğini ispatladık.

Her çift sayının iki asalın farkı olup olmadığını bilmiyoruz. A. Schinzel'in asal sayılar üzerine belirli bir sanısından (Schinzel ve Sierpiński 1958a), her çift sayının iki asalın farkı olarak sonsuz sayıda farklı şekilde temsil edilebileceği sonucu çıkar.

<sup>50</sup>A. Rotkiewicz tarafından verilen ispatı sunacağız. Eğer  $u_n$  Fibonacci dizisinin  $n$ 'inci terimi ise, ve  $m$  ile  $n$  pozitif tam sayılar ise, o zaman  $(u_m, u_n) = u_{(m, n)}$ 'dır (bkz. (Sierpiński 1958b), s.

51. Her  $n = 1, 2, \dots$  için  $\text{OBEB}(n, 2^n + 1) = 1$  olduğunu gösteriniz.<sup>51</sup>
- 51a.  $\text{OBEB}(n, 2^n - 1) > 1$  olmasını sağlayan sonsuz tane  $n$  pozitif tam sayısının bulunduğu kanıtlayınız ve bunlardan en küçüğünü bulunuz.
- Aritmetik Diziler**
52. Pozitif tam sayılardan oluşan ve tüm terimleri ikişer ikişer aralarında asal olan ve terim sayısı yeterince önceden verilen herhangi bir  $n$  sayısından büyük olan bir aritmetik dizi bulduğunu kanıtlayınız.<sup>52</sup>
53. Her  $k$  pozitif tam sayısı için, pozitif tam bölenlerinin sayısı  $k$ 'yı bölen tüm  $n$  sayıları kümesinin bir sonsuz aritmetik dizi içerdiğini kanıtlayınız.<sup>53</sup>
54.  $x(x+1), y(y+1), z(z+1)$  sayıları artan aritmetik dizi oluşturacak şekilde sonsuz sayıda  $x, y, z$  pozitif tam sayı üçlüsünün bulduğunu kanıtlayınız.<sup>54</sup>

280, problem 5]).  $u_1 = 1$  olduğundan, eğer  $p_k$ ,  $k$ 'inci ardışık asalı gösteriyorsa,

$$u_{p_1}, u_{p_2}, u_{p_3}, \dots$$

artan sonsuz dizisinin herhangi iki teriminin aralarında asal olduğunu görürüz.  $p_k$  yerine  $2^{2^k} + 1$  alabiliriz, zira  $m$  ve  $n \neq m$  pozitif tam sayıları için  $(2^{2^m} + 1, 2^{2^n} + 1) = 1$  olduğu iyi bilinmektedir.

<sup>51</sup>  $F_n = 2^{2^n} + 1$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayısının  $> 1$  olan her böleninin,  $2^{n+2}k + 1$  formunda olduğunu biliyoruz, burada  $k$  pozitif bir tam sayıdır (örneğin, bkz. (Sierpiński 1964a), s. 343, Teorem 5). Pozitif  $n$  ve  $k$  tam sayıları için  $2^{n+2}k + 1 \geq 2^{n+2} + 1 > n$  olduğundan,  $F_n$ 'nin tüm  $> 1$  bölenleri  $> n$  olmalıdır, dolayısıyla  $(n, F_n) = 1$ 'dir, ki bu da ispatlanması gereklidir.

51a.  $n = 1, 2, 3, 4, 5$  için  $(n, 2^n - 1) = 1$  olduğunu kolayca kontrol ederiz,  $(6, 2^6 - 1) = 3$ 'tür.  $k = 1, 2, \dots$  için  $3|2^6 - 1|2^{6k} - 1$ 'e sahibiz, dolayısıyla  $k = 1, 2, \dots$  için  $(6k, 2^{6k} - 1) \geq 3$ 'tür. Bu tür en küçük  $n$  sayısı 6'ya eşittir.

<sup>52</sup>  $m$  verilmiş bir tam sayı  $> 1$  olsun.  $k = 1, 2, \dots, m$  için  $m!k + 1$  sayıları,  $k < l \leq m$  olacak şekilde pozitif  $k$  ve  $l$  tam sayıları için aralarında asaldır. Eğer  $d > 1$ ,  $m!k + 1$  ve  $m!l + 1$ 'in ortak böleni olsaydı,  $d | l(m!k + 1) - k(m!l + 1) = l - k$ 'ye sahip olurduk, dolayısıyla  $1 < d < m$  ve  $d | m!$ 'dir. Bu,  $d | m!k + 1$  olması göz önüne alındığında,  $d | 1$ 'i verir, ki bu da  $d > 1$  varsayımlıyla çelişir.

<sup>53</sup> Gerekli özellik,  $2^k t + 2^{k-1}$  ( $t = 0, 1, 2, \dots$ ) aritmetik dizisinin tüm terimleri tarafından sağlanır, çünkü  $n = 2^k t + 2^{k-1}$ 'in asal çarpanlara açılımında 2 sayısı  $k - 1$  üssü ile girer; pozitif tam sayı bölenlerinin sayısı iyi bilinen formülden,  $n$  sayısının pozitif tam sayı bölenlerinin sayısının  $k$  ile bölünebildiği hemen anlaşılır.

<sup>54</sup> Gerekli özellik, keyfi bir pozitif  $x$  tam sayısı için ve  $y = 5x + 2$ ,  $z = 7x + 3$  için geçerlidir, çünkü bu durumda

$$x(x+1) = x^2 + x, \quad y(y+1) = 25x^2 + 25x + 6, \quad z(z+1) = 49x^2 + 49x + 12$$

sayıları,  $24x^2 + 24x + 6$  farkıyla bir aritmetik dizi oluşturur.

**NOT.**  $x, y, z, t$  gibi artan dört pozitif tam sayının  $x(x+1)$ ,  $y(y+1)$ ,  $z(z+1)$  ve  $t(t+1)$  sayılarının bir aritmetik dizi oluşturacak şekilde bulunmadığı gösterilebilir, çünkü o zaman bu sayılardan dört kat daha büyük ve bir artırılmış sayılar, yani  $(2x+1)^2$ ,  $(2y+1)^2$ ,  $(2z+1)^2$  ve  $(2t+1)^2$  de bir aritmetik dizi oluştururdu, bu da Fermat teoremine aykırıdır; Fermat teoremine göre bir aritmetik dizi oluşturan dört farklı tam sayının karesi yoktur (ispat W. Sierpiński'nin kitabında bulunabilir Sierpiński (1964a), s. 74, teorem 8).

55. Kenarları bir aritmetik dizi oluşturma tam sayılar olan tüm dik üçgenleri bulunuz.<sup>55</sup>
56. Pozitif tam sayılardan oluşan, hiçbir üçgen  $\left(\frac{n(n+1)}{2}\right)$  sayısını içermeyen ve farkı en küçük olan artan bir aritmetik dizi bulunuz.<sup>56</sup>
57.  $a$  ve  $b$  pozitif tam sayılar olmak üzere  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) aritmetik dizisinin sonsuz tane tam kare içermesi için gerek ve yeterli koşulu bulunuz.<sup>57</sup>
58. Birbirinden farklı pozitif tam sayılardan oluşan ve her terimi bir pozitif tam sayıının 1'den büyük dereceden kuvvetine eşit olan ve terim sayısı önceden verilen  $n$  sayılarından büyük olan bir aritmetik dizi bulduğunu kanıtlayınız.<sup>58</sup>
59. Birbirinden farklı pozitif tam sayılardan oluşan ve her terimi bir pozitif tam sayıının 1'den büyük dereceden kuvvetine eşit olan sonsuz bir aritmetik dizi bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>59</sup>

<sup>55</sup>Eğer bir dik üçgenin kenarları bir aritmetik dizi oluşturuyorsa, o zaman bunları  $b - r$ ,  $b$  ve  $b + r$  olarak gösterebiliriz, burada  $b$  ve  $r$  pozitif tam sayılardır, ve  $(b - r)^2 + b^2 = (b + r)^2$ 'ye sahibiz, dolayısıyla  $b = 4r$ 'dır, bu da kenarları  $3r$ ,  $4r$  ve  $5r$  olan dik üçgeni verir, burada  $r$  keyfi bir pozitif tam sayıdır. Böylece, kenarları bir aritmetik dizi oluşturan tam sayılar olan tüm dik üçgenler, kenarları 3, 4, 5 olan üçgenin tam sayı katları alınarak elde edilir.

<sup>56</sup> $t_n = \frac{1}{2}n(n+1)$  üçgensel sayıları  $n = 4u + 1$  ( $u = 0, 1, 2, \dots$ ) için tek ve  $4 \mid n$  için çifttir. Dolayısıyla, farklı 2 olan her iki dizi de sonsuz sayıda üçgensel sayı içerir. Öte yandan,  $3k + 2$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) dizi hiçbir üçgensel sayı içermez, çünkü eğer  $3 \mid n$  ise, o zaman  $3 \mid t_n$ ; benzer şekilde,  $u = 0, 1, 2, \dots$  için  $n = 3u + 2$  ise, o zaman  $3 \mid t_n$ ; son olarak,  $u = 0, 1, 2, \dots$  için  $n = 3u + 1$  ise, o zaman  $t_n = 9\frac{u(u+1)}{2} + 1$ 'dir, dolayısıyla 3'e bölünmesi 1 kalanını verir.

<sup>57</sup> $b$ 'nin  $a$  modülüne göre bir kuadratik (ikinci dereceden) kalan olması gereklidir. Aslında, eğer bazı pozitif  $x$  tam sayısı ve bazı  $k \geq 0$  tam sayısı için  $x^2 \equiv ak + b$ 'ye sahipsek, o zaman  $x^2 \equiv b \pmod{a}$ 'dır ve  $b$ ,  $a$  modülüne göre bir kuadratik kalandır. Tersine, eğer  $b$ ,  $a$  modülüne göre bir kuadratik kalan ise, o zaman  $x^2 \equiv b \pmod{a}$  olacak şekilde sonsuz sayıda pozitif  $x$  tam sayısı vardır, dolayısıyla  $x^2 = ak + b$ 'dır, burada  $k$  bir tam sayıdır, ve sonuç olarak yeterince büyük  $x$  için pozitiftir.

<sup>58</sup>A. Schinzel'in ispatını sunacağız.  $p_k$ ,  $k$ 'inci ardışık asal göstersin.  $s$  keyfi bir pozitif tam sayı olsun ve  $P = p_1 p_2 \dots p_s$  olsun. Çin kalan teoremine göre, her  $k \leq s$  pozitif tam sayısı için  $a_k \equiv 0 \pmod{P/p_k}$  ve  $a_k \equiv -1 \pmod{p_k}$  olacak şekilde bir  $a_k$  pozitif tam sayısı mevcuttur.  $Q = 1^{a_1} 2^{a_2} \dots s^{a_s}$  alalım.  $kQ$  sayıları ( $k = 1, 2, \dots, s$ ),  $s$  terimli artan bir aritmetik dizi oluşturur.  $a_k$  sayılarının tanımına göre ( $k = 1, 2, \dots, s$ ),  $p_k \mid a_k + 1$ 'e sahibiz ve  $n$ ,  $s$ 'den büyük pozitif bir tam sayı olmak üzere, eğer  $k \neq n$  ise  $p_j \mid a_k$ 'dır. Sayılar

$$Q_k = kQ^{(k+1)/P_k} \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq k}}^s n^{a_n/P_k}$$

doğaldır, ve  $k = 1, 2, \dots, s$  için  $kQ = Q_k^{P_k}$  olduğunu kolayca görürüz, bu nedenle  $kQ$  sayıları ( $k = 1, 2, \dots, s$ ), tam sayı üsleri  $> 1$  olan tam sayıların kuvvetleridir.

<sup>59</sup>Istenen teorem, açıkça, her sonsuz artan tam sayı aritmetik dizisinde, herhangi bir tam sayıının  $> 1$  tam sayı üslü bir kuvveti olmayan bir terimin var olduğu teoremine denktir. Dolayısıyla,  $a$  ve  $b$  pozitif tam sayılar olmak üzere,  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) sonsuz bir aritmetik dizi olsun.  $p > a + b$  olan bir  $p$  asalı mevcuttur.  $(a, p^2) = 1$  olduğundan,  $ax - p^2y = 1$  denkleminin pozitif  $x, y$  tam sayılarında bir çözümü vardır.  $k = (p - b)x$  olsun; bu pozitif bir tam sayı olacaktır (çünkü  $p > b$ ), ve  $ak + b = p^2y(p - b) + p^2y$  sahip olacağız. Böylece, dizimizin  $ak + b$  terimi  $p^2$ 'ye bölünemez, ve bu nedenle  $> 1$  tam sayı üssü olan pozitif bir tam sayıın

60. Her biri bir pozitif tam sayının 1'den büyük dereceden kuvvetine eşit olan dört ardışık sayı bulunmadığını kanıtlayınız. <sup>60</sup>
61. Pozitif tam sayılardan oluşan her artan aritmetik dizinin bileşik sayılardan oluşan, önceden verilen  $n$ 'den fazla sayıda ardışık teriminin bulunduğu kanıtlayınız. <sup>61</sup>
62.  $a$  ve  $b$  aralarında asal pozitif tam sayılarla her  $m$  pozitif tam sayısı için  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) aritmetik dizisinin  $m$  ile aralarında asal olan sonsuz sayıda terimi bulunduğu kanıtlayınız. <sup>62</sup>
63. Her  $s$  pozitif tam sayısı için pozitif tam sayılardan oluşan her artan aritmetik dizide önceden verilen herhangi  $s$  tane rakamla başlayan terimlerinin bulunduğu kanıtlayınız. <sup>63</sup>

kuvveti olamaz.

<sup>60</sup>Her dört ardışık pozitif tam sayıdan biri,  $k \geq 0$  bir tam sayı olmak üzere,  $4k + 2$  formunda olmalıdır. 4'e bölünemeyen bir çift sayı olan böyle bir sayı,  $> 1$  tam sayı üssü olan pozitif bir tam sayının kuvveti olamaz.

**NOT.** A. Mąkowski, her biri pozitif bir tam sayının  $> 1$  tam sayı üslü bir kuvveti olan üç ardışık pozitif tam sayı olmadığını ispatlamıştır, ancak ispat zordur (Khatri 1962). Bununla birlikte, her biri pozitif bir tam sayının  $> 1$  tam sayı üslü bir kuvveti olan iki ardışık sayı mevcuttur. Bu tür sayılar, örneğin,  $2^3 = 8$ ,  $3^2 = 9$ 'dur. Bu tür tam sayıların başka çiftlerinin olup olmadığına dair Catalan problemi açıklıktır. S. Hyryö (Hyyro 1964), böyle herhangi bir çiftte her iki tabanın da  $> 10^{11}$  olduğunu ispatlamıştır.

<sup>61</sup>Çözüm doğrudan Problem 58'den gelmektedir, ancak daha basit bir yolla da ispatlanabilir.  $m > 1$  bir tam sayı olsun, ve  $q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ),  $a < q_1 < q_2 < \dots < q_m$  olacak şekilde asallar olsun. Çin kalan teoremine göre,  $j = 1, 2, \dots, m$  için  $ax \equiv -b - aj \pmod{q_j^2}$  olacak şekilde pozitif bir  $x$  tam sayısı mevcuttur. Böylece  $j = 1, 2, \dots, m$  için  $q_j^2 \mid a(x + j) + b$ 'dır. Dolayısıyla,  $ak + b$  dizisinin  $m$  ardışık terimi, yani  $j = 1, 2, \dots, m$  için  $a(x + j) + b$  terimleri, bileşik sayıdır.

<sup>62</sup>Eğerde,  $m$ 'nin  $> 1$  bir tam sayı olduğunu varsayıyorsak.  $P$ ,  $m$ 'nin  $a$ 'nın bölenleri olan tüm asal bölenlerinin çarpımını göstersin, ve eğer böyle bölenler yoksa  $P = 1$  olsun.  $Q$ ,  $m$ 'nin  $b$ 'nın bölenleri olan tüm asal bölenlerinin çarpımını göstersin, ve eğer böyle bölenler yoksa  $Q = 1$  olsun.  $(a, b) = 1$  olduğundan,  $(P, Q) = 1$ 'e sahibiz. Son olarak,  $R$ ,  $m$ 'nin  $a$  veya  $b$ 'yi bölmeyen tüm asal bölenlerinin çarpımını göstersin, ve eğer böyle bölenler yoksa,  $R = 1$  olsun. Açıkça,  $(R, P) = 1$  ve  $(R, Q) = 1$ 'e sahibiz.  $(aPR + b, m) = 1$  olduğunu göstereceğiz. Ashında, eğer doğru olmasaydı,  $p \mid m$  ve  $p \mid aPR + b$  olacak şekilde bir  $p$  asalı var olurdu. Eğer  $p \mid P$  olsaydı, o zaman  $p \mid aPR + b$  ifadesi  $p \mid b$ 'yi gerektirirdi, dolayısıyla  $p \mid Q$ , bu da  $(P, Q) = 1$  gerçeğileyle gelişir. Eğer  $p \mid Q$  olsaydı, o zaman  $p \mid b$ 'ye sahip olurdum, dolayısıyla  $p \mid aPR$ , ki bu imkansızdır çünkü  $(a, b) = 1$ ,  $(b, P) = 1$ ,  $(b, R) = 1$ 'dir. Son olarak, eğer  $p \mid R$  olsaydı,  $p \mid b$ 'ye sahip olurdum, dolayısıyla  $p \mid Q$ , bu da  $(R, Q) = 1$  gerçeğileyle gelişir. Böylece,  $(aPR + b, m) = 1$ 'i ispatladık, ve buradan  $k = 0, 1, \dots$  için  $(a(km + PR) + b, m) = 1$  sonucu çıkar. Bu nedenle, dizimiz  $m$  ile aralarında asal olan sonsuz sayıda terim içerir, ki bu da ispatlanması gerekkendi.

<sup>63</sup>Dizimizin ilk terimi  $b$  ve farkı  $a$  olsun; böylece  $a$  ve  $b$  sayıları pozitif tam sayılardır.  $b$ 'nın  $a$ 'ya bölünmesinden kalanı ele alalım; bu nedenle,  $t \geq 0$  bir tam sayı ve  $0 \leq r < a$  olacak şekilde  $r$  bir tam sayı olmak üzere  $b = at + r$ 'ye sahibiz.  $s$  keyfi bir pozitif tam sayı olsun, ve  $c_1 \neq 0$  olmak üzere  $c_1, c_2, \dots, c_s$  keyfi bir ondalık basamak dizisi olsun.  $N$ , ardışık basamakları  $c_1, c_2, \dots, c_s$  olan  $s$  basamaklı tam sayıyı göstersin.

Açıkça,  $10^n > 2a(t + 1)$  olacak şekilde pozitif bir  $n$  tam sayısı mevcuttur.  $N10^n/a - t$  sayısı  $> 1$  olacaktır.

$k, N10^n/a - t$ 'den büyük en küçük pozitif tam sayı olsun; böylece,  $k - 1 \leq N10^n/a - t$ 'ye

64. Fibonacci dizisinin üç teriminden oluşan tüm artan aritmetik dizileri bulunuz ve bu dizinin dört teriminden oluşan hiçbir artan aritmetik dizi bulunmadığını kanıtlayınız. <sup>64</sup>
65. Tam sayılardan oluşan, Fibonacci dizisinin hiçbir terimini içermeyen ve farkı

sahip olacağız, dolayısıyla

$$k + 1 \leq \frac{N10^n}{a} + 2 - t < \frac{(N+1)10^n}{a} - t$$

çünkü  $10^n > 2a$ 'dır. Bu nedenle  $N10^n < a(k+t) < ak + at + r = ak + b < a(k+t+1) < (N+1)10^n = N10^n + 10^n$ 'ye sahibiz ve buradan  $ak + b$  sayısının ilk  $s$  basamağının,  $N$  sayısının ilk  $s$  basamağıyla aynı olduğu, yani  $c_1, c_2, \dots, c_s$  basamakları olduğu sonucu çıkar.

<sup>64</sup>Eğer Fibonacci dizisinin  $u_k, u_l, u_m$  terimleri bir aritmetik dizi oluşturuyorsa, o zaman  $u_l > 1$  olmalıdır, ve dolayısıyla  $l > 2$ 'dir ( $u_2 = 1$  olduğundan), ve  $m > 3$ 'tür. Dahası,  $u_m = u_l + (u_l - u_k)$ 'dır, ki bu da  $u_m < u_l + u_l = u_l + u_{l-1} + u_{l-2} < u_l + u_{l-1} + u_l = u_{l+1} + u_{l-2}$  anlamına gelir ve buradan  $u_m < u_{l+1}$  sonucu çıkar. Öte yandan,  $u_m > u_l$ 'dır, dolayısıyla  $u_m \geq u_{l+1}$ 'dır. Ve  $u_k < u_l$ 'ye sahip olmaliyiz. Bu nedenle ( $l > 2$  olduğundan)  $m = l + 1$ 'e sahibiz. Böylece  $u_m = 2u_l - u_k = u_{l+1} = u_l + u_{l-1}$ 'e sahibiz, ki bu da  $u_l - u_k = u_{l-1}$  anlamına gelir. Dolayısıyla, eğer Fibonacci dizisinin  $u_k, u_l, u_m$  terimleri artan bir aritmetik dizi oluşturuyorsa,  $l > 2$ ,  $k = l - 2$  ve  $m = l + 1$  olmalıdır. Öte yandan, herhangi bir  $l > 1$  tam sayısı için  $u_{l-1}, u_{l+1}$  ve  $u_{l+2}$  sayıları  $u_l$  farkıyla bir aritmetik dizi oluşturur. Eğer  $n > l + 1$  bir tam sayı olsaydı,  $n \geq l + 2$ 'ye sahip olurduk, dolayısıyla  $u_n \geq u_{l+2}$ 'dır. ve  $u_n - u_{l+1} \geq u_{l+2} - u_{l+1} = u_l > u_{l-1}$ 'dır ( $l > 2$  olduğundan). Buradan, Fibonacci dizisinin bir aritmetik dizi oluşturan dört teriminin olmadığı sonucu çıkar.

en az olan bir artan aritmetik dizi bulunuz.<sup>65</sup>

66.  $a$  ve  $b$  aralarında asal pozitif tam sayılar olmak üzere  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) şeklinde olan ve Fibonacci dizisinin hiçbir terimini içermeyen bir aritmetik dizi bulunuz.<sup>66</sup>
67.  $a$  ve  $b$  aralarında asal pozitif tam sayılar olmak üzere  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) şeklinde olan her aritmetik dizinin ikişer ikişer aralarında asal olan sonsuz

---

<sup>65</sup>Biliyoruz ki, eğer  $m$  pozitif bir tam sayı ise, o zaman Fibonacci dizisinin ardışık terimlerinin  $m$ 'ye bölümnesinden elde edilen kalanlar, saf periyotlu periyodik bir dizi oluşturur (Sierpiński 1958b, 279, problem 3).  $m = 2, 3, 4, 5, 6, 7$  için, Fibonacci dizisinin terimlerinin  $m$ 'ye bölümnesinden elde edilen kalanlar sırasıyla şöyledir (burada tümünü değil, sadece ilk birkaç kalanı gösteriyoruz):

$m = 2$  için: 1, 1, 0, ...;

$m = 3$  için: 1, 1, 2, 0, ...;

$m = 4$  için: 1, 1, 2, 3, 1, 0, ...;

$m = 5$  için: 1, 1, 2, 3, 0, 3, 3, 1, 4, ...;

$m = 6$  için: 1, 1, 2, 3, 5, 2, 1, 3, 4, 1, 5, 0, ...;

$m = 7$  için: 1, 1, 2, 3, 5, 1, 6, 0, 6, 6, 5, 4, ...;

$m \leq 7$  olan her pozitif tam sayı için  $m$  modülüne göre tüm olası kalanlar yukarıdaki dizilerde göründüğünden, farkı  $m \leq 7$  olan aritmetik dizilerin her birinin Fibonacci dizisinin sonsuz sayıda terimini içerdiğini görüyoruz.

Şimdi  $8k + 4$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) dizisinin Fibonacci dizisinin hiçbir terimini içermediğini göstereceğiz.

$u_1 = u_2 = 1$  ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $u_{n+2} = u_n + u_{n+1}$  olduğundan,  $u_1, u_2, \dots, u_{14}$  sayılarının 8'e bölümnesinden aşağıdaki kalanları verdiği kolayca görürüz:

$$1, 1, 2, 3, 5, 0, 5, 5, 2, 7, 1, 0, 1, 1.$$

Buradan  $8 | u_{13} - u_1$  ve  $8 | u_{14} - u_2$  sonucu çıkar. Böylece,  $n = 1$  için  $8 | u_{n+12} - u_n$  ve  $8 | u_{n+13} - u_{n+1}$ 'e sahibiz. Şimdi bu iki formülün bazı pozitif  $n$  tam sayıları için geçerli olduğunu varsayıyalım. O zaman  $8 | u_{n+12} + u_{n+13} - (u_n + u_{n+1})$  veya  $8 | u_{n+14} - u_{n+2}$ 'ye sahibiz ( $8 | u_{n+13} - u_{n+1}$  olduğundan). Tümevarım yoluyla  $n = 1, 2, \dots$  için  $8 | u_{n+12} - u_n$  sonucu çıkar, ki bu da Fibonacci dizisinin 8 modülüne göre ardışık kalanlar dizisinin periyodik olduğunu ve on iki terimlik saf bir periyoda sahip olduğunu gösterir.

8 modülüne göre ilk on dört kalandan, bu kalanların sadece 0, 1, 2, 3, 5 ve 7 olabileceğini görüyoruz. Dolayısıyla 4 veya 6 kalam yoktur, bu da  $8k + 4$  ve  $8k + 6$  dizilerinin Fibonacci dizisinin hiçbir terimini içermediğini gösterir. Bunlar, istenen özelliğe sahip ve mümkün olan en küçük farka sahip tam sayı terimli dizilerdir.

<sup>66</sup>11 $k + 4$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) dizisi istenen özelliğe sahiptir. Problem 65'in çözümünde olduğu gibi, kolay bir tümevarımla  $n = 1, 2, \dots$  için  $11|u_{n+10} - u_n$  olduğunu kanıtlarız. Buradan, Fibonacci dizisinin 11 modülüne göre kalanlar dizisinin periyodik olduğu ve periyodunun 10 olduğu sonucu çıkar; bu diziyi kolayca 1, 1, 2, 3, 5, 8, 2, 10, 1, 0, ... olarak buluruz. 4 sayısı (ve ayrıca 6, 7 ve 9) bu dizide görünmez.

sayıda teriminin bulunduğu kanıtlayınız.<sup>67</sup>

68.  $a$  ve  $b$  pozitif tam sayılar olmak üzere her  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) aritmetik dizisinde asal çarpanları aynı olan sonsuz tane terim bulunduğu kanıtlayınız.<sup>68</sup>
69.  $a$  ve  $b$  pozitif tam sayılar olmak üzere her  $ak + b$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) aritmetik dizisi ve her  $s$  pozitif tam sayısı için,  $s$  tane birbirinden farklı asal sayının çarpanına eşit olan sonsuz tane terim bulunduğu kanıtlayınız.<sup>69</sup>
70. Farkı 10 olan ve sadece asal sayılardan oluşan en az 3 terimli tüm aritmetik dizileri bulunuz.<sup>70</sup>

---

<sup>67</sup>Dizimizin  $n$  terimine sahip olduğumuzu varsayalım

$$ak_1 + b, ak_2 + b, \dots, ak_n + b,$$

bunlar ikişerli olarak aralarında asaldır ( $n = 1$  için  $k_1 = 1$  alabiliriz).  $m = (ak_1 + b)(ak_2 + b) \dots (ak_n + b)$  olsun. Problem 62'den,  $(ak_{n+1} + b, m) = 1$  olacak şekilde pozitif bir  $k_{n+1}$  tam sayısının var olduğu sonucu çıkar, dolayısıyla  $i = 1, 2, \dots, n$  için  $(ak_{n+1} + b, ak_i + b) = 1$ 'dır. Sayıları

$$ak_1 + b, ak_2 + b, \dots, ak_n + b, ak_{n+1} + b$$

bu nedenle ikişerli olarak aralarında asaldır. Böylece tümevarımla,  $ak_i + b$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) dizisinin orijinal aritmetik dizinin sadece aralarında asal terimlerini içermesini sağlayan sonsuz  $k_1, k_2, \dots$  dizisini tanımlamış olduk.

<sup>68</sup> $d = (a, a+b)$  olsun. Böylece  $a = da_1$ ,  $a+b = dc$  olur, burada  $(a_1, c) = 1$  ve  $c > 1$ 'dir ( $d \leq a$  iken  $dc = a+b > a$  olduğundan).  $(a_1, c) = 1$  ve Euler teoremi göz önüne alındığında,  $c^{\phi(a_1)} \equiv 1 \pmod{a_1}$  elde ederiz, dolayısıyla  $n$  tam sayısı için  $c^{n\phi(a_1)} \equiv 1 \pmod{a_1}$  olur. Bu nedenle,  $c^{n\phi(a_1)} - 1 = t_n a_1$  olacak şekilde bir  $t_n$  pozitif tam sayısı vardır, ki bu ( $c > 1$  ve  $n$  keyfi olarak büyük olduğundan) keyfi olarak büyük yapılabılır. Dahası, elimizde şu var:

$$a(ct_n + 1) + b = da_1 ct_n + dc = dc^{n\phi(a_1)+1}.$$

Dizimizin (keyfi olarak büyütülebilen)  $a(ct_n + 1) + b$  terimi, bu nedenle,  $dc > 1$  sayısının asal bölenleri olan ve sadece o asal bölenlere sahiptir. Böylece, dizimizde aynı asal bölen kümesine sahip sonsuz çoklukta terim mevcuttur, ki bu da kanıtlanması gerekendi (bkz. Pólya (1918)).

<sup>69</sup>Lejeune-Dirichlet teoreminden,  $s = 1$  için teoremin doğru olduğu hemen anlaşılır. Şimdi teoremin bir  $s$  pozitif tam sayısı için doğru olduğunu varsayıyalım. Bu durumda,  $q_1 < q_2 < \dots < q_s$  asal olmak üzere  $ak_0 + b = q_1 q_2 \dots q_s$  olacak şekilde bir  $k_0$  sayısı mevcuttur. asallar. Lejeune-Dirichlet teoremine göre,  $ak + 1 = q$ 'nın  $q > q_s$  olacak şekilde bir asal sayı olmasını sağlayan sonsuz sayıda  $k$  tam sayısı vardır.  $t = q_1 q_2 \dots q_s k + k_0$  için şunu elde ederiz:

$$at + b = q_1 q_2 \dots q_s ak + ak_0 + b = q_1 q_2 \dots q_s (ak + 1) = q_1 q_2 \dots q_s q.$$

Dolayısıyla teorem  $s + 1$  için de doğrudur. Tümevarım yoluyla, teoremin her pozitif  $s$  tam sayısı için doğru olduğu sonucu çıkar, ki bu da kanıtlanması gerekendi.

<sup>70</sup>Eğer  $p$  bir asalsa, o zaman  $p, p+10$  ve  $p+20$  sayılarından biri 3'e bölünmelidir (çünkü  $p+10 \equiv p+1 \pmod{3}$  ve  $p+20 \equiv p+2 \pmod{3}$ 'tür ve her üç ardışık tam sayıdan biri 3'e bölünmelidir). Dolayısıyla, eğer bu üç sayımızın tümü asalsa, o zaman bunlardan biri, yani en küçüğü, 3'e eşit olmalıdır ve  $p = 3, p+10 = 13, p+20 = 23$  elde ederiz. Bu nedenle, farkı 10 olan ve üç asaldan oluşan yalnızca bir aritmetik dizi vardır, yani 3, 13, 23. Farkı 10 olan ve dört (veya daha fazla) asaldan oluşan hiçbir aritmetik dizinin olmadığını kolayca gösterebiliriz, çünkü eğer  $p, p+10, p+20$  ve  $p+30$  asal olsaydı, o zaman gösterdiğimiz gibi,  $p = 3$  olurdu, ancak  $p+30 = 33 = 3 \cdot 11$  bir asal değildir.

**NOT.** A. Schinzel'in asallara ilişkin belirli bir sanisinden (Schinzel ve Sierpiński 1958a),

71. Farkı 100 olan ve sadece asal sayılardan oluşan en az 3 terimli tüm aritmetik dizileri bulunuz.<sup>71</sup>
72. Sadece asal sayılardan oluşan, 10 terimli ve son terimi en küçük olan artan bir aritmetik dizi bulunuz.<sup>72</sup>
73. Pozitif tam sayılardan oluşan ve hiçbir terimi iki asal sayının ne toplamı, ne de farkı şeklinde gösterilemeyen artan bir sonsuz aritmetik dizi bulunuz.<sup>73</sup>

---

$p + 10$ 'un da asal olmasını sağlayan sonsuz sayıda  $p$  asalının var olduğu sonucu çıkar; örneğin 7 ve 17, 13 ve 23, 19 ve 29, 31 ve 41, 37 ve 47, 61 ve 71, 73 ve 83, 79 ve 89.

<sup>71</sup>  $p, p + 100$  ve  $p + 200$  sayılarından birinin 3'e bölünmesi gerektiğinden ve eğer bu sayılar asalsa,  $p = 3$  olması gerektiğinden, bu tür diziler yoktur. Ancak bu durumda  $p + 200 = 203 = 7 \cdot 29$  bileşik sayıdır.

**NOT.** Benzer bir şekilde,  $1003 = 17 \cdot 53$  bileşik olduğundan, üç veya daha fazla asaldan oluşan ve farkı 1000 olan hiçbir dizinin bulunmadığını gösteririz. Öte yandan, A. Schinzel'in bir sanisinden (Schinzel ve Sierpiński 1958a)  $p + 1000$ 'in de asal olmasını sağlayan sonsuz sayıda  $p$  asalının var olduğu sonucu çıkar; örneğin 13 ve 1013, 19 ve 1019, 31 ve 1031, 61 ve 1061, 97 ve 1097, 103 ve 1103, 1039 ve 2039.

<sup>72</sup> Eğer dizimizin farkı tek olsaydı, o zaman dizimizin her ikinci terimi çift olurdu; bu ise dizimizin on asaldan oluşması isteniyorsa imkansızdır. Dolayısıyla, fark çift olmalıdır. Eğer ilk terim 2'ye eşit olsaydı, o zaman bir sonraki terim çift olurdu ve dolayısıyla bileşik olurdu. Bu nedenle, dizimizin ilk terimi tek bir asaldır ve buradan tüm terimlerin tek asal olması gerektiği sonucu çıkar. Esasen M. Cantor'a ait olan şu teoremi kullanacağımız: Eğer bir aritmetik dizinin  $n$  terimi tek asalsa, o zaman dizinin farkı  $n$ 'den küçük her asal sayıya bölünür (bkz, örneğin, Sierpiński (1964a), s. 121, teorem 5).  $n = 10$  için, dizimizin farkının 2, 3, 5 ve 7'ye, dolayısıyla 210'a bölünmesi gerektiği sonucu çıkar. Önce, 10 asaldan oluşan ve farkı 210 olan bir aritmetik dizi bulmaya çalışacağımız.

210 sayısı (dizimizin farkı) 2, 3, 5 ve 7'ye bölündüğünden, ilk terim bu asallardan hiçbirine eşit olamaz. 11'e de eşit olamaz, çünkü bu durumda ikinci terim  $221 = 13 \cdot 17$  olurdu. Dolayısıyla dizinin ilk terimi  $> 11$ 'dir ve terimlerin hiçbirini 11'e bölmemez. 210'un 11'e bölümünden kalan 1'dir. Eğer ilk terim 11'e bölündüğünde  $> 1$  kalanını verseydi, o zaman her sonraki terimde bu kalan 1 artardı ve dizinin terimlerinden biri 11'e bölündü ki bu imkansızdır. Bu nedenle, dizinin ilk terimi 11'e bölündüğünde 1 kalanını vermelidir ve tek olduğundan,  $k$  pozitif bir tam sayı olmak üzere  $22k + 1$  formunda olmalıdır. Bu formdaki ardışık asallar 23, 67, 89, 199, ... şeklindedir. İlk terim 23 olamaz, çünkü o zaman altıncı terim  $1073 = 29 \cdot 37$  olurdu. Eğer ilk terim 67 olsaydı, o zaman dördüncü terim  $697 = 17 \cdot 41$  olurdu. Eğer ilk terim 87 olsaydı, o zaman ikinci terim  $229 = 13 \cdot 23$  olurdu. Ancak, ilk terim 199 ise, on ardışık asaldan oluşan bir dizi elde ederiz

$$199, 409, 619, 829, 1039, 1249, 1459, 1669, 1879, 2089.$$

Böylece farkı 210 olan ve on asaldan oluşan bir dizi bulmuş olduk. Şimdi, farkı 210'dan farklı bir  $r$  olan ve on asaldan oluşan artan bir aritmetik dizimiz olduğunu varsayıyalım. O zaman  $r$  (Cantor teoremine göre) 210'a bölünmelidir ve 210'dan farklı olduğundan,  $r \geq 420$  olmalıdır. Ancak bu durumda, dizimizin ikinci terimi 420'yi aşacaktır, dolayısıyla bizim bulduğumuz dizinin ikinci terimi olan 409'u aşacaktır ve açıkçası sonraki terimler de bulduğumuz dizinin terimlerini aşacaktır. Dolayısıyla, ilk terimi 199 ve farkı 210 olan dizi, mümkün olan en küçük son terime sahip olan, on asaldan oluşan artan dizidir.

**NOT.** Bugüne kadar bilinen en uzun artan aritmetik asal dizisi, ilk terimi 4943 ve farkı 60060 olan on üç terimli dizidir ve Moskova'dan W. N. Seredinsky tarafından bulunmuştur. A. Schinzel'in asallara ilişkin bir sanisinden, farkı 30030 olan ve on üç asaldan oluşan sonsuz sayıda dizinin var olduğu sonucu çıkar (bkz. Schinzel ve Sierpiński (1958a), s. 191, C<sub>1,4</sub>). Ancak, şu ana kadar böyle bir dizi bulunamamıştır.

<sup>73</sup> Örneğin,  $30k + 7$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) dizisi istenen özelliğe sahiptir. Gerçekte de, eğer  $30k + 7 =$

## Asal ve Bileşik Sayılar

74. Her çift  $n > 6$  tam sayısı için  $(n - p, n - q) = 1$  olacak şekilde  $p$  ve  $q$  asal sayılarının bulunduğu kanıtlayınız.<sup>74</sup>
75. Hem iki asal sayının toplamı hem de farkı şeklinde yazılabilen tüm asal sayıları bulunuz.<sup>75</sup>
76.  $n$  ile  $n + 10$  arasında hiçbir asal sayı olmayacak şekilde üç en küçük  $n$  pozitif tam sayısını bulunuz.  $10m$  ile  $10(m + 1)$  arasında hiçbir asal sayı olmayacak şekilde üç en küçük  $m$  pozitif tam sayısını bulunuz.<sup>76</sup>
77.  $4k + 1$  şeklinde olan her asal sayının, kenar uzunlukları tam sayılar olan bir dik üçgenin hipotenüsünün uzunluğuna eşit olduğunu kanıtlayınız.<sup>77</sup>
78.  $p, q, r$  asal sayılar olmak üzere,  $p^2 + 1 = q^2 + r^2$  denkleminin tüm çözümünü bulunuz.<sup>78</sup>
79.  $p, q, r, s, t$  asal sayılar olmak üzere  $p^2 + q^2 = r^2 + s^2 + t^2$  denkleminin çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>79</sup>

---

$p + q$  olsaydı,  $30k + 7$ 'nin tek olduğu gerçeği göz önüne alındığında,  $p$  ve  $q$  sayılarından biri çift olurdu ve bir asal olarak 2'ye eşit olurdu.  $q = 2$  olduğunu varsayılmı; o zaman  $p = 30k + 5 = 5(6k + 1)$  olur ki bu,  $p$ 'nin bir asal olması durumunda imkansızdır. Eğer  $p$  ve  $q$  asal olmak üzere  $30k + 7 = p - q$  ise, o zaman  $q = 2$  ve  $p = 30k + 9 = 3(10k + 3)$  olurdu ki bu da imkansızdır.

**Not.** İki asalın hem toplamı hem de farkı olarak temsil edilebilen sonsuz sayıda çift sayının var olduğu kanıtlanabilir (ancak kanıt zordur). A. Schinzel'in asallara ilişkin belirli bir sanisinden, hem iki asalın toplamı hem de farkı olan sonsuz sayıda tek sayının var olduğu sonucu çıkar. Bkz. Sierpiński (1963).

<sup>74</sup> $p = 3, q = 5$  almak yeterlidir. Eğer  $n$  çift ve  $> 6$  ise, o zaman  $n - 1 \geq 6$  ve  $p < q < n - 1$  olur. Ardışık tek sayılar olan  $n - p = n - 3$  ve  $n - q = n - 5$  sayıları aralarında asaldır.

<sup>75</sup>Bu tür yalnızca bir asal vardır, yani 5. Gerçekten de,  $r$  asalının hem iki asalın toplamı hem de farkı olarak temsil edilebildiğini varsayılmı. Açıktası  $r > 2$  olmalıdır, dolayısıyla  $r$  tek bir asaldır. Hem iki asalın toplamı hem de farkı olduğundan, bu asallardan biri çift olmalı, yani 2'ye eşit olmalıdır. Dolayısıyla,  $p$  ve  $q$  asal olmak üzere  $r = p + 2 = q - 2$  olmalıdır. Ancak bu durumda  $p, r = p + 2$  ve  $q = r + 2$  ardışık üç tek asal olurdu ve bu tür yalnızca bir üçlü vardır: 3, 5 ve 7 (çünkü her üç ardışık tek sayıdan biri 3'e bölünmelidir). Bu nedenle  $r = 5 = 3 + 2 = 7 - 2$  elde ederiz.

<sup>76</sup> $n = 113, 139, 181; m = 20, 51, 62.$

<sup>77</sup>İyi bilinen Fermat teoremine göre,  $4k + 1$  formundaki her asal, iki pozitif tam sayının karelerinin toplamıdır (bkz, örneğin, (Sierpiński 1964a, 205, Teorem 9)). Dolayısıyla, eğer  $p$   $4k + 1$  formunda bir asalsa,  $p = a^2 + b^2$  olur; burada  $a$  ve  $b$  pozitif tam sayılardır ( $p$  tek olduğundan dolayı elbette farklıdır). Örneğin,  $a > b$  olduğunu varsayılmı. O zaman  $p^2 = (a^2 - b^2)^2 + (2ab)^2$  dir, dolayısıyla  $p$  diğer iki kenarı  $a^2 - b^2$  ve  $2ab$  olan bir dik üçgenin hipotenüsüdür. Örneğin,  $5^2 = 3^2 + 4^2$ ,  $13^2 = 5^2 + 12^2$ ,  $17^2 = 15^2 + 8^2$ ,  $29^2 = 21^2 + 20^2$ .

<sup>78</sup> $13^2 + 1 = 7^2 + 11^2$ ,  $17^2 + 1 = 11^2 + 13^2$ ,  $23^2 + 1 = 13^2 + 19^2$ ,  $31^2 + 1 = 11^2 + 29^2$ .

**NOT.**  $(5x + 13)^2 + 1 = (3x + 7)^2 + (4x + 11)^2$  özdeşliği, eğer  $p = 5x + 13$ ,  $q = 3x + 7$  ve  $r = 4x + 11$  asalsa,  $p^2 + 1 = q^2 + r^2$  olduğunu gösterir. A. Schinzel'in asallara ilişkin belirli bir sanisinden (Schinzel ve Sierpiński 1958a) bu tür sistemlerin sonsuz sayıda olduğu sonucu çıkar.

<sup>79</sup>İlk olarak, eğer  $p, q, r, s$  ve  $t$  asalsa ve  $p^2 + q^2 = r^2 + s^2 + t^2$  ise, o zaman  $p$  ve  $q$  sayılarının

80.  $(p+1)+q(q+1) = r(r+1)$  denkleminin tüm  $p, q, r$  asal çözümlerini bulunuz.<sup>80</sup>
81.  $p(p+1), q(q+1), r(r+1)$  sayılarının bir artan aritmetik dizi oluşturmamasını sağlayan tüm  $p, q, r$  asal sayılarını bulunuz.<sup>81</sup>

her biri  $r, s$  ve  $t$  sayılarının her birinden farklı olmalıdır. Gerçekten de, eğer örneğin  $p = r$  olsaydı, o zaman  $q^2 = s^2 + t^2$  olurdu ki bu imkansızdır, çünkü  $q, s, t$  asalken bu denklemin çözümü olamaz. Aslında,  $s$  ve  $t$  sayıları hem tek olamazdı hem de her ikisi çift olamazdı (çünkü bu durumda  $q = 2$  olurdu, ki bu sağ tarafın  $> 4$  olması gerçeğle çelişir). Eğer  $s = 2$  olsaydı, o zaman 4 sayısı pozitif tam sayıların iki karesinin farkı olurdu ki bu imkansızdır. Eğer  $p^2 + q^2 = r^2 + s^2 + t^2$  ise,  $p, q, r, s, t$  sayılarının hepsinin tek olması mümkün değildir. Eğer  $p$  çiftse, o zaman  $p = 2$ 'dir ve  $q, r, s, t$  sayıları tektir. Tek bir sayının karesinin 8'e bölümünden kalan 1 olduğundan, sol taraf 8'e bölündüğünde 5 kalanını verir, sağ taraf ise 3 kalanını verir, ki bu imkansızdır. Eğer hem  $p$  hem de  $q$  tekse, o zaman sol taraf 8'e bölündüğünde 2 kalanını verir, sağ tarafta ise sayılardan biri (ve sadece biri) çift olmalıdır, örneğin  $r = 2$ . Ancak o zaman, sağ taraf 8'e bölündüğünde 6 kalanını verirdi, ki bu imkansızdır.

<sup>80</sup>A. Schinzel tarafından bulunan çözümü sunuyoruz. Yalnızca bir çözüm vardır, yani  $p = q = 2, r = 3$ . Bunu görmek için,  $p$  ve  $q$  asal ve  $r$  pozitif bir tam sayı olmak üzere  $p(p+1)+q(q+1) = r(r+1)$  denkleminin tüm çözümlerini bulacağız. Denklemimiz şunu verir

$$p(p+1) = r(r+1) - q(q+1) = (r-q)(r+q+1),$$

ve  $r > q$  olmalıdır.  $p$  bir asal olduğundan, ya  $p \mid r-q$  ya da  $p \mid r+q+1$  olmalıdır. Eğer  $p \mid r-q$  ise, o zaman  $p \leq r-q$  olur, bu da  $p(p+1) \leq (r-q)(r-q+1)$  anlamına gelir ve dolayısıyla  $r+q+1 \leq r-q+1$  olur ki bu imkansızdır. Dolayısıyla  $p \mid r+q+1$  olmalıdır, bu da bir  $k$  pozitif tam sayısı için

$$r+q+1 = kp, \text{ anlamına gelir, bu da } p+1 = k(r-q) \text{ demektir. (1)}$$

Eğer  $k = 1$  olsaydı, o zaman  $r+q+1 = p$  ve  $p+1 = r-q$  olurdu, bu da  $p-q = r+1$  ve  $p+q = r+1$  verir, ki bu imkansızdır. Dolayısıyla,  $k > 1$ . (1)'den kolayca şunu elde ederiz

$$\begin{aligned} 2q &= (r+q) - (r-q) = kp - 1 - (r-q) \\ &= k[k(r-q) - 1] - 1 - (r-q) = (k+1)[(k-1)(r-q) - 1]. \end{aligned}$$

$k \geq 2$  olduğundan,  $k+1 \geq 3$  olur. Sol tarafı sadece 1, 2,  $q$  ve  $2q$  pozitif tam sayı bölenlerine sahip olan son eşitlik, ya  $k+1 = q$  ya da  $k+1 = 2q$  olmasını gerektirir. Eğer  $k+1 = q$  ise, o zaman  $(k-1)(r-q) = 3$ , dolayısıyla  $(q-2)(r-q) = 3$ . Bu, ya  $q-2 = 1, r-q = 3$ , yani  $q = 3, r = 6$ ,  $k = q-1 = 2$  ve (1) uyarınca  $p = 5$ 'e, ya da  $q-2 = 3, r-q = 1$ , bu da  $q = 5, r = 6, k = 4$  ve (1) uyarınca  $p = 3$ 'e götürür. Öte yandan, eğer  $k+1 = 2q$  ise, o zaman  $(k-1)(r-q) = 2$ , dolayısıyla  $2(q-1)(r-q) = 2$ . Bu,  $q-1 = 1$  ve  $r-q = 1$ 'e, yani  $q = 2, r = 3$ 'e ve (1) uyarınca  $p = 2$ 'ye götürür. Dolayısıyla, pozitif  $r$  tam sayıları için,  $p$  ve  $q$  asallarında şu çözümlere sahibiz: 1)  $p = q = 2, r = 3$ ; 2)  $p = 5, q = 3, r = 6$ , ve 3)  $p = 3, q = 5, r = 6$ . Sadece ilk çözümde üç sayı da asaldır.

**NOT.** Eğer  $n$ 'inci üçgensel sayıyı  $t_n = \frac{1}{2}n(n+1)$  ile gösterirsek, o zaman yukarıdaki teoremi şu şekilde ifade edebiliriz:  $t_p + t_q = t_r$  denkleminin asal sayılarında yalnızca bir çözümü vardır, yani  $p = q = 2, r = 3$ .

<sup>81</sup>Bu tür sayılar, örneğin,  $p = 127, q = 3697, r = 5527$ 'dir. Bu sayıların asal olduğunu ve  $p(p+1), q(q+1)$  ve  $r(r+1)$  sayılarının bir aritmetik dizi oluşturduğunu (örneğin, asal sayılar tablolardan) kontrol etmek kolaydır. Bu tür sayıları bulmak için bir yöntem sunacağımız. Şu özdeşlikten:

$$n(n+1) + (41n+20)(41n+21) = 2(29n+14)(29n+15)$$

pozitif bir  $n$  tamsayısi için  $n(n+1), (29n+14)(29n+15)$  ve  $(41n+20)(41n+21)$  sayılarının bir aritmetik dizi oluşturduğu sonucu çıkar. Eğer bazı pozitif  $n$  tamsayıları için  $n, 29n+14$

82.  $n+1, n+3, n+7, n+9, n+13$  ve  $n+15$  sayılarının her birinin asal olmasını sağlayan tüm  $n$  pozitif tam sayılarını bulunuz.<sup>82</sup>
83. İki tam sayının dördüncü dereceden kuvvetinin toplamına eşit olan beş asal sayıyı bulunuz.<sup>83</sup>
84. İkiz asal sayılar olmayan sonsuz sayıda ardışık asal sayılar çiftinin bulunduğunu kanıtlayınız.<sup>84</sup>
85. Hiçbir ikiz asal sayıda bulunmayan sonsuz tane asal sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>85</sup>

ve  $41n + 20$  sayılarının hepsi asal olsaydı, bir çözüm bulmuş olurduk. Bu nedenle,  $n$  için ardışık tek asalları almalı ve  $29n + 14$  ile  $41n + 20$  sayılarının asal olup olmadığını kontrol etmeliyiz. Bu tür en küçük sayı, yukarıdaki gözüme götüren  $n = 127$ 'dir. Ancak, bu şekilde gerekli özelliklere sahip tüm asal üçlülerini elde ettiğimizi iddia edemeyiz.

**NOT.** A. Schinzel'in asallara ilişkin (Schinzel ve Sierpiński 1958a) belirli bir sanısından (konjektüründen),  $29n + 14$  ve  $41n + 20$  sayılarının da asal olmasını sağlayan sonsuz çoklukta  $n$  asalı bulunduğu sonucu çıkar.

Yukarıdaki problem söyle ifade edilebilir: asal indisli ve artan bir aritmetik dizi oluşturan üç üçgensel sayı bulunuz.

<sup>82</sup>Bu şekilde tek bir pozitif tamsayı vardır, o da  $n = 4$ 'tür. Aslında,  $n = 1$  için  $n+3 = 4$  sayısı bileşiktir;  $n = 2$  için  $n+7 = 9$  sayısı bileşiktir;  $n = 3$  için  $n+1 = 4$  sayısı bileşiktir; ve  $n > 4$  için sayılarımızın tamamı 5'i aşar ve en az biri 5 ile bölünebilir. Bu son özellik, 1, 3, 7, 9, 13 ve 15 sayılarının 5'e bölündüğünde 1, 3, 2, 4, 3 ve 0 kalanlarını vermesinden, yani tüm olası kalanları vermesinden kaynaklanır. Dolayısıyla,  $n+1, n+3, n+7, n+9, n+13$  ve  $n+15$  sayıları da 5'e bölündüğünde tüm olası kalanları verir; bu nedenle içlerinden en az biri 5 ile bölünebilir ve 5'ten büyük olduğu için bileşiktir. Öte yandan,  $n = 4$  için 5, 7, 11, 13, 17 ve 19 asal sayılarını elde ederiz.

**NOT.** A. Schinzel'in asal sayılarla ilgili bir konjektüründen (Schinzel ve Sierpiński 1958a)  $n+1, n+3, n+7, n+9$  ve  $n+13$  sayılarının her birinin asal olacağı şekilde sonsuz sayıda  $n$  pozitif tamsayısının var olduğu sonucu çıkar. Örneğin,  $n = 4, 10, 100$  durumları böyledir. Ayrıca bkz. (Sierpiński 1962b, 319, P<sub>2</sub>).

<sup>83</sup> $2 = 1^4 + 1^4, 17 = 1^4 + 2^4, 97 = 2^4 + 3^4, 257 = 1^4 + 4^4, 641 = 2^4 + 5^4$ .

**NOT.** A. Schinzel'in asallara ilişkin (Schinzel ve Sierpiński 1958a), pozitif tamsayılar üzerinde iki dördüncü kuvvetin toplamı olarak temsil edilebilen sonsuz sayıda asal sayının var olduğu sonucu çıkar ve genel olarak, her  $n$  pozitif tamsayısi için  $a$  ve  $b$  pozitif tamsayılar olmak üzere  $a^n + b^n$  formunda sonsuz sayıda asal sayının var olduğu sonucu çıkar.

<sup>84</sup> $p_k, k$ 'inci asal sayıyı gösterin ve  $n$  pozitif tamsayısi için  $p_{k_n}, \leq 6n + 1$  olan en büyük asal sayı olsun.  $6n + 2 = 2(3n + 1)$ ,  $6n + 3 = 3(2n + 1)$  ve  $6n + 4 = 2(3n + 2)$  sayıları bileşik olduğundan,  $p_{k_n+1} \geq 6n + 5$  olur ve  $p_{k_n+1} - p_{k_n} \geq (6n + 5) - (6n + 1) = 4$ 'tür, dolayısıyla  $p_{k_n}$  ve  $p_{k_n+1}$  asal sayıları ikiz asal değildir.  $p_{k_n} \geq 6n + 5$  olduğundan ve  $n$  keyfi olabileceğinden, bu tür sonsuz çoklukta  $p_{k_n}$  ve  $p_{k_n+1}$  sayısı vardır. Ancak,  $p_{k_n}, p_{k_n+1}$  çiftinde  $p_{k_n}$  sayısının bir ikiz asal çiftinin büyüğü olabileceğini ve  $p_{k_n+1}$ 'in başka bir ikiz asal çiftinin küçüğü olabileceğini umutmayın. Böylece,  $n = 1$  için, ikiz asal olan 5, 7 çiftinin büyüğü olan  $p_{k_n} = 7$ 'yi ve 11, 13 çiftinin büyüğü olan  $p_{k_n+1} = 11$ 'i elde ederiz.  $n = 2$  için, 11, 13 çiftinin büyüğü olan  $p_{k_n} = 13$ 'ü elde ederiz,  $p_{k_n+1} = 17$  ise 17, 19 çiftinin küçüğüdür.  $n = 17$  için, 101, 103 çiftinin büyüğü olan  $p_{k_n} = 103 = 6 \cdot 17 + 1$ 'i elde ederiz,  $p_{k_n+1} = 107$  ise 107, 109 çiftinin küçüğüdür.

<sup>85</sup>Lejeune-Dirichlet'nin aritmetik diziler üzerine teoremine göre,  $15k + 7$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) dizisinde sonsuz çoklukta asal sayı vardır. Bu sayıların hiçbirini bir ikiz asal çiftine ait olamaz çünkü  $(15k + 7) + 2 = 3(5k + 3)$  ve  $(15k + 7) - 2 = 5(3k + 1)$  sayıları ( $k > 0$  için) bileşiktir.

86.  $n^2 - 1$  sayısının birbirinden farklı üç asal sayının çarpımına eşit olmasını sağlayan en küçük beş  $n$  pozitif sayısını bulunuz.<sup>86</sup>
87.  $n^2 + 1$  sayısının birbirinden farklı üç asal sayının çarpımına eşit olmasını sağlayan en küçük beş  $n$  pozitif sayısını bulunuz.  $n^2 + 1$  sayısının birbirinden farklı üç tek sayının çarpımına eşit olmasını sağlayan bir  $n$  pozitif sayısı bulunuz.<sup>87</sup>
88. 7'den büyük olan her ardışık üç sayının en az birinin en az iki birbirinden farklı asal böleninin bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>88</sup>

<sup>86</sup>Eğer  $n$  pozitif bir tamsayı için  $n^2 - 1$  sayısı üç farklı asal sayının çarpımı ise,  $(2^2 - 1 = 3$  göz önüne alındığında)  $n > 2$  olmalıdır.  $n^2 - 1 = (n - 1)(n + 1)$  özdeşliği dikkate alındığında,  $n$  sayısı çift olmalıdır, aksi takdirde sağ taraftaki çarpanlar çift olurdu ve  $2^2 \mid n^2 - 1$  olurdu. Dahası,  $n - 1$  ve  $n + 1$  sayıları (alarındaki fark 2 olduğundan) ( $n > 2$  olduğu için 1'den büyütürler) her ikisi de bileşik olamaz, çünkü bu durumda  $n^2 - 1$  üç farklı asal sayının çarpımı olamazdı. Dolayısıyla,  $n - 1$  ve  $n + 1$  sayılarından biri asal olmalı, diğeri ise iki asal sayının çarpımı olmalıdır.  $n = 4$  için  $n - 1 = 3$ ,  $n + 1 = 5$  elde ederiz ve bu koşul sağlanmaz. Benzer şekilde,  $n = 6$  için  $n - 1 = 5$ ,  $n + 1 = 7$ ;  $n = 8$  için  $n - 1 = 7$ ,  $n + 1 = 9 = 3^2$ .  $n = 10$  için  $n - 1 = 3^2$ , ve  $n = 12$  için  $n - 1 = 11$ ,  $n + 1 = 13$  elde ederiz.  $n = 14$  için  $n - 1 = 13$ ,  $n + 1 = 15 = 3 \cdot 5$  elde ederiz. Bu durumda,  $n^2 - 1$ 'in üç farklı asal sayının çarpımı olduğu en küçük pozitif tamsayı  $n = 14$ 'tür, çünkü  $n^2 - 1 = 13 \cdot 3 \cdot 5$ .  $16^2 - 1 = 3 \cdot 5 \cdot 17$  olduğundan, gereken özelliğini sağlayan bir sonraki  $n$  sayısının  $n = 16$  olduğunu görürüz. Şimdi,  $18^2 - 1 = 17 \cdot 19$ ,  $20^2 - 1 = 19 \cdot 21 = 3 \cdot 7 \cdot 19$ , ve üçüncü böyle sayı  $n = 20$ 'dir. Sonra,  $22^2 - 1 = 3 \cdot 7 \cdot 23$ , ve dördüncü aranan sayı  $n = 22$ 'dir. Bu şekilde devam ederek,  $32^2 - 1 = 3 \cdot 11 \cdot 31$  olduğundan, beşinci böyle sayının  $n = 32$  olduğunu kolayca buluruz. Dolayısıyla,  $n^2 - 1$ 'in üç farklı asal sayının çarpımı olduğu ilk beş tamsayı 14, 16, 20, 22 ve 32'dir.

**NOT.** A. Schinzel'in asallarla ilgili bir konjektüründen (Schinzel ve Sierpiński 1958a), bu tür sonsuz çoklukta  $n$  sayısının var olduğu sonucu çıkar. Daha genel olarak, her  $s > 1$  için,  $n^2 - 1$ 'in  $s$  farklı asal sayının çarpımı olduğu sonsuz çoklukta  $n$  pozitif tamsayıları vardır.

<sup>87</sup> $n^2 + 1$ 'in üç farklı asal sayının çarpımı olduğu en küçük beş pozitif  $n$  tamsayısı  $n = 13, 17, 21, 23$  ve  $27$ 'dir. Elimizde  $13^2 + 1 = 2 \cdot 5 \cdot 17$ ,  $17^2 + 1 = 2 \cdot 5 \cdot 29$ ,  $21^2 + 1 = 2 \cdot 13 \cdot 17$ ,  $23^2 + 1 = 2 \cdot 5 \cdot 53$  vardır.  $n = 112$  için  $112^2 + 1 = 5 \cdot 13 \cdot 193$  elde ederiz.

**NOT.** A. Schinzel'in asallarla ilgili bir konjektüründen (Schinzel ve Sierpiński 1958a), her  $s$  için  $n^2 + 1$ 'in  $s$  farklı asal sayının çarpımı olduğu sonsuz çoklukta  $n$  pozitif tamsayılarının var olduğu sonucu çıkar.

<sup>88</sup> $n > 7$  olmak üzere  $n$ ,  $n + 1$  ve  $n + 2$  sayılarının her birinin sadece bir asal böleni olduğunu varsayılmı. Bu sayılardan hiçbir 6 ile bölünemez, bu da  $n$ 'in  $6k + 1$ ,  $6k + 2$  veya  $6k + 3$  formunda olması gereği anlamına gelir, burada  $k$  pozitif bir tamsayıdır.

Eğer  $n = 6k + 1$  ise, çift olan ve sadece bir asal böleni olan  $6k + 2$  sayısı  $2^m$  formunda olmalıdır; şimdi,  $n > 7$  olması  $6k + 2 = n + 1 > 8$ 'i gerektirdiğinden,  $m$  sayısı  $> 3$  olmalıdır.  $n + 2 = 6k + 3$  sayısı 3 ile bölünebilir ve eğer sadece bir asal böleni varsa,  $3^s$  formunda olmalıdır.  $6k + 3 = n + 2 > 9$  olduğundan,  $s$  sayısı  $> 2$  olmalıdır. Dahası,  $3^s - 2^m = 1$  elde ederiz; ancak bu denklemin sadece iki tamsayı çözümü vardır, bunlar  $s = 1$  ve  $s = 2$ ,  $m = 3$ 'tür (bkz. Problem 185). Eğer  $n = 6k + 2$  ise,  $n = 2^m$  ve  $n + 1 = 6k + 3 = 3^s$  olur, burada  $m > 2$ 'dir ( $n > 6$  olduğundan).  $3^s - 2^m = 1$  elde ederiz, bu da  $m > 3$  için imkansızdır.

Son olarak, eğer  $n = 6k + 3$  ise,  $n = 3^s$ ,  $n + 1 = 2^m$  olur ve  $n > 7$  göz önüne alındığında  $s \geq 2$ ,  $m > 3$  elde ederiz, halbuki  $2^m - 3^s = 1$  denkleminin tek bir tamsayı çözümü vardır, o da  $m = 2$ ,  $s = 1$ 'dir (bkz. Problem 184). Dolayısıyla,  $n > 7$  tamsayıları için  $n, n + 1$  ve  $n + 2$  sayılarından hiçbirinin birden fazla asal böleni olmadığı varsayımlı bir çelişkiye yol açtı. Öte yandan,  $n = 7$  için  $n + 1 = 2^3$ ,  $n + 2 = 3^2$  olur ve  $n, n + 1$  ve  $n + 2$  sayılarının her birinin sadece bir asal böleni vardır.

89.  $n, n+1, n+2$  sayılarından her biri birbirinden farklı iki asal sayının çarpımına eşit olacak şekilde beş en küçük pozitif tam sayıyı bulunuz. Bu özellikle sahip olan dört ardışık sayı dizisini bulunmadığını kanıtlayınız. Her birinin tam iki asal böleni bulunan dört ardışık pozitif tam sayıyı bulunuz.<sup>89</sup>
90. Aşağıdaki teoremlerin birbirine denk olduğunu gösteriniz:<sup>90</sup>
- $n$  ve  $n+1$  sayılarının her birinin sadece bir asal böleni olmasını sağlayan  $n$  pozitif tam sayıları sonlu sayıdadır.
  - Sadece sonlu sayıda Mersenne asal sayıları ve sonlu sayıda Fermat asal sayıları vardır.
91.  $n$  pozitif tam sayı olmak üzere milyonlarca büyük olmayan ve iki asal sayının çarpımına eşit olan tüm  $2^n - 1$  şeklinde olan sayıları bulunuz. Eğer  $n$  çift ise ya da  $n > 4$ 'ten büyükse,  $2^n - 1$  sayısının 1'den büyük en az üç asal sayının çarpımı şeklinde gösterilebileceğini kanıtlayınız.<sup>91</sup>

<sup>89</sup>  $n = 33$  ( $n = 3 \cdot 11$ ,  $n+1 = 2 \cdot 17$ ,  $n+2 = 5 \cdot 7$ ),  $n = 85$  ( $n = 5 \cdot 17$ ,  $n+1 = 2 \cdot 43$ ,  $n+2 = 3 \cdot 29$ ),  $n = 93$  ( $n = 3 \cdot 31$ ,  $n+1 = 2 \cdot 47$ ,  $n+2 = 5 \cdot 19$ ),  $n = 141$  ( $n = 3 \cdot 47$ ,  $n+1 = 2 \cdot 71$ ,  $n+2 = 11 \cdot 13$ ),  $n = 201$  ( $n = 3 \cdot 67$ ,  $n+1 = 2 \cdot 101$ ,  $n+2 = 7 \cdot 29$ ). Her biri iki farklı asal sayının çarpımı olan dört ardışık pozitif tamsayı yoktur, çünkü her dört ardışık sayıdan biri 4 ile bölünmek zorundadır. Her biri tam olarak iki farklı asal bölene sahip olan dört ardışık pozitif tamsayıya bir örnek  $33 = 3 \cdot 11$ ,  $34 = 2 \cdot 17$ ,  $35 = 5 \cdot 7$ ,  $36 = 2^2 \cdot 3^2$  sayılarıdır.

**NOT.**  $n$ ,  $n+1$  ve  $n+2$  sayılarının her birinin iki farklı asal sayının çarpımı olduğu sonsuz çoklukta  $n$  pozitif tamsayısının var olduğunu kanıtlayamıyoruz; bu, A. Schinzel'in asallarla ilgili belirli bir konjektüründen çıkmaktadır. Bkz. (Schinzel ve Sierpiński 1958a, 197, sonuç  $C_7$ ).

<sup>90</sup> Hem  $n$  hem de  $n+1$ 'in sadece bir asal böleni olduğu sonsuz çoklukta  $n$  pozitif tamsayısının var olduğunu varsayılmı.  $n > 1$  olduğunu varsayıyalım.  $n > 1$  olduğunu varsayıyalım ve  $n$  ile  $n+1$  sayılarından biri çift, diğeri tek olduğundan,  $k$  ve  $m$  pozitif tamsayılar olmak üzere,  $p^k - 2^m = \pm 1$  gibi bir tek  $p$  asalı için  $n$  ve  $n+1$  sayıları  $p^k$  ve  $2^m$  (ya da tam tersi) olmalıdır. Dolayısıyla  $p^k = 2^m \pm 1$  elde ederiz. Bir Mersenne sayısı  $> 1$  herhangi bir asal sayının 1'den büyük üslü bir kuvvetine eşit olamayacağından (bkz. (Sierpiński 1964a, 335, teorem 2)),  $p^k = 2^m - 1$  durumunda  $k = 1$  olmalıdır ve  $2^m - 1 = p$  bir Mersenne asalıdır. Öte yandan, eğer  $p^k = 2^m + 1$  ise, ya  $k = 1$ 'dir, bu durumda  $p = 2^m + 1$  ya 3'tür (eğer  $m > 1$  ise) ya da bir Fermat asalıdır, ya da  $k > 1$ 'dir, bu durumda  $2^m = p^k - 1 = (p-1)(p^{k-1} + p^{k-2} + \dots + 1)$  elde ederiz. Sol taraf çift olduğundan,  $k$  sayısı çift olmalıdır; dolayısıyla  $k = 2l$ , burada  $l$  pozitif bir tamsayıdır, ve  $2^m = (p^l - 1)(p^l + 1)$  yazabilirmiz. Bu nedenle  $p^l - 1$  ve  $p^l + 1$  sayıları, aralarındaki fark 2 olan 2'nin kuvvetleridir, bu da  $p^l - 1 = 2$ ,  $p^l + 1 = 4$ 'ü gerektirir, buradan  $p^l = 3$  ve  $p = 3$ ,  $l = 1$  bulunur,  $m = 3$  olur, bu da  $3^2 = 2^3 + 1$  sonucunu verir.

Böylece,  $n > 8$  için  $n$  ve  $n+1$  sayılarının her birinin bir asal böleni varsa,  $n$ 'in bir Mersenne asalı veya  $n+1$ 'in bir Fermat asalı olduğunu kanıtladık.

Tersine, eğer  $M_m = 2^m - 1$  bir Mersenne asalı ise,  $M_m$  ve  $M_m + 1 = 2^m$  sayılarının her birinin bir asal böleni vardır. Eğer  $F_k = 2^{2^k} + 1$  bir Fermat asalı ise,  $F_k - 1 = 2^{2^k}$  ve  $F_k$  sayılarının her birinin bir asal böleni vardır, bu da teoreminizin kanıtını tamamlar. Bkz. (Sierpiński 1958a, 209).

**NOT.** Bugüne kadar,  $n$  ve  $n+1$ 'in her birinin bir asal böleni olduğu sadece 29 tane  $n$  pozitif tamsayısi bilinmektedir. En küçük beşi 2, 3, 4, 7, 8 olup en büyüğü  $n = 2^{11213} - 1$ 'dir.

<sup>91</sup>  $2^2 - 1 = 3$ ,  $2^4 - 1 = 3 \cdot 5$  ve  $2^{2^k} - 1 = (2^k - 1)(2^k + 1)$  eşitliklerine sahibiz. Eğer  $n = 2k > 4$  için  $2^{2^k} - 1$  sayısı iki asalın çarpımına eşit olsaydı, o zaman  $2^k - 1$  ve  $2^k + 1$  sayılarının da asal olması gereklidir. Bunlar ardışık tek sayılar olduğundan,  $2^k - 1 \leq 5$  olmalıdır, bu da  $k \leq 2$  demektir.  $k > 1$  olduğundan,  $k = 2$  olmalıdır, bu da  $k > 2$  varsayımyla çelişir. Bu

92. Problem 47'yi kullanarak,  $p_n$ ,  $n$ . asal sayısını göstermek üzere, her  $n \geq 3$  için  $p_{n+1} + p_{n+2} \leq p_1 \cdot p_2 \cdots \cdot p_n$  eşitsizliğinin doğru olduğunu kanıtlayınız.<sup>92</sup>
93.  $n$  pozitif tam sayısı için  $q_n$  ile,  $n$ 'nin böleni olmayan en küçük asal sayıyı gösterelim. 92. problemi kullanarak  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{q_n}{n} = 0$  olduğunu kanıtlayınız.<sup>93</sup>
94. Her  $n > 4$  tam sayısı için  $n$  ile  $2n$  arasında birbirinden farklı iki asal sayının çarpımına eşit olan en az bir tam sayının bulunduğu ve her  $n > 15$  tam sayısı için  $n$  ile  $2n$  arasında, birbirinden farklı üç asal sayının çarpımına eşit olan en az bir sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>94</sup>

nedenle,  $n$  çift ve  $> 4$  için  $2^n - 1$  sayıları, en az üç doğal sayının çarpımına eşittir. Tek  $n$  için,  $2^3 - 1 = 7$ ,  $2^5 - 1 = 31$ ,  $2^7 - 1 = 127$ ,  $2^9 - 1 = 7 \cdot 73$ ,  $2^{11} - 1 = 23 \cdot 89$ ,  $2^{13} - 1 = 8191$  (ki bu bir asaldır),  $2^{15} - 1 = 7 \cdot 31 \cdot 151$ ,  $2^{17} - 1$  ve  $2^{19} - 1$  sayıları asaldır ve  $2^{21} - 1 = 7 \cdot 127 \cdot 337$ ,  $2^{23} - 1$  ise zaten  $> 10^6$ 'dır. Böylece,  $2^n - 1$  formunda olup  $< 10^6$  olan ve iki asalın çarpımına eşit olan tüm pozitif tam sayılar  $2^4 - 1 = 3 \cdot 5$ ,  $2^9 - 1 = 7 \cdot 73$  ve  $2^{11} - 1 = 23 \cdot 89$ 'dur.

**NOT.** Milyonu aşan ve iki farklı asalın çarpımı olduğu bilinen Mersenne sayıları,  $n = 23, 37, 49, 67$  ve  $101$  için  $M_n = 2^n - 1$  sayılarıdır. Bu tür sayıların sonsuz sayıda olup olmadığını bilmiyoruz.

<sup>92</sup>  $k \geq 3$  olduğundan,  $p_1 p_2 \cdots p_k \geq p_1 p_2 p_3 = 2 \cdot 3 \cdot 5 > 6$  olur ve Problem 47 uyarınca,  $a$  ve  $b$  sayıları  $> 1$  ve aralarında asal olmak üzere  $p_1 p_2 \cdots p_k = a + b$ 'dır, dolayısıyla  $p_1 p_2 \cdots p_k$  çarpımıyla da aralarında asaldır.

$a$  ve  $b > 1$  olduğundan, farklı asal bölenleri vardır;  $p | a$  ve  $q | b$  olsun,  $p < q$  olduğunu varsayıyalım.  $(p, p_1 p_2 \cdots p_k) = 1$  olduğundan,  $p \geq p_{k+1}$  olur ve  $q > p$  nedeniyle  $q \geq p_{k+2}$  olur. Bu nedenle  $p + q \leq a + b$ 'dır ve kanıtlanması istediği gibi  $p_{k+1} + p_{k+2} \leq p_1 p_2 \cdots p_k$  eşitsizliğine sahibiz.

<sup>93</sup>  $m, > 3$  olan keyfi bir tam sayıyı göstersin ve  $n$ ,  $n > p_1 p_2 \cdots p_m$  koşulunu sağlayan bir tam sayı olsun. O zaman  $k \geq m \geq 4$  olacak şekilde bir  $k$  tam sayısı vardır, öyle ki

$$p_1 p_2 \cdots p_k \leq n < p_1 p_2 \cdots p_k p_{k+1}. \quad (1)$$

Eğer  $q_n \geq p_{k+1} + 1 > p_{k+1}$  olsaydı, o zaman  $q_n$  sayısının tanımı gereği  $p_1, p_2, \dots, p_{k+1}$  sayılarının her biri  $n$ 'in bir böleni olurdu, dolayısıyla (1) ile gelişecek şekilde  $n \geq p_1 p_2 \cdots p_{k+1}$  olurdu. Bu nedenle  $q_n < p_{k+1} + 1 < p_k + p_{k+1}$  eşitsizliğine sahibiz ve  $k \geq 4$  ile Problem 92 uyarınca  $q_n \leq p_1 p_2 \cdots p_{k-1}$  elde ederiz, bu da (1) kullanılarak şu ilişkiye verir:

$$\frac{q_n}{n} < \frac{1}{p_k} \leq \frac{1}{k} \leq \frac{1}{m}$$

Keyfi bir  $m > 3$  için  $n > p_1 p_2 \cdots p_m$  olduğunda  $q_n/n < 1/m$  olduğunu kanıtladık, bu da  $n$  sonsuza giderken  $q_n/n$  oranının sıfıra yaklaştığını gösterir, ki bu da kanıtlanması istenen şeydi.

<sup>94</sup>  $n, > 4$  olan bir tam sayı olsun. Ya  $n = 2k$  (burada  $k > 2$ ) ya da  $n = 2k + 1$  (burada  $k > 1$ ) olur. Eğer  $n = 2k$  (burada  $k > 2$ ) ise, Chebyshev teoremine göre  $k < p < 2k$  olacak şekilde bir  $p$  asalı vardır ve  $p > k > 2$  olduğundan  $p > 2$  olur. Böylece  $n = 2k < 2p < 4k = 2n$  olur ve  $p > 2$  olduğundan  $2p$  sayısı iki farklı asalın çarpımıdır ve  $n < 2p < 2n$  eşitsizliği sağlanır. Eğer  $n = 2k + 1$  (burada  $k \geq 2$ ) ise, Chebyshev teoremine göre  $k < p < 2k$  olacak şekilde bir  $p$  asalı vardır, dolayısıyla  $3 \leq k + 1 \leq p < 2k$  ve  $n = 2k + 1 < 2k + 2 \leq 2p < 4k < 4k + 2 = 2n$  olur, ve yine  $n < 2p < 2n$  eşitsizliğini elde ederiz,  $2p$  ise iki farklı asalın çarpımıdır. Şimdi  $n > 15$  bir tam sayı olsun. Eğer  $n = 16, 17, \dots, 29$  ise,  $30 = 2 \cdot 3 \cdot 5$  sayısı  $n$  ile  $2n$  arasında yer alır. Bu nedenle  $n \geq 30$  olduğunu varsayıyalız. O halde  $n = 6k + r$ 'dır, burada  $k, \geq 5$  olan bir tam sayıdır ve  $r$ ,  $n$ 'in 6'ya bölünmesinden elde edilen kalandır, yani  $r, 0 \leq r \leq 5$  eşitsizliğini sağlar. Chebyshev teoremine göre,  $k < p < 2k$  olacak şekilde bir  $p$  asalı vardır, dolayısıyla  $p > 5$  ve  $k + 1 \leq p < 2k$  olur. Buradan  $n = 6k + r < 6(k + 1) \leq 2 \cdot 3 \cdot p < 12k \leq 2n$  sonucu çıkar, dolayısıyla  $n < 2 \cdot 3 \cdot p < 2n$  olur ve  $2 \cdot 3 \cdot p$  üç farklı asalın çarpımıdır.

95. Her  $s$  pozitif tam sayısı için, yeterince büyük  $n$ 'ler için  $n$  ile  $2n$  arasında  $s$  tane birbirinden farklı asal sayının çarpımına eşit olan en az bir sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>95</sup>
96.  $1, 31, 331, 3331, \dots$  sonsuz dizisinde sonsuz sayıda bileşik sayı bulduğunu kanıtlayınız ve bunlardan en küçüğünü bulunuz.<sup>96</sup>
97.  $n^4 + (n+1)^4$  sayısının bileşik olmasını sağlayan en küçük  $n$  pozitif tam sayısını bulunuz.<sup>97</sup>
98.  $10^n + 3$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) şeklinde olan sonsuz sayıda bileşik sayı bulduğunu kanıtlayınız.<sup>98</sup>

99.  $n > 1$  tam sayıları için  $\frac{2^{4n+2} + 1}{5}$  sayısının bileşik olduğunu kanıtlayınız.<sup>99</sup>

<sup>95</sup>  $p_k$ ,  $k$ -inci ardışık asal göstersin ve  $s, > 1$  olan keyfi bir tam sayı olsun.  $n > p_1 p_2 \dots p_s$  olsun.  $n$  ile  $2n$  arasında  $s$  farklı asalın çarpımı olan en az bir pozitif tam sayı bulduğunu göstereceğiz.  $n = kp_1 p_2 \dots p_{s-1} + r$  olsun; burada  $r, n$ 'in  $p_1 p_2 \dots p_{s-1}$  ile bölünmesinden elde edilen kalandır, dolayısıyla  $n > p_1 p_2 \dots p_s$  olduğundan,  $k > p_s$  ve  $0 \leq r < p_1 p_2 \dots p_{s-1}$  olur. Chebyshev teoremine göre,  $k < p < 2k$  olacak şekilde bir  $p$  asalı vardır, dolayısıyla  $p > p_s$  ve  $k+1 \leq p < 2k$  olur. Buradan  $n = p_1 p_2 \dots p_{s-1} k + r < p_1 p_2 \dots p_{s-1} (k+1) \leq p_1 p_2 \dots p_{s-1} p < 2p_1 p_2 \dots p_{s-1} k \leq 2n$  sonucu çıkar, dolayısıyla  $n < p_1 p_2 \dots p_{s-1} p < 2n$  olur.  $p_1 p_2 \dots p_{s-1} p$  sayısı,  $p > p_s$  olduğundan,  $s$  farklı asalın çarpımına eşittir.

**NOT.** Chebyshev teoreminin elementer bir kanıtı Sierpiński [37, s. 137, teorem 8]'de verilmiştir.

<sup>96</sup> Dizimizin  $n$ -inci teriminin  $\frac{1}{3}(10^n - 7)$ 'ye eşit olduğunu kolayca kontrol edebiliriz.  $10^2 \equiv 15 \equiv -2 \pmod{17}$  olur, dolayısıyla  $10^8 \equiv 16 \equiv -1 \pmod{17}$  olur. Böylece  $10^9 \equiv -10 \equiv 7 \pmod{17}$  ve  $10^{16} \equiv 1 \pmod{17}$  olduğundan,  $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $10^{16k+9} \equiv 7 \pmod{17}$  elde ederiz. Dolayısıyla  $17 \mid \frac{1}{3}(10^{16k+9} - 7)$  olur ve  $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $\frac{1}{3}(10^{16k+9} - 7)$  sayıları  $\geq \frac{1}{3}(10^9 - 7) > 17$  olduğundan, hepsi bileşik sayıdır. A. Mąkowski tarafından asal sayı tablolarında kontrol edildiği üzere,  $\frac{1}{3}(10^n - 7)$  sayıları  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  ve  $8$  için asaldır. Bu formdaki en küçük bileşik sayı bu nedenle  $\frac{1}{3}(10^9 - 7) = 33333331$ 'dir. Bulduklarımız dışında, ele alınan formda başka bileşik sayılar olup olmadığı sorusuna ortaya çıkmaktadır.  $10^2 \equiv 5 \pmod{19}$  olur, dolayısıyla  $10^4 \equiv 25 \equiv 6 \pmod{19}$  ve  $10^{12} \equiv 6^3 \equiv 7 \pmod{19}$  olur ve  $10^{18k} \equiv 1 \pmod{19}$  olduğundan,  $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $19 \mid \frac{1}{3}(10^{18k+12} - 7)$  elde ederiz. Örneğin,  $\frac{1}{3}(10^{12} - 7)$  sayısı bileşiktir. Ancak, yukarıda verilenler dışında bu formda başka asal olup olmadığını ve eğer varsa, sonsuz sayıda olup olmadıklarını bilmiyoruz.

<sup>97</sup> Sayı  $n = 5$ 'tir, çünkü  $1^4 + 2^4 = 17$ ,  $2^4 + 3^4 = 97$ ,  $3^4 + 4^4 = 337$  ve  $4^4 + 5^4 = 881$  asal iken,  $5^4 + 6^4 = 1921 = 17 \cdot 113$ 'tür.

<sup>98</sup>  $k = 0, 1, 2, \dots$  olmak üzere  $10^{6k+4} + 3$  biçimindeki tüm sayılar 7 ile bölünebildikleri için bileşiktir. Gerçekten de,  $10^4 \equiv 4 \pmod{7}$ 'dir ve Fermat teoremine göre  $10^6 \equiv 1 \pmod{7}$ 'dir. Böylece,  $k$  tamsayısi için  $10^{6k+4} + 3 \equiv 10^{6k} \cdot 10^4 + 3 \equiv 1^k \cdot 4 + 3 \equiv 4 + 3 \equiv 0 \pmod{7}$  olur. **NOT.**  $n = 1, 2, \dots$  için  $10^n + 3$  biçimindeki sayılar arasında sonsuz çoklukta asal sayı olup olmadığını bilmiyoruz. Bu tür sayılar  $n = 1$  ve  $n = 2$  için asaldır, ancak  $n = 3$  ve  $n = 4$  için bileşiktir (çünkü  $1003 = 17 \cdot 59$  ve  $7 \mid 10^4 + 3$ ).

<sup>99</sup>  $n$  tamsayısi için

$$2^{4n+2} + 1 = (2^{2n+1} - 2^{n+1} + 1)(2^{2n+1} + 2^{n+1} + 1). \quad (1)$$

özdesliğine sahibiz.  $5 \mid 2^2 + 1$  olduğundan ve  $n > 1$  tamsayısi için  $2^{2n+1} - 2^{n+1} + 1 = 2^{n+1}(2^n - 1) + 1 \geq 2^3 \cdot (2^2 - 1) + 1 = 25$  olduğundan, sağ taraftaki çarpanlardan en az birinin 5 ile bölünebildiği ve ( $n > 1$  için) 5'e bölündüğünde birden büyük bir bölüm verdiği sonucu çıkar. Bu nedenle  $\frac{1}{5}(2^{4n+2} + 1)$ ,  $n = 1, 2, \dots$  için, 1'den büyük iki tamsayıının çarpımına eşittir, dolayısıyla bileşiktir.

100. Her  $m$  pozitif tam sayısı için  $2^n - 1$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) sonsuz dizisinin, bileşik sayılardan oluşan  $m$  ardışık teriminin bulunduğu kanıtlayınız.<sup>100</sup>
101. Bir basamağı değiştirilerek bir asal sayı elde edilemeyen bir pozitif tam sayı bulduğunu gösteriniz.<sup>101</sup>
102. Aşağıdaki teoremlerin birbirine denk olduğunu kanıtlayınız:<sup>102</sup>
- T.** Her  $n > 1$  tam sayısı için  $n$  ile  $2n$  arasında en az bir asal sayı bulunur.
  - T1.** Her  $n > 1$  tam sayısı için  $n!$  sayısının asal çarpanlarına ayrılışında üstü bir olan en az bir asal sayı bulunur.
103. Her  $n$  pozitif tam sayısı için  $n!$  sayısının asal çarpanlarına ayrılmada kuvveti 1 olan en az iki asal sayı bulunur.<sup>103</sup>

---

<sup>100</sup>  $m > 1$  keyfi bir tamsayı olsun ve  $k = 2, 3, \dots, m$  olmak üzere  $n = m! + k$  olsun.  $k < m! + k$  ve  $k \mid m! + k$ 'dır, buradan  $2^k - 1 < 2^{m!+k} - 1$  ve  $2^k - 1 \mid 2^{m!+k} - 1$  elde edilir. Böylece  $2^{m!+k} - 1$  sayıları  $k = 2, 3, \dots, m$  için, dolayısıyla  $2^n - 1$  dizisinin ardışık  $m - 1$  terimi için bileşiktir.

<sup>101</sup> 200 sayılarından bir asal sayı elde etmek için, son basamağını tek bir sayı ile değiştirmek gereklidir. Ancak,  $3 \mid 201$ ,  $7 \mid 203$ ,  $5 \mid 205$ ,  $3 \mid 207$  ve  $11 \mid 209$ 'dur. Böylece, sadece bir basamağı değiştirek 200 sayılarından bir asal sayı elde edilemez.

**NOT.** İki basamağı değiştirerek her sayıdan bir asal sayı elde edip edilemeyeceğini bilmiyoruz. Öte yandan, (ondalık) basamaklarından hiçbirinin değiştirilmesinin bir asal sayı ile sonuçlanmayacağı sonsuz çoklukta pozitif  $n$  tamsayısının var olduğunu kanıtlamak kolaydır. Örneğin,  $n = 2310k - 210$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) için, son basamağını (yani 0'ı), (açıkça 1, 3, 7 veya 9 sayılarından birine) değiştirmemiz gerekiyor; ancak  $11 \mid n + 1$ ,  $3 \mid n + 3$ ,  $7 \mid n + 7$  ve  $3 \mid n + 9$  olduğunu görmek kolaydır.

<sup>102</sup> T teoreminin doğru olduğunu varsayıyalım. T1 teoremi  $n = 2$  ve  $n = 3$  için açıkça doğrudur.  $n > 3$  bir tamsayı olduğunu varsayıyalım. Eğer  $n$  çift ise, yani  $n = 2k$ , o zaman  $n > 3$  olduğundan,  $k > 1$ 'dir ve T teoremine göre  $k < p < 2k$  olacak şekilde bir  $p$  asalı vardır, buradan  $p < 2k = n < 2p$  olur ve  $p, n! = 1 \dots n$  çarpımındaki sadece bir çarpanı böler. Eğer  $n = 2k + 1$  ise ( $n > 1$  olduğundan)  $k > 1$  bir tamsayıdır, o zaman T teoremine göre  $k < p < 2k < n$  olacak şekilde bir  $p$  asalı vardır, buradan  $k + 1 \leq p$  olur ki bu da  $2k + 1 < 2p$  ve  $p < n < 2p$  anlamına gelir. Önce gibi,  $p, n!$ 'in asal açılımına 1 üssü ile girer. Dolayısıyla, T'nin T1'i gerektirdiğini gösterdik.

Şimdi T1'in geçerli olduğunu varsayıyalım ve  $n > 1$  bir tamsayıyı göstersin. T1 teoremine göre,  $(2n)!$ 'in asal açılımına 1 üssü ile giren bir  $p$  asalı vardır. Dolayısıyla,  $p \leq 2n < 2p$ 'ye sahibiz (çünkü eğer  $2p \leq 2n$  olsaydı, o zaman  $(2n)! = 1 \cdot 2 \dots (2n - 1)2n$  çarpımında  $p$  ve  $2p$  çarpanlarına sahip olurduk ve  $p$ , T1 teoreminin aksine  $\geq 2$  üssü ile girerdi). Dolayısıyla,  $n < p < 2n$ 'ye sahibiz ( $n > 1$  olduğundan,  $p = 2n$  denklemi asal  $p$  için imkansızdır). Böylece, T teoremi T1 teoreminden çıkar, bu da T ve T1'in denk olduğunu gösterir.

<sup>103</sup>  $11!$ 'in asal açılımında, 7 ve 11 asalları açıkça 1 üsleriyle yer alır. Bu nedenle,  $n > 11$  olduğunu varsayıyalırız; bu da  $n = 2k$  durumunda olduğu gibi  $n = 2k + 1$  durumunda da  $k > 5$  olmasını gerektirir. Kullanacağımız teoreme göre,  $k < p < q < 2k$  olacak şekilde iki  $p$  ve  $q > p$  asalı vardır. Dolayısıyla en azından  $p < q < n$  ve  $p \geq k + 1$  elde ederiz, bu da  $2q > 2p \geq 2k + 2 > n$  anlamına gelir. Böylece, hem  $p$  hem de  $q$  asalları  $n!$ 'in açılımına 1 üssü ile girer.

10! sayısına gelince, sadece 7 asalı açılımına 1 üssü ile girer.

104. Her  $n$  pozitif tam sayısı için,  $p - 1$  ve  $p + 1$  sayılarının her birinin en az  $n$  tane pozitif tam böleni olacak şekilde bir  $p$  asal sayısı bulduğunu kanıtlayınız.<sup>104</sup>
105.  $p - 1$  ve  $p + 1$  sayılarından her birinin en az 3 farklı asal böleni bulunacak şekilde en küçük  $p$  asal sayısını bulunuz.<sup>105</sup>
106. Her  $n$  pozitif tam sayısı için,  $p - 1$ ,  $p + 1$  ve  $p + 1$  sayılarının her birinin en az  $n$  tane farklı asal böleni olacak şekilde sonsuz sayıda  $p$  asal sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>106</sup>
107. Her  $n$  ve  $s$  pozitif tam sayıları için, her biri terimlerinin en az  $n$  farklı asal böleni olacak ve bu asal sayılardan her birinin kuvveti en az  $s$  olacak şekilde istenilen uzunlukta ardışık sayılar dizisinin bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>107</sup>
108.  $n > 1$  tek sayısı için  $n$  ve  $n+2$  sayılarının sayılarının asal olması için,  $(n-1)!$  sayısının  $n$  ve  $n+2$  sayılarıyla bölünmemesinin gerek ve yeterli olduğunu kanıtlayınız.<sup>108</sup>

<sup>104</sup> $n$  verilmiş bir pozitif tamsayı olsun. Lejeune-Dirichlet'nin aritmetik diziler üzerine teoremine göre,  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $p = 6^k k! + 2 \cdot 3^{2^{k-1}} - 1$  biçiminde bir asal sayı vardır. (Pozitif  $n$  tamsayısi için  $2^{k-1} \geq n$  olduğu göz önüne alındığında) buradan  $3^n \mid p + 1$  olduğu ve  $p + 1$  sayısının  $n$ 'den fazla farklı pozitif tamsayı bölenine (örneğin,  $1, 3, 3^2, \dots, 3^n$ ) sahip olduğu sonucu çıkar. Öte yandan, Euler teoremine göre  $3^{\phi(2^n)} \equiv 1 \pmod{2^n}$  dir, buradan  $2^n \mid 3^{2^{n-1}} - 1$  gelir, bu da  $2^n \mid p - 1$  olduğunu ve  $p - 1$  sayısının  $n$ 'den fazla farklı pozitif tamsayı bölenine (örneğin,  $1, 2, 2^2, \dots, 2^n$ ) sahip olduğunu gösterir.

<sup>105</sup> $p = 131$ . Burada  $p - 1 = 2 \cdot 5 \cdot 13$  ve  $p + 1 = 2^2 \cdot 3 \cdot 11$ 'e sahibiz.

<sup>106</sup> $n$  verilmiş bir pozitif tamsayı olsun ve  $p_i$ ,  $i$ . asal göstersin. Çin kalan teoremine göre,  $b \equiv 1 \pmod{p_1 p_2 \dots p_n}$ ,  $b \equiv -1 \pmod{p_{n+1} p_{n+2} \dots p_{2n}}$  ve  $b \equiv -2 \pmod{p_{2n+1} p_{2n+2} \dots p_{3n}}$  olacak şekilde pozitif bir  $b$  tamsayısi vardır.  $(b, p_1 p_2 \dots p_{3n}) = 1$  dir ve Dirichlet teoremine göre,  $p = p_1 p_2 \dots p_{3n} k + b$  sayısının bir asal olmasını sağlayan pozitif bir  $k$  tamsayısi vardır. Bu durumda

$$p_1 p_2 \dots p_n \mid p - 1, \quad p_{n+1} p_{n+2} \dots p_{2n} \mid p + 1, \quad \text{ve} \quad p_{2n+1} p_{2n+2} \dots p_{3n} \mid p + 2$$

olur, dolayısıyla  $p - 1$ ,  $p + 1$  ve  $p + 2$  sayılarının her biri en az  $n$  farklı asal bölene sahiptir.  
<sup>107</sup> $p_k$ ,  $k$ . asal göstersin. Pozitif  $n, s$  ve  $m$  tamsayıları için,  $j = 1, 2, \dots, m$  olmak üzere

$$a_j = p_{j(s-1)n+1} p_{j(s-1)n+2} \dots p_{jsn}$$

yazalım.  $1 \leq i < j \leq m$  için  $(a_i, a_j) = 1$  dir ve Çin kalan teoremine göre,  $j = 1, 2, \dots, m$  için

$$x \equiv -j \pmod{a_j}$$

olacak şekilde pozitif bir  $x$  tamsayısi vardır. Böylece  $j = 1, 2, \dots, m$  için  $a_j \mid x + j$ 'ye sahibiz, bu da  $x + j$  sayılarının ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) her birinin en az  $n$  farklı asal böleni olduğunu ve bu bölenlerin her birinin en az  $s$ . kuvvette görüneceğini gösterir. Bu nedenle  $x + 1, x + 2, \dots, x + m$  dizisi gerekli koşulları sağlar.

<sup>108</sup>Eğer pozitif bir  $m$  tamsayısi için  $m!$  sayısı bir  $p$  asal ile bölünüyorsa, o zaman  $p, m! = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot m$  çarpımındaki çarpanlardan en az birini bölmelidir, dolayısıyla  $p \leq m$  olmalıdır. Böylece, eğer  $m!$  sayısı  $n > m$  olan bir  $n$  tamsayısi ile bölünüyorsa,  $n$  bileşik olmalıdır. Buradan şu sonucu çıkar ki, eğer bir  $n > 1$  tamsayısi için  $(n-1)!$  sayısı  $n$  veya  $n+2$  ile bölünebilseydi, o zaman  $n$  veya  $n+2$  bileşik olurdu. Böylece, koşul gereklidir.

Şimdi tek bir  $n > 1$  için  $(n-1)!$  sayısının  $n$  veya  $n+2$  ile bölünmediğini varsayıyalım.  $n$  ve

109. Her  $m$  pozitif tam sayısı için basamakları toplamı 10'dan büyük olan bir asal sayı bulunduğu kanıtlayınız.<sup>109</sup>
110. Her  $n$  pozitif tam sayısı için en az  $m$  basamağı 0 olan asal sayılar bulunduğu kanıtlayınız.<sup>110</sup>
111.  $p^4$  sayısının tüm pozitif tam bölenlerinin toplamı tam kare olacak şekilde olan tüm asal sayıları bulunuz.<sup>111</sup>
112.  $2 \leq s \leq 10$  olmak üzere her  $s$  için pozitif tam bölenlerinin toplamı bir tam sayının  $s$ . dereceden kuvvetine eşit olan asal sayıları bulunuz.<sup>112</sup>

$n+2$  sayılarının asal olduğunu göstereceğiz.  $n=3$  ve  $n=5$  için  $n$  ve  $n+2$  sayıları asal olduğundan  $n \geq 7$  olduğunu varsaymak yeterlidir. Eğer  $n$  bileşik olsaydı,  $n=ab$  olurdu; burada  $a$  ve  $b$ ,  $n$ 'den küçük pozitif tamsayılardır, dolayısıyla  $a \leq n-1$  ve  $b \leq n-1$ 'dir. Böylece  $a$  ve  $b$ ,  $(n-1)! = 1 \cdot 2 \cdots \cdot (n-1)$  çarpımında çarpan olarak görünürdü.  $a \neq b$  durumunda, varsayımin aksine  $n = ab | (n-1)!$  olurdu.  $a=b$  durumunda,  $n=a^2$  olurdu ve  $n$  tek ve  $> 1$  olduğundan,  $a \geq 3$  olurdu, bu da  $n=a^2 \geq 3a > 2a$  anlamına gelir, dolayısıyla  $2a \leq n-1$ 'dir. Böylece  $a$  ve  $2a$ ,  $(n-1)! = 1 \cdot 2 \cdots \cdot (n-1)$  çarpımında farklı çarpanlardır, dolayısıyla varsayımin aksine  $n = a^2 | (n-1)!$  olur. Böylece,  $n$  bir asaldır.

Eğer  $n+2$  sayısı bileşik olsaydı,  $n+2 = ab$  olurdu; burada  $a$  ve  $b$ , 1'den büyük tamsayılardır,  $n$  tek olduğundan,  $a$  ve  $b$  sayıları tekdir ve bu nedenle  $\geq 3$ 'tür. Ardından,  $n \geq 7$  olduğundan,  $a \leq \frac{1}{3}(n+2) \leq \frac{1}{2}(n-1)$ 'e sahibiz ve  $2a \leq n-1$ 'e sahibiz. Benzer şekilde  $2b \leq n-1$  olduğunu gösteririz. Eğer  $a$  ve  $b$  farklıysa, o zaman  $1 \cdot 2 \cdots \cdot (n-1) = (n-1)!$  çarpımında farklı çarpanlar olarak görünürler, bu da varsayımin aksine  $n+2 = ab | (n-1)!$  anlamına gelir. Eğer  $a=b$  ise, o zaman  $a$  ve  $2b$   $(n-1)!$  çarpımında farklı çarpanlardır, dolayısıyla  $n+2 | 2ab | (n-1)!$ , yine varsayımin aksinedir.

Bu nedenle teoremin koşulu yeterlidir.

<sup>109</sup> $m$  pozitif bir tam sayı olsun.  $(10^m, 10^m - 1) = 1$  olduğunu biliyoruz ve aritmetik dizi teoremine göre,  $p = 10^m k + 10^m - 1$  asal olacak şekilde bir  $k$  pozitif tam sayısı vardır. Açıkça, bu sayının son  $m-1$  basamağı 9'a eşittir, bu da bu sayının tüm rakamlarının toplamının  $m$  olduğunu gösterir.

**NOT.** A. Mąkowski, teoremin  $g > 1$  olan keyfi bir gösterim tabanı için de geçerli kaldığını fark etmiştir; ispat için, yukarıdaki ispatta 10 sayısını  $g$  ile değiştirmek yeterlidir. Bkz. Sierpiński [31] ve Erdős [8]. Asal sayı artarken, bir asalın rakamları toplamının sonsuza gitmediğini bilmiyoruz.

<sup>110</sup> $m$  pozitif bir tam sayı olsun.  $(10^{m+1}, 1) = 1$  olduğundan, aritmetik dizi teoremine göre,  $p = 10^{m+1} k + 1$  asal olacak şekilde bir  $k$  pozitif tam sayısı vardır.  $p$  sayısının son  $m$  basamağı, açıkça,  $m$  adet sıfır ve birdir. Böylece, ondalık sistemdeki  $p$  asalı en az  $m$  adet sıfıra sahiptir, ki bu da kanıtlanması gereken seydi.

**NOT.** Her  $m$  pozitif tam sayısı için, ondalık sistemde tam olarak  $m$  adet sıfıra sahip bir asal sayının var olup olmadığını bilmiyoruz.  $m=1$  için, bu tür en küçük asal 101'dir;  $m=2$  için ise 1009'dur.

<sup>111</sup>Eğer  $p$  bir asal sayı ise,  $p^4$ 'ün tüm pozitif tamsayı bölenlerinin toplamı  $1 + p + p^2 + p^3 + p^4$ 'e eşittir. Eğer  $n$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $1 + p + p^2 + p^3 + p^4 = n^2$  ise, o zaman açıkça  $(2p^2 + p)^2 < (2n)^2 < (2p^2 + p + 2)^2$ 'ye sahibiz ve buradan  $(2n)^2 = (2p^2 + p + 1)^2$  olması gerektiği sonucu çıkar. Böylece,  $4n^2 = 4p^4 + 4p^3 + 5p^2 + 2p + 1$ 'dir ve  $4n^2 = 4(p^4 + p^3 + p^2 + p + 1)$  olduğundan,  $p^2 - 2p - 3 = 0$  elde ederiz, bu da  $p | 3$  anlamına gelir, dolayısıyla  $p = 3$ 'tür. Gerçekten de,  $p = 3$  için  $1 + 3 + 3^2 + 3^3 + 3^4 = 11^2$  elde ederiz. Dolayısıyla, problemin koşullarını sağlayan sadece bir  $p$  asalı vardır, o da  $p = 3$ 'tür.

<sup>112</sup>Bir  $p$  asal sayısının sadece iki pozitif tamsayı böleni vardır, yani 1 ve  $p$ . Böylece, bir  $p$  asalının tüm pozitif tamsayı bölenlerinin toplamı, bir  $n$  pozitif tamsayısının  $s$ . kuvvetine eşitse, o zaman  $1 + p = n^s$ 'dır, bu da

$$p = n^s - 1 = (n-1)(n^{s-1} + n^{s-2} + \cdots + 1)$$

113.  $(p-1)! + 1 = p^m$  denkleminin,  $p > 5$  bir asal sayı ve  $m$  bir pozitif tam sayı olacak şekilde hiçbir çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>113</sup>
114. Bir  $n < q$  pozitif tam sayısı için  $q_n$ ,  $(n-1)!$  sayısını bölecek şekilde sonsuz sayıda  $q$  asal sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>114</sup>
115. Her  $k \neq 1$  için,  $2^n + k$  sayısı bileşik olacak şekilde sonsuz sayıda  $n$  pozitif tam sayı bulduğunu kanıtlayınız.<sup>115</sup>

anlamına gelir.  $n > 1$ 'e sahibiz ve  $s \geq 2$  için sağdaki çarpımlı ilk çarpanı ikincisinden daha küçüktür. Bu nedenle, bir  $p$  asalının, ilki ikincisinden daha küçük olan iki pozitif tamsayı çarpanının çarpımı şeklinde bir gösterimini elde ederiz. Buradan ilk çarpanın 1'e eşit olması gerektiği sonucu çıkar, dolayısıyla  $n-1=1$ , veya  $n=2$ , ve  $p=2^s-1$ 'dir. Böylece, her  $s \geq 2$  tamsayısi için problemin koşullarını sağlayan en fazla bir asal sayı vardır ve böyle bir asal sayı ancak ve ancak  $2^s-1$  sayısı asalsa vardır.  $s=2$  için 3 sayısını;  $s=3$  için 7 sayısını;  $s=5$  için 31 sayısını; ve  $s=7$  için 127 sayısını elde ederiz.  $s=4, 6, 8$  ve 10 için,  $2^4-1=3 \cdot 5$ ,  $2^6-1=3^2 \cdot 7$ ,  $2^8-1=3 \cdot 5 \cdot 17$  ve  $2^{10}-1=3 \cdot 11 \cdot 31$  sayıları bileşik olduğundan, bu tür asal sayılar yoktur.

<sup>113</sup> $p > 5$  asalları için,

$$2 < \frac{p-1}{2} < p-1$$

'e sahibiz, bu da

$$(p-1)!^2 = 2 \frac{p-1}{2} (p-1)!$$

anlamına gelir. Eğer  $p > 5$  asal ve bir  $m$  pozitif tamsayısi için

$$(p-1)! + 1 = p^m \quad (1)$$

olsaydı, o zaman

$$(p-1)! \equiv p^m - 1$$

olurdu ve her iki tarafı  $p-1$  ile bölersek

$$p-1 \mid p^{m-1} + p^{m-2} + \cdots + p + 1 \quad (2)$$

elde ederdik.

Ancak,  $p-1 \mid p^k - 1$ , dolayısıyla  $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $p^k \equiv 1 \pmod{p-1}$ 'dir, bu da  $p^{m-1} + p^{m-2} + \cdots + p + 1 \equiv m \pmod{p-1}$  anlamına gelir ve (2) göz önüne alındığında,  $p-1 \mid m$  buluruz, dolayısıyla  $m \geq p-1$ 'dir. Bu nedenle,

$$p^m \geq p^{p-1} > (p-1)^{p-1} > (p-1)!$$

elde ederiz, dolayısıyla  $p^m > (p-1)! + 1$  olur, bu da (1) ile gelişir.

<sup>114</sup>Liouville teoremine göre (bkz. Problem 113),  $p > 5$  bir asal sayı ise,  $m$  pozitif tamsayısi için  $(p-1)! + 1 = p^m$  olamaz.  $(p-1)! + 1 > 1$  tek sayısının bu nedenle  $q \neq p$  olan bir  $q$  tek asal böleni vardır ve  $q \mid (p-1)! + 1$ 'den  $q > p-1$  olduğu sonucu çıkar, dolayısıyla ( $q \neq p$  olduğundan)  $q > p$ 'dir.  $p$  keyfi olarak büyük olabildiğinden,  $p < q$  olacak şekilde  $q \mid (p-1)! + 1$  koşulunu sağlayan sonsuz çoklukta  $q$  asalı vardır; bu da kanıtlanması istenen şeydi.

<sup>115</sup>A. Schinzel'in ispatını vereceğiz.  $a$  keyfi bir pozitif tamsayıyı göstersin ve  $k \neq 1$  bir tamsayı olsun. Ayrıca,  $k-1 = 2^s h$  diyelim; burada  $2^s$ ,  $k-1$ 'i bölen 2'nin en yüksek kuvvetidir ve  $h$  pozitif veya negatif bir tek sayıdır.  $2^m > a - k$  olacak şekilde bir  $m$  pozitif tamsayısi seçelim ve  $l \geq s$  ve  $l \geq m$  olacak şekilde bir  $l$  tamsayısi belirtelim. Eğer  $2^{2^l} + k > 2^{2^m} + k > a$  sayısı bileşik olsaydı, istenilen biçimde ve  $> a$  olan bileşik bir sayıya sahip olurduk. O halde  $p = 2^{2^l} + k$  sayısının asal olduğunu varsayıyalım.  $l \geq s$  ve  $k-1 = 2^s h$  olduğundan,  $p-1 = 2^{2^l} + k - 1 = 2^{2^l} + 2^s h = 2^s h_1$  elde ederiz; burada  $h_1$  tektir ve  $> 0$ 'dır. Euler teoremine göre  $2^{\phi(h_1)} \equiv 1 \pmod{h_1}$ 'dir, dolayısıyla  $(p-1 = 2^s h_1$  olduğundan)  $2^{s+\phi(h_1)} \equiv 2^s$

116. Tüm  $2^n + k$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) sayıları bileşik olacak şekilde sonsuz sayıda  $k > 0$  tam sayısının bulunduğu kanıtlayınız.<sup>116</sup>

117. Her  $n = 1, 2, \dots$  sayısı için  $2^{2n+1} + 3, 2^{2n+1} + 7, 2^{2n+2} + 13, 2^{2n+1} + 19$  ve  $2^{2n+2} + 21$  sayılarının her birinin bileşik olduğunu kanıtlayınız.<sup>117</sup>

$(\text{mod } p - 1)$ 'dır.  $l \geq s$  olduğundan,  $2^l + \phi(h_1) \equiv 2^l \pmod{p - 1}$  elde ederiz. Fermat teoreminde

$$2^{2^{l+\phi(h_1)}} + k \equiv 2^{2^l} + k \equiv 0 \pmod{p},$$

elde ederiz ve  $2^l + \phi(h_1) > 2^l$  olduğundan

$$2^{2^{l+\phi(h_1)}} + k > 2^{2^l} + k = p.$$

elde ederiz. Böylece,  $2^{2^{l+\phi(h_1)}} + k$  sayısı bileşiktir ve  $p = 2^{2^l} + k \geq 2^{2^m} + k > a$  olduğundan  $> a$ 'dır, bu da ispatı tamamlar. Bu ispat,  $k = 1$  için başarısız olur çünkü sonsuz çoklukta bileşik Fermat sayısı olup olmadığını bilmiyoruz.

Şunu belirtelim ki, teoremin daha zayıf bir versiyonu, yani her  $k$  tamsayısı için  $2^{2^n} + k$ 'nın bileşik olmasını sağlayan en az bir  $n$  tamsayısının var olduğunu ileri süren versiyon, 1943'te J. Reiner tarafından oldukça karmaşık bir teoremin özel bir durumu olarak elde edilmiştir; bkz [16]. Teoremimizden bu daha zayıf versiyonu elde etmek için ( $k = 1$  için)  $2^{2^5} + 1$  sayısının bileşik olduğunu, yani 641 ile bölünebildiğini belirtmek yeterlidir.

<sup>116</sup>Örneğin,  $s = 1, 2, \dots$  olmak üzere  $k = 6s - 1$  biçimindeki tüm sayılar bu formdadır, çünkü her  $n$  pozitif tamsayı için  $2^{2^n}$  sayısı 3'e bölündüğünde 1 kalanını verir, dolayısıyla  $2^{2^n} + k = 2^{2^n} - 1 + 6s$  sayısı 3 ile bölünebilir ve  $> 3$ 'tür, yani bileşiktir.

<sup>117</sup>

- (a)  $n$  pozitif tamsayısı için  $2^{n+1} - 1$  sayısı 3 ile bölünebilir, dolayısıyla  $2^{n+1} - 2 = 2(2^n - 1)$  sayısı 6 ile bölünebilir ve  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $2^{n+1} = 6k + 2$ 'ye sahibiz. Buradan

$$2^{2^{n+1}} + 3 = (2^6)^k \cdot 2^2 + 3 \equiv 2^2 + 3 \equiv 0 \pmod{7}$$

olduğu

$$2^{2^{n+1}} + 3 = (2^6)^k \cdot 2^3 + 3 \equiv 2^3 + 3 \equiv 0 \pmod{7},$$

ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $7 \mid 2^{2n+1} + 3$ 'tür.  $2^{2^{n+1}} + 3 > 2^{2^2} + 3 > 7$  olduğundan,  $2^{2^{n+1}} + 3$  biçimindeki sayılar  $n = 1, 2, \dots$  için bileşiktir.

- (b)  $n$  pozitif tamsayısı için  $2^{4n} - 1 \equiv 16^n - 1 \equiv 0 \pmod{5}$ 'e sahibiz, bu da  $10 \mid 2^{4n+1} - 2$  anlamına gelir. Bu nedenle  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $2^{4n+1} = 10k + 2$ 'dir ve  $2^{2^{4n+1}} + 7 = (2^{10})^k \cdot 2^2 + 7 \equiv 2^2 + 7 \equiv 0 \pmod{11}$ 'dir. Böylece  $11 \mid 2^{2^{4n+1}} + 7$ 'ye sahibiz ve  $2^{2^{4n+1}} + 7 > 2^{2^5} + 7 > 11$  olduğundan,  $2^{2^{4n+1}} + 7$  biçimindeki sayıların tümü  $n = 1, 2, \dots$  için bileşiktir.

- (c)  $n$  pozitif tamsayısı için  $2^{8n} \equiv (2^4)^{2n} \equiv 1 \pmod{15}$ 'e sahibiz, bu da  $7 \mid 2^{8n} - 1$  ve  $28 \mid 2^{8n+2} - 4$  anlamına gelir. Böylece,  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $2^{8n+2} = 28k + 4$ 'tür. Buradan  $2^{2^{8n+2}} + 13 = (2^{28})^k \cdot 2^4 + 13 \equiv 16 + 13 = 29 \equiv 0 \pmod{29}$  olduğu, yani  $29 \mid 2^{2^{8n+2}} + 13$  olduğu sonucu çıkar ve  $2^{2^{8n+2}} + 13 > 2^{2^{10}} + 13 > 29$  olduğundan,  $2^{2^{8n+2}} + 13$  biçimindeki sayılar  $n = 1, 2, \dots$  için bileşiktir.

- (d)  $n$  pozitif tamsayısı için  $2^{10n} \equiv (2^5)^{2n} \equiv 1 \pmod{11}$ 'e sahibiz, bu da  $22 \mid 2^{10n+1} - 2$  ve  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $2^{10n+1} = 22k + 2$  anlamına gelir. Buradan  $2^{2^{10n+1}} + 19 = (2^{22})^k \cdot 2^2 + 19 \equiv 4 + 19 \equiv 0 \pmod{23}$  olduğu ve  $23 \mid 2^{2^{10n+1}} + 19$  olduğu sonucu çıkar.  $n = 1, 2, \dots$  için  $2^{2^{10n+1}} + 19 > 23$  olduğundan,  $2^{2^{10n+1}} + 19$  sayılarının tümü bileşiktir.

- (e)  $n$  pozitif tamsayısı için  $2^{6n} \equiv (2^3)^{2n} \equiv (-1)^{2n} \equiv 1 \pmod{9}$ 'a sahibiz, dolayısıyla  $9 \mid$

118. Tüm  $k \cdot 2^n + 1$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayıları bileşik olacak şekilde sonsuz sayıda  $k$  pozitif tam sayısı bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>118</sup>
119. Her  $2^n + k$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayısı bileşik olacak şekilde sonsuz sayıda  $k$  tek sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>119</sup>
120.  $k$  sayısı 2'nin bir kuvveti ise, yeterince büyük  $n$  sayıları için tüm  $k \cdot 2^n + 1$

$2^{6n} - 1$ 'dir ve  $36 \mid 2^{6n+2} - 4^t$ tür, bu da  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $2^{6n+2} = 36k + 4$  anlamına gelir. Buradan  $2^{2^{6n+2}} + 21 = (2^{36})^k \cdot 2^4 + 21 \equiv 16 + 21 \equiv 0 \pmod{37}$  olduğu, dolayısıyla  $37 \mid 2^{2^{6n+2}} + 21$  olduğu sonucu çıkar ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $2^{2^{6n+2}} + 21 > 37$  olduğundan,  $2^{2^{6n+2}} + 21$  sayıları  $n = 1, 2, \dots$  için bileşiktir.

**NOT.**  $2^n + k$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayıları arasında sonsuz çoklukta asal sayı bulunduğuunu kanıtlayabileceğimiz bir  $k$  tamsayıyı bilmiyoruz.

<sup>118</sup>Bildiğimiz gibi,  $F_n = 2^{2^n} + 1$  sayıları  $n = 0, 1, 2, 3, 4$  için asalken,  $F_5 = 641p$  sayısı,  $p > 2^{16} + 1 = F_4$  olan bir asaldır. Ayrıca  $(p, 2^{32} - 1) = 1$ 'e sahibiz, çünkü  $p \mid F_5$  olması  $(p, F_5 - 2) = 1$ 'i gerektirir. Çin kalan teoremine göre,

$$k \equiv 1 \pmod{(2^{32} - 1)641} \quad \text{ve} \quad k \equiv -1 \pmod{p}. \quad (1)$$

denkliklerini sağlayan sonsuz çoklukta pozitif  $k$  tamsayıyı vardır.

Eğer  $k$ , (1) denkliklerini sağlayan  $p$ 'den büyük bir tamsayı ise,  $k \cdot 2^n + 1$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayılarının tümünün bileşik olduğunu göstereceğiz.

$n$  sayısı,  $m$  ve  $t$  tamsayıları  $\geq 0$  olmak üzere,  $n = 2^m(2t + 1)$  biçiminde temsil edilebilir. Önce  $m$ 'nin 0, 1, 2, 3 veya 4 sayılarından biri olduğunu varsayıyalım. (1) göz önüne alındığında,

$$k \cdot 2^n + 1 \equiv 2^{2^m(2t+1)} + 1 \pmod{2^{32} - 1}, \quad (2)$$

olur ve  $m = 0, 1, 2, 3, 4$  için  $F_m \mid 2^{32} - 1$  ve  $F_m \mid 2^{2^m(2t+1)} + 1$  olduğundan, (2)'ye göre  $F_m \mid k \cdot 2^n + 1$  olduğunu elde ederiz.  $k \cdot 2^n + 1 > p > F_4$  olduğundan ( $k > p$  olduğu için),  $k \cdot 2^n + 1$  sayısı bileşiktir.

Eğer  $m = 5$  ise, (1)'den  $k \cdot 2^n + 1 \equiv 2^{2^5(2t+1)} + 1 \pmod{641}$  elde ederiz ve  $641 \mid F_5 \mid 2^{2^5(2t+1)} + 1$  olduğundan,  $641 \mid k \cdot 2^n + 1$  elde ederiz ve  $k \cdot 2^n + 1 > p > 641$  sayısı bileşiktir.  $m \geq 6$  durumunu ele almak kahiyor. Bu durumda  $2^6 \mid n$ 'dır, dolayısıyla  $h$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $n = 2^6h$ 'dır ve (1) göz önüne alındığında  $k \cdot 2^n + 1 \equiv -2^{2^6h} + 1 \pmod{p}$ ;  $p \mid 2^{32} + 1 \mid 2^{2^6} - 1 \mid 2^{2^6h} - 1$  olduğundan,  $p \mid k \cdot 2^n + 1$  elde ederiz.  $k \cdot 2^n + 1 > k > p$  gerçeği göz önüne alındığında,  $k \cdot 2^n + 1$  sayısı bileşiktir.

Böylece,  $k \cdot 2^n + 1$  sayıları  $n = 1, 2, 3, \dots$  için bileşiktir, ki bu da kanıtlanması istenen şeydi. (Bzk. [30].)

**NOT.** Tüm  $k \cdot 2^n + 1$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayılarının bileşik olduğu en küçük  $k$  sayısını bilmiyoruz.

<sup>119</sup>Öncelikle Problem 118'deki teoremin ispatında (1) denkliklerine  $k \equiv 1 \pmod{2}$  denkliğini ekleyebileceğimizi ve bunun aşağıdaki T teoremine yol açacağını belirtelim:  $k > p$  olan sonsuz çoklukta  $k$  tek sayısı vardır, öyle ki  $k \cdot 2^l + 1$  ( $l = 1, 2, \dots$ ) sayılarının her biri altı asal sayıdan en az biri ile bölünebilir

$$F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, \text{ ve } p \quad (3)$$

( $p > F_4$  olmak üzere). (3)'teki altı sayının çarpımını  $Q$  ile gösterelim. Bu sayılar tek olduğundan,  $2^{\phi(Q)} \equiv 1 \pmod{Q}$  ve sonuç olarak,  $q$ , (3)'teki sayılarından herhangi birini göstermek üzere  $2^{\phi(Q)} \equiv 1 \pmod{q}$  olur.  $n$  keyfi bir pozitif tamsayı olsun. T teoremine göre ( $l = n(\phi(Q) - 1)$  için),  $k \cdot 2^{n(\phi(Q)-1)} + 1$  sayısı (3)'teki sayılarından en az biriyle, diyeлим ki  $q$  ile, bölünebilir. Dolayısıyla  $k \cdot 2^{n(\phi(Q)-1)} + 1 \equiv 0 \pmod{q}$  olur; buradan  $2^n$  ile çarparak  $k \cdot 2^{n\phi(Q)} + 2^n \equiv 0 \pmod{q}$  elde ederiz ve  $2^{\phi(Q)} \equiv 1 \pmod{q}$  ve sonuç olarak  $2^{n\phi(Q)} \equiv 1 \pmod{q}$  olduğundan,  $k + 2^n \equiv 0 \pmod{q}$  elde ederiz;  $k > p$  olduğundan,  $k > q$  ve  $k + 2^n > q$  olur; böylece  $k + 2^n$  sayısı bileşiktir ve  $2^n + k$ ,  $n = 1, 2, \dots$  sayılarının tümünün bileşik olduğu sonsuz çoklukta  $k$  tek sayısının var olduğunu gösterdik.

sayılarının bileşik olduğunu kanıtlayınız.<sup>120</sup>

121. Her  $k \leq 10$  pozitif tam sayısı için  $2^n + k$  sayısının bileşik olmasını sağlayan en küçük  $n$  pozitif tam sayısını bulunuz.<sup>121</sup>

122. Her  $k \cdot 2^n + 1$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayısının bileşik olmasını sağlayan tüm  $k \leq 10$  pozitif tam sayılarını bulunuz.<sup>122</sup>

123. Her  $n > 1$  tam sayısı için  $\frac{2^{2n+1} + 2^n + 1}{3}$  sayısının bileşik olduğunu kanıtlayınız.<sup>123</sup>

124.  $(2^n + 1)^2 + 2^n$  şeklinde olan sonsuz sayıda bileşik sayı bulduğunu kanıtlayınız.<sup>124</sup>

<sup>120</sup> $m$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $k = 2^m$  olsun ve  $s \geq 0$  bir tamsayı ve  $h$  tek olmak üzere  $m = 2^s h$  olsun.  $k \cdot 2^{s+1} + 1 = 2^{s+1}(2^{h \cdot 2^s} + 1)$ 'e sahibiz, ve  $n > s$  için  $2^n + k$  sayısı tek bir pozitif tamsayıdır. Böylece  $2^{s+1} + 1 \mid k \cdot 2^n + 1$  elde ederiz ve  $n > s$  olduğundan,  $k \cdot 2^n + 1 > 2^{s+1} + 1$ 'e sahibiz ve  $k \cdot 2^n + 1$  sayıları  $n > s$  için bileşiktir (çünkü  $2^{s+1} + 1$  ile bölünebilirler). Özellikle, eğer  $k$ ,  $2$ 'nin tek bir üssü sahip bir kuvveti ise, o zaman  $n = 1, 2, \dots$  için tüm  $k \cdot 2^n + 1$  sayıları 3 ile bölünebilir.

<sup>121</sup> $k = 1$  için,  $n = 5$ 'tir, çünkü  $n = 1, 2, 3, 4$  için  $2^{2^n} + 1$  sayıları asal iken,  $641 \mid 2^{2^5} + 1$  ve  $2^{2^5} + 1$  bileşiktir.  $k = 2$  için,  $n = 1$ 'dir, çünkü  $3 \mid 2 \cdot 2^1 + 1$ .  $k = 3$  için,  $n = 2$ 'dir, çünkü  $3 \cdot 2^2 + 1$  sayısı asal iken,  $7 \mid 3 \cdot 2^3 + 1 = 49$ .  $k = 4$  için,  $n = 2$ 'dir, çünkü  $4 \cdot 2^2 + 1 = 17$  bir asal iken,  $5 \mid 4 \cdot 2^3 + 1$ .  $k = 5$  için,  $n = 1$ 'dir, çünkü  $3 \mid 5 \cdot 2^1 + 1$ .  $k = 6$  için,  $n = 1$ 'dir, çünkü  $5 \mid 6 \cdot 2^1 + 1$ .  $k = 7$  için,  $n = 3$ 'tür, çünkü  $7 \cdot 2^1 + 1 = 29$  ve  $7 \cdot 2^2 + 1 = 113$  asal iken,  $11 \mid 7 \cdot 2^3 + 1$ .  $k = 8$  için,  $n = 1$ 'dir, çünkü  $3 \mid 8 \cdot 2^1 + 1$ .  $k = 9$  için,  $n = 2$ 'dir, çünkü  $9 \cdot 2^1 + 1 = 37$  asal iken,  $5 \mid 9 \cdot 2^2 + 1$ .  $k = 10$  için,  $n = 2$ 'dir, çünkü  $10 \cdot 2^1 + 1 = 41$  asal iken,  $7 \mid 10 \cdot 2^2 + 1$ .

<sup>122</sup>Problem 121'in çözümünden,  $k = 1, 3, 4, 7, 9$  ve 10 sayılarının gereksinimleri sağlanmadığı sonucu çıkar. 6 sayısı da  $6 \cdot 2^1 + 1 = 97$  bir asal olduğundan gereksinimi sağlamaz. Öte yandan,  $2 \cdot 2^{2^n} + 1$ ,  $5 \cdot 2^{2^n} + 1$  ve  $8 \cdot 2^{2^n} + 1$  sayıları,  $n = 1, 2, \dots$  için 3 ile bölünebildikleri ve 3'ü aştıkları için tümü bileşiktir.

**NOT.** Eğer  $t = 0, 1, 2, \dots$  olmak üzere  $k = 3t + 2$  ise, o zaman  $k \cdot 2^{2^n} + 1$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) sayılarının tümü 3 ile bölünebilir ve bileşiktir.

<sup>123</sup> $\frac{1}{3}(2^{2n+1} + 2^{2^n} + 1)$  sayıları  $n = 1, 2, \dots$  için pozitif tamsayılardır. Eğer  $n$  çift ise,  $2^n \equiv 1 \pmod{3}$ 'tür, dolayısıyla  $k$  pozitif bir tamsayı olmak üzere  $2^n = 3k + 1$ 'dir ve  $2^{2^n} = (2^3)^k \cdot 2 \equiv 8^k \cdot 2 \equiv 2 \pmod{7}$ 'dir, bu da  $2^{2n+1} = (2^{2^n})^2 \equiv 4 \pmod{7}$  anlamına gelir. Buradan  $2^{2n+1} + 2^{2^n} + 1 \equiv 4 + 2 + 1 \equiv 0 \pmod{7}$  olduğu sonucu çıkar. Eğer  $n$  tek ise,  $2^n \equiv 2 \pmod{3}$ 'tür, dolayısıyla  $k \geq 0$  bir tamsayı olmak üzere  $2^n = 3k + 2$ 'dir. Buradan  $2^{2^n} = 2^{3k+2} = 8^k \cdot 4 \equiv 4 \pmod{7}$  olduğu,  $2^{2n+1} = (2^{2^n})^2 \equiv 4^2 \equiv 2 \pmod{7}$  olduğu sonucu çıkar. Böylece,  $2^{2n+1} + 2^{2^n} + 1 \equiv 2 + 4 + 1 \equiv 0 \pmod{7}$ . Sonuç olarak,  $\frac{1}{3}(2^{2n+1} + 2^{2^n} + 1)$  sayıları  $n$  pozitif tamsayısı için 7 ile bölünebilir ve  $n > 1$  için  $\geq \frac{1}{3}(2^{2^3} + 2^{2^2} + 1) = 91 > 7$  olduklarından,  $n = 2, 3, \dots$  için bileşiktirler.

XVII. yüzyıldan Michael Stifel'in teoremi ile karşılaştırın; bkz. *Elemente der Mathematik*, 18 (1963), s. 18.

<sup>124</sup>Örneğin,  $n$ 'nin  $28k + 1$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) biçiminde olduğu dizimizin tüm sayıları istenen özelligine sahiptir. Gerçekten de, Fermat teoremine göre  $2^{28} \equiv 1 \pmod{29}$ 'a sahibiz, bu da  $k = 1, 2, \dots$  için  $2^{2 \cdot 28k} \equiv 1 \pmod{29}$  anlamına gelir. Böylece,  $n = 28k + 1$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) için  $(2^{2^n} + 1)^2 + 2^2 \equiv 25 + 4 \equiv 0 \pmod{29}$ 'a sahibiz, bu da  $29 \mid (2^{2^n} + 1)^2 + 2^2$  anlamına gelir.  $k = 1, 2, \dots$  için, açıkça  $n = 28k + 1 \geq 29$ 'a sahibiz, bu da  $(2^{2^n} + 1)^2 + 2^2 > 29$  anlamına gelir. Böylece,  $n = 28k + 1$ ,  $k = 1, 2, \dots$  için  $(2^{2^n} + 1)^2 + 2^2$  biçimindeki tüm sayılar bileşiktir.

125.  $1 < a \leq 100$  olmak üzere her  $a$  tam sayısı için  $a^{2^n} + 1$  sayısının bileşik olacak şekilde en az bir  $n \leq 6$  pozitif tam sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>125</sup>

126. Üç tane asal sayının toplamı şeklinde gösterilebilen fakat üçten az sayıda asal sayının toplamı şeklinde gösterilememeyen sonsuz sayıda tek sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>126</sup>

<sup>125</sup>Eğer  $a$  tek ve  $> 1$  ise,  $a^{2^n} + 1$  sayıları (çift ve  $> 1$  olduklarından) ( $n = 1, 2, \dots$  için) bileşiktir; bu nedenle  $a$ 'nın çift olduğunu varsayılabiliriz.  $641 | 2^{2^5} + 1$ 'e sahibiz, dolayısıyla  $641 | 4^{2^4} + 1$  ve  $641 | 16^{2^3} + 1$  de geçerlidir. Ardından,  $17 | 2^{2^3} + 1$ ,  $17 | 4^{2^2} + 1$ ,  $17 | 6^{2^3} + 1$ ,  $17 | 8^{2^2} + 1$ ,  $17 | 10^{2^3} + 1$ ,  $17 | 12^{2^3} + 1$ ,  $17 | 14^{2^2} + 1$ ,  $17 | 20^{2^3} + 1$ , ...,  $17 | 22^{2^3} + 1$ ,  $17 | 24^{2^3} + 1$ ,  $17 | 26^{2^2} + 1$ ,  $17 | 28^{2^3} + 1$ ,  $17 | 30^{2^3} + 1$ ,  $17 | 32^{2^2} + 1$  olduğunu kolayca kontrol ederiz. Örneğin,  $17 | 28^{2^3} + 1$  olduğunu kontrol etmek için  $28 \equiv 11 \pmod{17}$  denkliğinden başlaz; bu,  $28^2 \equiv 121 \equiv 2 \pmod{17}$  anlamına gelir, bu da  $28^8 \equiv 2^{2^3} \equiv -1 \pmod{17}$  sonucunu verir ve sonuç olarak  $17 | 28^{2^3} + 1$ 'dir.

Bu formüller göz önüne alındığında,  $k = 0, 1, 2, \dots$  için hemen şunu elde ederiz

$$\begin{aligned} 17 | (34k+2)^{2^3} + 1, \quad 17 | (34k+4)^{2^2} + 1, \quad 17 | (34k+6)^{2^3} + 1, \\ 17 | (34k+8)^{2^2} + 1, \quad 17 | (34k+10)^{2^3} + 1, \quad 17 | (34k+12)^{2^3} + 1, \\ 17 | (34k+14)^{2^2} + 1, \quad 17 | (34k+20)^{2^3} + 1, \quad 17 | (34k+22)^{2^3} + 1, \\ 17 | (34k+24)^{2^3} + 1, \quad 17 | (34k+26)^{2^2} + 1, \quad 17 | (34k+28)^{2^3} + 1, \\ 17 | (34k+30)^{2^3} + 1, \quad 17 | (34k+32)^{2^2} + 1. \end{aligned}$$

$5 | 18^2 + 1$  ve  $13 | 34^2 + 1$  gerçeğini kullanarak, 50, 52, 68, 84 ve 86 sayıları dışında,  $a \leq 100$  olan her pozitif tamsayı için  $a^{2^n} + 1$ 'in bileşik olacağı şekilde  $n \leq 5$  olan bir pozitif tamsayıının var olduğunu sonucunu çıkarırız. Öte yandan,  $50^2 + 1 = 2501 = 41 \cdot 61$ ,  $5 | 52^2 + 1$ ,  $5 | 68^2 + 1$ ,  $257 | 84^2 + 1$  ve  $13 | 86^2 + 1$ 'dir. Böylece,  $a \leq 100$  olan her pozitif tamsayı için  $a^{2^n} + 1$ 'in bileşik olacağı şekilde  $n \leq 6$  olan bir pozitif tamsayı vardır.

**NOT.** A. Schinzel,  $1 < a < 2^{2^k}$  olacak şekilde her  $a$  pozitif tamsayı için  $a^{2^n} + 1$ 'in bileşik olacağı şekilde bir  $n$  pozitif tamsayıının var olduğunu kanıtlamıştır; bkz [20].

$a > 1$  olan her tamsayı için  $a^{2^n} + 1$ 'in bileşik olacağı şekilde bir  $n$  pozitif tamsayıının var olup olmadığını bilmiyoruz; örneğin,  $a = 2^{2^{33}}$  sayısı için bunu kanıtlayamıyoruz. Öte yandan,  $n = 2^{2^{33}}$  için  $a^{2^n} + 1$  sayısının bileşik olduğunu kanıtlayabiliriz ve hatta en küçük asal bölenini, yani  $3 \cdot 2^{2^{33}+1} + 1$ 'i biliyoruz; bkz. Sierpiński [37, s. 349, Bölüm 6].

<sup>126</sup>5'ten büyük her asal sayı açıkça  $k \geq 0$  bir tam sayı olmak üzere  $30k + r$  formundadır ve  $r, 1, 7, 11, 13, 17, 19, 23$  veya 29 sayılarından biridir. Sonsuz sayıda asal olduğundan, bu sekiz  $r$  değerinden en az biri için  $k$  pozitif tam sayı olmak üzere  $30k + r$  formunda sonsuz sayıda asal vardır. Bu nedenle, aşağıdaki sekiz durumu dikkate almak yeterlidir:

(1)  $30k + 1$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p$  bunlardan biri olsun ve  $n = 7 + 19 + p$  olsun; bu,  $n = 7 + 19 + 30k + 1 = 3(10k + 9)$  olduğundan tek bir bileşik sayı olacaktır. Böylece,  $n$  sayısı üç farklı asalın toplamıdır ( $p = 30k + 1$ , 7 ve 19'dan farklı olduğu için) ve  $n$  iki asalın toplamı değildir, çünkü o zaman bunlardan biri çift, yani 2'ye eşit olmak zorunda kalırı ve  $n = 30k + 27 = q + 2$ , yani  $q = 5(6k + 5)$  olurdu ki bu imkansızdır.

(2)  $30k + 7$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p > 7$  bu asallardan biri olsun ve  $n = 7 + 13 + p$  olsun;  $n = 30k + 27 = 3(10k + 9)$  olduğundan  $n$  tek ve bileşiktir ve  $p \geq 37$  olduğundan,  $n$  üç farklı asalın toplamına eşit olacaktır.  $n - 2 = 30k + 25 = 5(6k + 5)$  olduğundan,  $n$ 'nin gerekli koşulları sağladığını görürüz.

(3)  $30k + 11$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p > 11$  bunlardan biri olsun ve  $n = 11 + 13 + p$  olsun; böylece  $n$  tek ve üç farklı asalın toplamına eşit olacaktır.  $n = 30k + 35 = 5(6k + 7)$  ve  $n - 2 = 3(30k + 11)$  olduğundan,  $n$  sayısı gerekli koşulları sağlar.

(4)  $30k + 13$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p$  bunlardan biri olsun ve  $n = 3 + 11 + p$  olsun; böylece  $n$  tek ve üç farklı asalın toplamına eşit olacaktır.  $n = 3(10k + 9)$  ve  $n - 2 = 5(6k + 5)$

127.  $f(1) = 2, f(2) = 3, f(3) = 5$  eşitliklerini sağlayan ve katsayıları tam sayılar olan hiçbir  $f(x)$  polinomunun bulunmadığını ve her  $m > 1$  tam sayısı için,  $p_n = n$  asal sayılar dizisi türese ( $f(k) = p_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ )) olacak şekilde katsayıları rasyonel sayılar olan bir  $f(x)$  polinomunun bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>127</sup>
128. Her  $n$  pozitif tam sayısı için  $f(1) < f(2) < \dots < f(n)$  sayıları asal olacak şekilde katsayıları tam sayılar olan bir  $f(x)$  polinomu bulduğunu kanıtlayınız.<sup>128</sup>
129.  $x$  değişkeninin  $m$  farklı değerinde  $m$  farklı asal sayı veren ve katsayıları tam sayılar olan bir indirgenmez  $f(x)$  polinomu bulunuz.<sup>129</sup>
130.  $f(x)$ , derecesi 0'dan büyük olan tam sayı katsayılı bir polinomsal, sonsuz sayıda  $p$  asal sayısı için  $f(x) \equiv 0 \pmod{p}$  denkleminin çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>130</sup>

olduğundan,  $n$  sayısı gerekli koşulları sağlar.

(5)  $p = 30k + 17$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p$  bunlardan biri olsun ve  $n = 3 + 7 + p$  alalım.  $n = 3(10k + 9)$  ve  $n - 2 = 5(6k + 5)$  olduğundan,  $n$  sayısı gerekli koşulları sağlar.

(6)  $30k + 19$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p$  bunlardan biri olsun ve  $n = 3 + 5 + p$  olsun. Daha önce olduğu gibi,  $n$ 'nin gerekli koşulları sağladığımı çıkarırız.

(7)  $30k + 23$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p$  bunlardan biri olsun ve  $n = 5 + 7 + p$  olsun.  $n = 5(6k + 7)$  ve  $n - 2 = 3(10k + 11)$  olduğundan,  $n$  sayısı gerekli koşulları sağlar.

(8)  $30k + 29$  formunda sonsuz sayıda asal vardır.  $p$  bunlardan biri olsun ve  $n = 5 + 31 + p$  olsun.  $n = 5(6k + 13)$  ve  $n - 2 = 3(10k + 21)$  olduğundan,  $n$  sayısı gerekli koşulları sağlar. Kanıt tamamlanmıştır. Bkz [28].

<sup>127</sup>Eğer  $f(x), f(1) = 2, f(2) = 3, f(3) = 5$  olacak şekilde tam sayı katsayılı bir polinom olsaydı, o zaman  $g(x) = f(x) - 2$   $g(1) = 0$  olacak şekilde tam sayı katsayılı bir polinom olurdu ve  $g(x) = (x - 1)h(x)$  olurdu, burada  $h(x)$  tam sayı katsayılı bir polinomdur.  $f(3) = 5$  olduğundan  $g(3) = f(3) - 2 = 3$  olur, bu da  $2h(3) = 3$  verir; ancak,  $h(3)$  bir tam sayı olduğu için bu imkansızdır. Şimdi  $m$ , 1'den büyük bir tam sayı olsun ve  $k = 1, 2, \dots, m$  için  $g_k(x) = \frac{(x-1)(x-2)\dots(x-m)}{x-k}$  olsun. Açıka,  $g_k(x)$   $m - 1$  dereceli tam sayı katsayılı bir polinomdur ve  $k$ 'den farklı her  $x \leq m$  pozitif tam sayısı için  $g_k(x) = 0$  iken,  $g_k(k) \neq 0$  olan bir tam sayı olacaktır.  $f_k(x) = g_k(x)/g_k(k)$  olsun; açıka  $f_k(x)$ ,  $k$ 'den farklı her  $x \leq m$  pozitif tam sayısı için  $f_k(x) = 0$  iken  $f_k(k) = 1$  olacak şekilde  $m - 1$  mertebeden rasyonel katsayılı bir polinom olacaktır.  $f(x) = p_1f_1(x) + p_2f_2(x) + \dots + p_mf_m(x)$  koymalı; açıka bu polinom gerekli koşulları sağlayacaktır:  $f(x)$  rasyonel katsayırlara sahiptir ve  $k = 1, 2, \dots, m$  için  $f(k) = p_k$  olur.

<sup>128</sup>J. Browkin'in kanıtı.  $n$  verilmiş bir pozitif tam sayı olsun.  $k \leq n$  pozitif tam sayısı için,  $t_k$  pozitif tam sayılarını tümevarımla söyle tanımlayalım:  $t_0 = 1$  olsun. Bir  $k \leq n$  pozitif tam sayısı için  $t_{k-1}$  sayısını zaten tanımladığımızı varsayalım. Lejeune-Dirichlet teoreminin özel durumuna göre,  $q_k = (k-1)!(n-k)!t_k + 1$  sayısının asal olacağı ve  $k > 1$  durumunda  $(k-2)!(n-k+1)!t_{k-1} + 1$  sayısından büyük olacağı şekilde bir  $t_k$  pozitif tam sayısı vardır ( $0! = 1$  koymaz). Böylece,  $q_1, q_2, \dots, q_n$  sayıları asal olacaktır ve  $q_1 < q_2 < \dots < q_n$  olur.  $f(x) = 1 + \sum_{j=1}^n (-1)^{n-j} \frac{(x-1)(x-2)\dots(x-n)}{x-j} t_j$  olsun. Açıka,  $f(x)$  tam sayı katsayılı  $\leq n - 1$  mertebeden bir polinom olacaktır ve  $f(k) = 1 + (k-1)!(n-k)!t_k = q_k$  olduğunu kolayca kontrol ederiz.

<sup>129</sup>Örnek olarak,  $p_k$ 'nin  $k$ 'inci asalı gösterdiği  $f(x) = [(x - p_1)(x - p_2)\dots(x - p_m) + 1]x$  polinomunu alabiliriz. Burada  $k = 1, 2, \dots, m$  için  $f(p_k) = p_k$  olacaktır.

<sup>130</sup>Eğer tam sayı katsayılı  $f(x)$  polinomunun sabit terimi 0'a eşit olsaydı, o zaman  $f(0) = 0$  olurdu ve  $f(x) \equiv 0 \pmod{p}$  denkliği her  $p$  modülü için çözülebilir olurdu. Bu nedenle,  $f(x)$  polinomunun sabit teriminin  $a_0$ 'a eşit olduğunu ve sıfır olmadığını varsayalım.  $f(a_0)x$  =

131.  $k+1, k+2, \dots, k+10$  dizisi maksimum sayıda asal sayı içerecek şekilde tüm  $k \geq 0$  tam sayılarını bulunuz. <sup>131</sup>

132.  $k+1, k+2, \dots, k+100$  dizisi maksimum sayıda asal sayı içerecek şekilde tüm  $k \geq 0$  tam sayılarını bulunuz. <sup>132</sup>

133. 25 tane asal sayı içeren tüm 100 ardışık sayıdan oluşan dizileri bulunuz. <sup>133</sup>

$a_0 f_1(x)$  olduğundan, burada  $f_1(x)$  sabit terimi 1'e eşit olan tam sayı katsayılı bir polinomdur, teorememizi sadece bu tür polinomlar için kanıtlamak yeterlidir.  $n$  verilmiş bir pozitif tam sayı olsun. Açıkça  $n! | f_1(n!) - 1$  olur, dolayısıyla  $f(n!) = n!k + 1$ , burada  $k$  bir tam sayıdır. ( $> 0$  mertebesinden olan)  $f_1(x)$  polinomunun mutlak değeri  $x$  ile birlikte tüm sınırların üzerine çıkar; bu nedenle yeterince büyük  $n$  için  $|f(n!)| = n!k + 1 > 1$  olacaktır ve  $n!k + 1$  sayısının bir  $p$  asal böleni vardır.  $p | n!k + 1$  olduğundan  $p > n$  olmalıdır ve  $p | f_1(n!)$  olduğundan,  $f_1(x) \equiv 0 \pmod{p}$  denkliği  $p > n$  olan bir asal modül için çözülebilirdir.  $n$  keyfi olduğundan,  $f_1(x) \equiv 0 \pmod{p}$  denkliğinin ve dolayısıyla  $f(x) \equiv 0 \pmod{p}$  denkliğinin sonsuz sayıda  $p$  asal için çözülebilir olduğunu çıkarız.

<sup>131</sup>Böyle sadece bir sayı vardır, yani  $k = 1$ . O zaman  $k+1, k+2, \dots, k+10$  (1) dizisi beş asal içerir: 2, 3, 5, 7 ve 11.  $k = 0$  ve  $k = 2$  için, (1) dizisi dört asal içerir. Eğer  $k \geq 3$  ise, (1) dizisi 3 sayısını içermez; bildiğimiz gibi, her üç ardışık tek sayıdan biri 3 ile bölünebilir olmalıdır. Buradan (1) dizisinin en az bir tek bileşik sayı içerdiği sonucu çıkar. Bunun dışında, (1) dizisi beş çift sayı içerir, dolayısıyla ( $k \geq 2$  için) bu sayılar bileşiktir. Böylece,  $k \geq 3$  için, (1) dizisi en az 6 bileşik sayı içerir ve asal sayıların sayısı 4'ü geçemez. NOT. (1) dizisi  $k = 0, 2, 10, 100, 190, 820$  için dört asal içerir. Bu tür sonsuz sayıda  $k$  sayısı olup olmadığını bilmiyoruz. A. Schinzel'in asallarla ilgili bir varsayımdan ([22]) cevabın olumlu olduğu sonucu çıkar.

<sup>132</sup>Böyle sadece bir sayı vardır, yani  $k = 1$ . Bu değer için  $k+1, k+2, \dots, k+100$  (1) dizisi 26 asal içerir.  $k = 0, 2, 3$  veya 4 için, (1) dizisi 25 asal içerir. Bu nedenle,  $k \geq 5$  olduğunu varsayıyalırız. (1) dizisi 50 çift sayı içerir, ki  $k > 1$  için bunların hepsi bileşiktir. Ardından, 50 ardışık tek sayı da içerir ve her üç ardışık tek sayı 3 ile bölünebilen bir sayı içerdiğinden, (1) dizisi 3 ile bölünebilen en az 16 sayı içerir, ki  $k > 2$  için bunların hepsi bileşiktir. Şimdi (1) dizisinin 5 ile bölünebilen ve 3 veya 2 ile bölünmeyen terimlerinin sayısını hesaplayalım. Tüm bu sayılar  $30t+r$  formunda olacaktır, burada  $t$  bir tam sayı  $\geq 0$  ve  $r$ , 5 veya 25 sayılarından biridir. Bu sayıları sonsuz artan dizide düzenleyelim 5, 25, 35, 55, 65, 85, 95, 115, 125, 145, 155, 175, 185, ... (2) ve  $u_n$  bu dizinin  $n$ 'inci terimini göstersin.  $n = 1, 2, \dots$  için  $u_{n+6} - u_n < 100$  olduğunu kolayca kontrol ederiz.  $u_n$  bu dizinin  $k$ 'yi aşmayan son terimini göstersin.  $u_n \leq k < u_{n+1} < u_{n+6} < u_n + 100 \leq k + 100$  olacaktır, bu da (1) dizisinin (2) dizisinden en az 6 terim içerdiğini gösterir ve sonuç olarak,  $k \geq 5$  için 5 ile bölünebilen ancak 2 veya 3 ile bölünmeyen, dolayısıyla bileşik olan en az 6 terim içerir. Son olarak, (1) dizisinin 7 ile bölünebilen, ancak 2, 3 veya 5 ile bölünmeyen terimlerinin sayısını hesaplayalım. Bunlar  $210t+r$  formundaki terimler olacaktır, burada  $t$  bir tam sayı  $\geq 0$  ve  $r$ , 7, 49, 77, 91, 119, 133, 161, 203 sayılarından biridir. Bu sayıları sonsuz artan dizide düzenleyelim 7, 49, 77, 91, 119, 133, 161, 203, 217, 259, 287, ... (3) ve  $v_n$  bu dizinin  $n$ 'inci terimini göstersin.  $n = 1, 2, \dots$  için  $v_{n+3} - v_n < 100$  olduğunu kolayca kontrol ederiz.  $v_n, v_1, v_2, \dots$  dizisinin  $k$ 'yi aşmayan son terimini göstersin.  $v_n \leq k < v_{n+1} < v_{n+3} < v_n + 100 \leq k + 100$  olacaktır, bu da (1) dizisinin (3) dizisinden en az 3 terim içerdiğini, yani 7 ile bölünebilen ancak 2, 3 veya 5 ile bölünmeyen en az üç sayı içerdiğini gösterir.  $k \geq 7$  için, tüm bu sayılar bileşik olacaktır. Buradan  $k \geq 7$  için, (1) dizisinin en az  $50 + 16 + 6 + 3 = 75$  bileşik sayı içerdiği, dolayısıyla en fazla 25 asal içerdiği sonucu çıkar.  $k = 5$  ve  $k = 6$  için, (1) dizisi  $v_2, v_3$  ve  $v_4$  bileşik sayılarını içerir. (Dizgi hatası:  $v_2, d_3$  ve  $v_4$  yerine  $v_2, v_3$  ve  $v_4$  olmalı). Böylece,  $k > 1$  için, (1) dizisi en fazla 25 asal içerir.

<sup>133</sup>Sadece 6 tane böyle dizi vardır, bunlar 1, 3, 4, 5, 10 ve 11 ile başlayanlardır. Kanıt aşağıdaki lemmadan gelir:  $k > 11$  için,  $k, k+1, \dots, k+99$  sayıları arasında 2, 3, 5, 7 veya 11'den birine bölünebilen en az 76 sayı vardır. Lemmanın kanımı, 2, 3, 5, 7 veya 11 ile bölünebilen tüm sayıları artan bir sonsuz dizi şeklinde yazarak elde edilebilir. Bu dizi, eğer bir  $r$  sayısı dizide yer alıysa,  $r + 2310$  sayısının da yer alması özelliğine sahiptir ve tersi de geçerlidir (çünkü

134. 8 tane asal sayı içeren tüm 21 ardışık sayıdan oluşan dizileri bulunuz.<sup>134</sup>
135.  $p, p+2, p+6, p+8, p+12, p+14$  sayılarının her biri asal olacak şekilde tüm  $p$  asal sayılarını bulunuz.<sup>135</sup>
136. Aşağıdaki koşulları sağlayan sonsuz sayıda bir birinden farklı  $m$  ve  $n$  pozitif tam sayı ikilisinin bulunduğuunu kanıtlayınız:<sup>136</sup>
- $m$  ve  $n$  sayılarının asal bölenleri aynıdır;
  - $m+1$  ve  $n+1$  sayılarının asal bölenleri aynıdır.

---

$2310 = 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11$ ). Böylece, eğer  $r_1, r_2, \dots, r_s$  sayıları 2, 3, 5, 7 veya 11 ile bölünebilen  $\leq 2310$  olan tüm pozitif tam sayıları gösteriyorsa, o zaman bu tür tüm sayılar s aritmetik dizisinde yer alır:  $2310t + r_i$ , burada  $i = 1, \dots, s$  ve  $t = 0, 1, 2, \dots$ . Bu nedenle, 2, 3, 5, 7 veya 11 ile bölünebilen  $\leq 2310 + 100$  olan tüm pozitif tam sayıları yazmak ve  $1 \leq k \leq 2310$  için  $k, k+1, \dots, k+99$  sayılarının her yüzü içinde bu diziden en az 76 sayı olduğunu kontrol etmek yeterlidir. (1) dizisinin 24 asal içerdiği bu tür  $k$  pozitif tam sayılarından sadece sonlu sayıda olduğunu kanıtlamak daha zor olurdu. Öte yandan, A. Schinzel'e ait asallarla ilgili belirli bir varsayıym ([22]), (1) dizisinin 23 asal içerdiği sonsuz sayıda  $k$  sayısı olduğunu ima eder.

<sup>134</sup>LEMMA. Her 21 ardışık pozitif tam sayıdan en az 14 tanesi 2, 3 veya 5 sayılarından biri ile bölünebilir. KANIT. Her ardışık 21 pozitif tam sayıda, 2 ile bölünebilen en az 10 tane ve en az 10 ardışık tek sayı vardır ki bunlardan da en az 3 tanesi 3 ile bölünebilir. Bu nedenle, her 21 ardışık pozitif tam sayı dizisinde 5 ile bölünebilen ancak 2 veya 3 ile bölünmeyen en az bir sayı olduğunu göstermek yeterlidir.  $x$ 'in 30'a bölünmesinden kalanı  $r$  göstersin; o zaman  $x = 30t + r$  olur, burada  $t$  bir tam sayı  $\geq 0$  ve  $0 \leq r < 30$ . Eğer  $r \leq 5$  ise, o zaman  $x \leq 30t + 5 \leq x + 20$  ve  $30t + 5$  sayısı  $x, x+1, \dots, x+20$  dizisinin 5 ile bölünebilen ancak 2 veya 3 ile bölünmeyen bir terimidir. Eğer  $5 < r \leq 25$  ise, o zaman  $x \leq 30t + 25 < x + 20$  ve  $30t + 25$  sayısı  $x, x+1, \dots, x+20$  dizisinin 5 ile bölünebilen ancak 2 veya 3 ile bölünmeyen bir terimidir. Son olarak, eğer  $25 < r < 30$  ise, o zaman  $x < 30t + 35 < x + 20$  ve  $30t + 35$  sayısı  $x, x+1, \dots, x+20$  dizisinin 5 ile bölünebilen ancak 2 veya 3 ile bölünmeyen bir terimidir. Bu, lemmannın kanıtını tamamlar. Lemmamız, 5'i aşan her 21 ardışık pozitif tam sayıdan en az 14'ünün bileşik sayı olduğunu, dolayısıyla en fazla 7 asal olduğunu hemen ima eder.  $x = 1, 2$  ve  $3$  için,  $x, x+1, \dots, x+20$  dizisi her biri 8 asal içerirken,  $x = 4$  ve  $x = 5$  için bu dizi 7 asal içerir. Böylece,  $x, x+1, \dots, x+20$  dizisi  $x = 1, 2$  ve  $3$  için 8 asal içerir.

<sup>135</sup>Böyle sadece bir sayı vardır, yani  $p = 5$ .  $p < 5$  için gerekli özelliğin sağlanmadığını kolayca buluruz.  $p = 5$  için, 5, 7, 11, 13, 17 ve 19 asallarını elde ederiz. Eğer  $p > 5$  ve  $p = 5k$  ( $k$  pozitif tam sayı) ise, o zaman  $p$  bileşiktir. Eğer  $p = 5k+1$  ise, o zaman  $p+14, 5$  ile bölünebilir, dolayısıyla bileşiktir. Eğer  $p = 5k+2$  ise, o zaman  $p+8, 5$  ile bölünebilir, dolayısıyla bileşiktir. Eğer  $p = 5k+3$  ise, o zaman  $5 | p+12$  ve  $p+12$  bileşiktir. Son olarak, eğer  $p = 5k+4$  ise, o zaman  $5 | p+6$  ve  $p+6$  bileşiktir.

<sup>136</sup> $k > 1$  tam sayısı için bu tür çiftlerin  $m = 2^k - 2$  ve  $n = 2^k(2^k - 2)$  olduğunu kolayca buluruz, bunlar için  $m+1 = 2^k - 1$  ve  $n+1 = (2^k - 1)^2$  olur. NOT. P. Erdős bu tür başka çiftlerin varlığı hakkında bir problem ortaya atmıştır; bkz [9, s. 126, problem 60]. A. Mąkowski bir çift bulmuştur:  $m = 75 = 3 \cdot 5^2$ ,  $n = 1215 = 5 \cdot 3^5$ , bunlar için  $m+1 = 2^2 \cdot 19$ ,  $n+1 = 2^6 \cdot 19$ .

## Diofant Denklemleri

137.  $3x^2 - 7y^2 + 1 = 0$  denkleminin pozitif tam sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>137</sup>
138.  $2x^3 + xy - 7 = 0$  denkleminin tüm tam sayı çözümlerini bulunuz ve pozitif rasyonel sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>138</sup>
139.  $(x-1)^2 + (x+1)^2 = y^2 + 1$  denkleminin pozitif tam sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>139</sup>
140.  $x(x+1) = 4y(y+1)$  denkleminin pozitif tam sayı çözümünün bulunmadığını, fakat pozitif rasyonel sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>140</sup>
141.  $p$  bir asal sayı ve  $n$  de bir pozitif tam sayı ise,  $x(x+1) = p^n y(y+1)$  denkleminin pozitif tam sayılarla hiçbir çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>141</sup>

---

<sup>137</sup>  $3(55a + 84b)^2 - 7(36a + 55b)^2 = 3a^2 - 7b^2$  özdeşliği, eğer  $x = a$  ve  $y = b$  tam sayıları  $3x^2 - 7y^2 + 1 = 0$  denklemini sağlıyorsa, o zaman daha büyük  $x = 55a + 84b$  ve  $y = 36a + 55b$  tam sayılarının da aynı denklemi sağladığım ima eder.  $x = 3$  ve  $y = 2$  sayıları bu denklemi sağladığından, pozitif  $x, y$  tam sayılarında sonsuz sayıda çözümü vardır.

<sup>138</sup>  $x(2x^2 + y) = 7$  olduğundan,  $x$  sayısı 7'nin bir tam sayı böleni olmalıdır, yani  $1, 7, -1, -7$  sayılarından birine eşit olmalıdır. Bu değerleri denkleme yerine koyduğumuzda,  $y$  için  $5, -97, -9, -99$  değerlerini elde ederiz. Böylece, denklemimizin tam sayılarında dört çözümü vardır, yani  $(1, 5), (7, -97), (-1, -9), (-7, -99)$ . Şimdi  $n, 5'$ ten büyük keyfi bir tam sayıyı göstersin ve  $x = 7/n, y = n - 98/n^2$  olsun.  $n > 5$  olduğundan,  $n \geq 6$  olur ve  $x, y$  rasyonel ve pozitif olacaktır;  $2x^3 + xy - 7 = 0$  denklemini sağladıklarını kolayca kontrol ederiz.

<sup>139</sup> Eğer  $x$  ve  $y$   $(x-1)^2 + (x+1)^2 = y^2 + 1$  (1) denklemini sağlıyorsa, o zaman  $(2y+3x-1)^2 + (2y+3x+1)^2 = (3y+4x)^2 + 1$  olduğunu kolayca görürüz. Böylece, (1) denklemimin her pozitif tam sayı  $x, y$  çözümü için, daha büyük tam sayılarında başka bir  $2y+3x, 3y+4x$  çözümü elde ederiz; bu denkemin  $x = 2, y = 3$  çözümü olduğundan, pozitif tam sayılarında sonsuz sayıda çözümü vardır.

<sup>140</sup> Eğer pozitif tam sayılar  $x$  ve  $y$  için  $x(x+1) = 4y(y+1)$  olsaydı, o zaman  $3 = [2(2y+1)]^2 - (2x+1)^2 = (4y-2x+1)(4y+2x+3)$  olurdu, dolayısıyla 3 sayısı, 3'ü aşan bir  $4y+2x+3$  pozitif tam sayısı tarafından bölündürü ki bu imkansızdır. Öte yandan,  $n > 1$  tam sayısı için  $x = \frac{3^n-3^{1-n}-2}{4}$  ve  $y = \frac{3^{n+1}-n-4}{8}$  olduğunda  $x(x+1) = 4y(y+1)$  olduğunu kolayca görürüz. Örneğin,  $n = 2$  için  $x = 5/3, y = 2/3$  elde ederiz. Denklemimizin sonsuz sayıda rasyonel  $x, y$  çözümü vardır.

<sup>141</sup> A. Schinzel'in kanıtı.  $p$  bir asal sayı olsun ve  $n$  bir pozitif tam sayı olsun; pozitif  $x$  ve  $y$  tam sayılarının  $x(x+1) = p^{2n}y(y+1)$  denklemini sağladığımı varsayıyalım.  $x$  ve  $x+1$  aralarında asal olduğundan, ya  $p^{2n} | x$  ya da  $p^{2n} | x+1$  olur ve dolayısıyla her durumda  $x+1 \geq p^{2n}$  olur. Ancak, denklemimiz  $p^{2n}-1 = [p^n(2y+1)+(2x+1)][p^n(2y+1)-(2x+1)]$  denklemine denktir. Sol taraf ve sağdaki ilk çarpan pozitif tam sayılar olduğundan, sağdaki ikinci çarpan da pozitif bir tam sayı olmalıdır. Buradan  $p^{2n}-1 > 2x+1$  sonucu çıkar, dolayısıyla  $p^{2n} > 2(x+1)$ , ki bu da daha önce bulunan  $x+1 \geq p^{2n}$  ilişkisi göz önüne alındığında  $p^{2n} > 2p^{2n}$  verir, bu imkansızdır.

142. Verilen  $k$  tam sayısı için  $x^2 - 2y^2 = k$  denkleminin bir  $(x_0, y_0)$  tam sayı çözümü varsa,  $x^2 - 2y^2 = -k$  denkleminin bir tam sayı çözümünü bulunuz.<sup>142</sup>
143. Her  $D$  tam sayısı için  $x^2 - Dy^2 = z^2$  denkleminin pozitif tam sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>143</sup>
144.  $D$ , sıfırdan farklı herhangi tam sayı ise,  $x^2 - Dy^2 = z^2$  denkleminin,  $\text{OBEB}(x, y) = 1$  olacak şekilde çözümleri olan tam sayılarla sonsuz tane  $(x, y, z)$  çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.<sup>144</sup>
145.  $xy + x + y = 3z^2$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümlerinin bulunduğuunu ve  $x \leq y$  koşulunu sağlayan sayılarla çözümlerinin sonlu olduğunu kanıtlayınız.<sup>145</sup>
146.  $x^2 - 2y^2 + 8z = 3$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>146</sup>
147.  $y^2 - x(x+1)(x+2)(x+3) = 1$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>147</sup>
148.  $x^2 + y^2 + z^2 + x + y + z = 1$  denkleminin tüm rasyonel sayı çözümlerini bulunuz.<sup>148</sup>

<sup>142</sup>  $(x - 2y)^2 - 2(x - y)^2 = -(x^2 - 2y^2)$  özdeşliği göz önüne alındığında,  $t = x - 2y$ ,  $u = x - y$  koymak yeterlidir.

<sup>143</sup> Kanıt,  $(m^2 + Dn^2)^2 - D(2mn)^2 = (m^2 - Dn^2)^2$  özdeşliğinden hemen çıkar. Keyfi bir n pozitif tam sayısı için,  $m^2 > Dn^2$  olacak şekilde m sayısı seçmek ve  $x = m^2 + Dn^2$ ,  $y = 2mn$ ,  $z = m^2 - Dn^2$  koymak yeterlidir.

<sup>144</sup> Eğer  $D$  tek ise, o zaman  $k > 1$  tam sayısı için  $D + 2^{2k-2}$  sayısı tektir ve  $(D + 2^{2k-2}, 2^k) = 1$  olur;  $(D + 2^{2k-2})^2 - D(2^k)^2 = (D - 2^{2k-2})^2$  olduğunu kolayca buluruz.  $\$x= D+2^{\wedge}\{2k-2\} \$$ ,  $y = 2^k$ ,  $z = |D - 2^{2k-2}|$  koymalıyız. Eğer  $D$  çift ise, o zaman her  $y > 1$  tam sayısı için  $(\frac{1}{2}Dy^2 + 1, y) = 1$  olur ve  $(\frac{1}{2}Dy^2 + 1)^2 - Dy^2 = (\frac{1}{2}Dy^2 - 1)^2$  olur ve  $x = |\frac{1}{2}Dy^2 + 1|$ ,  $z = |\frac{1}{2}Dy^2 - 1|$  koymalıyız.

<sup>145</sup> Denklemimiz  $2^{2^5} + 1 = (x+1)(y+1)$  denklemine denktir. Fermat sayısı  $F_5 = 2^{2^5} + 1$  iki asalın çarpımına eşit olduğundan, küçüğü 641 olmak üzere, denklemimizin pozitif x tam sayılarında ve  $y \geq x$  olmak üzere sadece bir çözümü vardır, burada  $x = 640$ . NOT. İki bilinmeyenli ikinci dereceden bazı denklemlerin sadece bir x ve  $y \geq x$  çözümü olduğunu bilmemiz ilginçtir, ancak (tamamen teknik nedenlerden dolayı) bu çözümü bulamıyoruz. Örneğin,  $xy + x + y + 2 = 2^{137}$  denklemi bu durumdadır. Öte yandan,  $xy + x + y = 2^{2^{17}}$  denkleminin pozitif tam sayılarda x, y çözümü olup olmadığını biliyoruz.

<sup>146</sup> Eğer y çift ise, o zaman  $x^2 = 3 - 8z + 2y^2$  8'e bölündüğünde 3 kalanını verir, bu imkansızdır. Eğer y tek ise, o zaman  $y = 2k + 1$  (k bir tam sayı) olur, o zaman  $x^2 = 3 - 8z + 8k^2 + 2$  (diziği hatası:  $x^2 = 3 - 8z + 8k^2 + 8k + 2$  olmalı), bu da 8'e bölündüğünde 5 kalanını verir, ki bu yine imkansızdır çünkü her tek sayının karesi 8'e bölündüğünde 1 kalanını verir.

<sup>147</sup> x keyfi bir pozitif tam sayı olsun.  $x(x+1)(x+2)(x+3) + 1 = (x^2 + 3x + 1)^2$  özdeşliğini kolayca kontrol ederiz, bu da denklemimiz göz önüne alındığında  $y = x^2 + 3x + 1$  anlamına gelir. Böylece, denklemimizin pozitif tam sayılardaki tüm x, y çözümleri: x - keyfi bir pozitif tam sayı ve  $y = x^2 + 3x + 1$ .

<sup>148</sup>  $x^2 + y^2 + z^2 + x + y + z = 1$  denkleminin rasyonel çözümü yoktur çünkü  $(2x+1)^2 + (2y+1)^2 + (2z+1)^2 = 7$  denklemine denk olduğunu kolayca görürüz ve 7 sayısı rasyonel sayıların üç karesinin toplamı olmak zorunda kalındı. Bunun imkansız olduğunu göstereceğiz. Aslında, eğer 7 üç rasyonel sayının karelerinin toplamı olsaydı, o zaman ortak payda ile çarptıktan

149.  $4xy - x - y = z^2$  denkleminin pozitif tam sayı çözümlerinin bulunmadığını ve negatif tam sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğu kanıtlayınız.<sup>149</sup>

150.  $m$  pozitif tam sayı olmak üzere  $D = m^2 + 1$  ise,  $x^2 + Dy^2 = 1$  denkleminin pozitif tam sayılarla sonsuz tane çözümünün bulunduğu kanıtlayınız.<sup>150</sup>

151.  $y^2 = x^3 + (x+4)^2$  denkleminin tüm tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>151</sup>

---

sonra  $a^2 + b^2 + c^2 = 7m^2$  (1) olurdu, burada  $a, b,$  ve  $c$  tam sayılar ve  $m$  pozitif bir tam sayıdır. O zaman, (1)'in  $a, b,$   $c$  tam sayılarında bir çözümüne sahip olduğu en küçük pozitif tam sayı  $m$  var olurdu. Eğer  $m$  çift olsaydı,  $m = 2n$  ( $n$  pozitif tam sayı), o zaman  $a, b,$   $c$  sayılarının üçü de çift olurdu, dolayısıyla  $a = 2a_1, b = 2b_1, c = 2c_1$  (burada  $a_1, b_1, c_1$  tam sayılardır). Bunu (1)'e koyarak,  $m^2 = 4n^2$  göz önüne alındığında  $a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 = 7n^2$  elde ederiz, burada  $n, m'$ den küçük pozitif bir tam sayıdır, bu da  $m'$ 'nin  $7m^2$ 'nin üç tam sayıının karelerinin toplamı olduğu en küçük pozitif tam sayı olduğu varsayımlına aykırıdır. Böylece,  $m$  tekdir ve  $m^2 8'e$  bölündüğünde 1 kalanını verir. Dolayısıyla, (1)'in sağ tarafı  $8'e$  bölündüğünde 7 kalanını verir; ancak, böyle bir sayıının üç tam sayıının karelerinin toplamı olamayacağını biliyoruz.

<sup>149</sup>Eğer pozitif  $x, y, z$  tam sayıları  $4xy - x - y = z^2$  denklemini sağlasaydı,  $(4x - 1)(4y - 1) = (2z)^2 + 1$  olurdu ve  $4x - 1 \geq 3$  pozitif tam sayısının  $4k + 3$  formunda bir  $p$  asal böleni olurdu. Bu nedenle,  $(2z)^2 \equiv -1 \pmod{p}$  olurdu ve  $p = 4k + 3$  göz önüne alındığında,  $(2z)^{p-1} = (2z)^{2(2k+1)} \equiv -1 \pmod{p}$  olurdu, bu da Fermat teoremine aykırıdır. Öte yandan,  $n$  keyfi bir pozitif tam sayı olsun ve  $x = -1, y = -5n^2 - 2n, z = -5n - 1$  olsun.  $x, y$  ve  $z$  sayılarının  $4xy - x - y = z^2$  denklemini sağladığını kolayca kontrol ederiz.

<sup>150</sup>Pozitif tam sayılar  $m$  ve  $D = m^2 + 1$  için  $(2m^2 + 1)^2 - D(2m)^2 = 1$  olduğunu kolayca kontrol edebiliriz. Eğer pozitif  $x$  ve  $y$  tam sayıları için  $x^2 - Dy^2 = 1$  ise, o zaman  $(x^2 + Dy^2)^2 - D(2xy)^2 = (x^2 - Dy^2)^2$  özdeşliği göz önüne alındığında,  $x_1 = x^2 + Dy^2$  ve  $y_1 = 2xy$  ( $x$  ve  $y$ 'den büyük pozitif tam sayılar) için  $x_1^2 - Dy_1^2 = 1$  olur. Buradan, örneğin,  $x^2 - Dy^2 = 1$  denkleminin  $D = 2, 5, 10, 17, 26, 37, 50, 65, 82$  için pozitif  $x, y$  tam sayılarında sonsuz sayıda çözümü olduğu sonucu çıkar.

<sup>151</sup> $y^2 = x^3 + (x+4)^2$  denkleminin iki açık çözümü vardır:  $x = 0, y = 4$  ve  $x = 0, y = -4$ . Şimdi, A. Schinzel'e ait olan, bu denklemin  $x \neq 0$  olmak üzere pozitif tam sayılarında  $x, y$  çözümü olmadığını gösteren kanıtını vereceğiz (bkz [29]).  $x \neq 0$  pozitif tam sayılarının ve  $y$ 'nın denklemi sağladığını varsayıyalım. Bu nedenle,  $x^3 = (y - x - 4)(y + x + 4)$  (1) olur. (1) ve  $x \neq 0$  göz önüne alındığında,  $y - x - 4$  ve  $y + x + 4$  tam sayıları  $\neq 0$  olur.  $d = (y - x - 4, y + x + 4)$  (2) olsun. Eğer  $d$ 'nin tek bir  $p$  asal böleni olsaydı, o zaman (1) göz önüne alındığında  $p | x$  olurdu ve  $p | d$  ve (2) ile  $p | y - x - 4$  ve  $p | y + x + 4$  olurdu, dolayısıyla  $p | 2y$ .  $p$  tek olduğundan,  $p | y$  ve  $p | 4$  sonucu çıkardı ki bu imkansızdır. Böylece,  $d$ 'nin tek asal böleni yoktur ve  $\geq 0$  bir tam sayı üssü ile  $2$ 'nin bir kuvvetine eşit olmalıdır. Eğer  $16 | d$  olsaydı, o zaman (1) ve (2) ile  $2^8 | x^3$  olurdu, bu da  $2^3 | x$  anlamına gelir ve  $d | (y+x+4) - (y-x-4) = 2x+8$  olduğundan,  $16 | 8$  olurdu ki bu imkansızdır. Böylece,  $16, d$ 'yi bölmek. Eğer  $d = 2$  olsaydı, o zaman  $y - x - 4 = 2m, y + x + 4 = 2n$  olurdu, burada  $(m, n) = 1$ . (1) ve (2) göz önüne alındığında  $2 | x$  olurdu, dolayısıyla  $2 | y$ . Ama  $2y = 2(m+n)$ , dolayısıyla  $y = m+n$  ve  $2 | m+n$ ;  $(m, n) = 1$  göz önüne alındığında,  $m$  ve  $n$  sayılarının ikisi de tek olmalıdır.  $x^3 = 4mn$  olduğundan,  $8 | x^3$  olur (dizgi hatalı:  $8 \nmid x^3$  olmalı), bu  $2 | x$  olduğundan imkansızdır (dizgi hatalı:  $8 | x^3$  ise  $2 | x$  olur, ama  $x^3 = 4mn$  ve  $m, n$  tek ise  $x^3/4$  tektir, bu da  $x$ 'in çift olmasını gerektirir ancak  $x^3$ 'ün  $8'e$  bölünmesini engeller).  $x = 2x'$  ise  $8x'^3 = 4mn, 2x'^3 = mn$ .  $m, n$  tek ise bu imkansızdır. Böylece  $d \neq 2$ . Eğer  $d = 4$  olsaydı, o zaman  $y - x - 4 = 4m, y + x + 4 = 4n$  olurdu, burada  $(m, n) = 1$ . (1) ile  $x^3 = 16mn$  olurdu, dolayısıyla  $4 | x$ , bu da  $4 | mn$  anlamına gelir; böylece,  $(m, n) = 1$  olduğundan,  $m, n$  sayılarından biri 4 ile bölünebilir ve diğer tek olmalıdır. Ancak,  $4 | x$  ve  $4 = d | y - x - 4$  (dizgi hatalı:  $d | y - x - 4$  olmalı) olduğundan,  $4 | y = 2(m+n)$  olur (dizgi hatalı:  $y = 2(m+n)$  değil,  $y - x - 4 = 4m$  ve  $4 | x$  ise  $4 | y - 4$  yani  $4 | y$  olmalı).  $y + x + 4 = 4n$  ve  $4 | x$  ise  $4 | y + 4$  yani  $4 | y$  olmalı.  $y = 2(m+n)$  ise  $4 | 2(m+n)$  yani  $2 | m+n$  olur, bu da  $m, n$ 'den biri 4'e bölünür diğer tekse mümkün değildir), bu imkansızdır. Bu nedenle  $d \neq 4$ . 16,  $d$ 'yi böldüğünden,  $d \neq 2$

152. Her  $m$  pozitif tam sayısı için  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} = m$  denkleminin,  $x, y, z$  aralarında asal olmak üzere tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>152</sup>

153.  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} = \frac{z}{x} = 1$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>153</sup>

ve  $d \neq 4$  olduğundan ve  $d$ , 2'nin bir kuvveti olduğundan, geriye iki durum kalır:  $d = 1$  ve  $d = 8$ . Eğer  $d = 1$  ise, o zaman (1) ve (2)'den  $y - x - 4$  ve  $y + x + 4$  sayılarının tam sayıların küpleri olduğu sonucu çıkar;  $y - x - 4 = a^3$ ,  $y + x + 4 = b^3$ , bu da (1) göz önüne alındığında  $x = ab$  ve  $2x + 8 = b^3 - a^3$  anlamına gelir.  $a = b$  olamaz çünkü o zaman  $x = -4$  olurdu (dizgi hatası:  $2x + 8 = 0$  ise  $x = -4$ .  $y - x - 4 = a^3$  ve  $y + x + 4 = b^3$  ve  $a = b$  ise  $y - x - 4 = y + x + 4$  yani  $2x + 8 = 0$ ,  $x = -4$ .  $x = ab = a^2$ ,  $a^2 = -4$  imkansız) ve  $y^2 = x^3 + (x + 4)^2$  denklemi  $y^2 = -4^3$  anlamına gelirdi ki bu imkansızdır.  $x = ab$  göz önüne alındığında  $2ab + 8 = b^3 - a^3 = (b - a)((b - a)^2 + 3ab)$  olur. Bu, eğer  $b - a = 1$  ise, o zaman  $2ab + 8 = 1 + 3ab$ , dolayısıyla  $ab = 7$  ve sonuç olarak  $x = 7$ ,  $y^2 = 7^3 + 11^2 = 464$  anlamına gelir ki 464 bir kare olmadığından bu imkansızdır. Böylece, eğer  $ab > 0$  ise, o zaman  $b - a > 0$  olur ve  $b - a \neq 1$  göz önüne alındığında  $b - a \geq 2$  ve  $2ab + 8 > 6ab$  (dizgi hatası:  $(b - a) \geq 2$  ise  $(b - a)((b - a)^2 + 3ab) \geq 2(4 + 3ab) = 8 + 6ab$ ) elde ederiz. Bu  $ab < 2$  anlamına gelir (dizgi hatası:  $2ab + 8 \geq 8 + 6ab$  ise  $4ab \leq 0$  olur,  $ab > 0$  ile çelişir), dolayısıyla  $ab = 1$  ve  $a = b = 1$ , ki bu imkansızdır (çünkü  $a = b$  olamaz). Eğer  $ab < 0$  ise, o zaman ya  $a > 0$ ,  $b < 0$ , bu da  $a^3 - b^3 = a^3 + (-b)^3 \geq a^2 + (-b)^2 \geq -2ab$  sonucunu verir (dizgi hatası:  $a^3 - b^3$  değil  $b^3 - a^3$  olmalı.  $b^3 - a^3 = -2ab - 8$ .  $a > 0$ ,  $b < 0$  ise  $a = 1$ ,  $b = -1$  olsa  $x = -1$ ,  $2(-1) + 8 = 6$ ,  $b^3 - a^3 = -1 - 1 = -2$ , değil.  $a = 1$ ,  $b = -2$  olsa  $x = -2$ ,  $2(-2) + 8 = 4$ ,  $b^3 - a^3 = -8 - 1 = -9$ .  $a = 2$ ,  $b = -1$  olsa  $x = -2$ ,  $2(-2) + 8 = 4$ ,  $b^3 - a^3 = -1 - 8 = -9$ .),  $a^3 - b^3 = -2ab - 8 < -2ab$  gerçeğine aykırıdır, ya da  $a < 0$ ,  $b > 0$ , bu da  $b^3 = a^3 + 2ab + 8$  göz önüne alındığında  $b^3 < 8$  sonucunu verir. Böylece  $b = 1$ , bu da  $a^3 + 2a + 7 = 0$  verir, ki bu denklemin tam sayı çözümü olmadığından imkansızdır. Böylece,  $ab = 0$  olmalıdır ve sonuç olarak  $x = 0$ ,  $x \neq 0$  varsayıma aykırıdır. Bu nedenle  $d = 1$  olamaz ve  $d = 8$  olmalıdır. (2) ile  $y - x - 4 = 8m$ ,  $y + x + 4 = 8n$  olur, burada  $(m, n) = 1$  ve (1) göz önüne alındığında  $x^3 = 64mn$  buluruz. Böylece  $(x/4)^3 = mn$  olur, bu da  $(m, n) = 1$  ile  $m$  ve  $n$  sayılarının tam sayıların küpleri olması gerektiği anlamına gelir, diyalim ki  $m = a^3$ ,  $n = b^3$ . Böylece  $x/4 = ab$  ve  $2x + 8 = 8(n - m) = 8(b^3 - a^3)$ , bu da  $ab + 1 = b^3 - a^3$  sonucunu verir. Açılda,  $a = b$  olamaz ve  $|a - b| \geq 1$  olmalıdır. Eğer  $ab > 0$  ise o zaman  $b > a$  ve  $b - a \geq 1$  olur, ve  $ab + 1 = b^3 - a^3 = (b - a)[(b - a)^2 + 3ab] \geq 3ab$  (dizgi hatası:  $b - a \geq 1$  ise  $\geq 1(1 + 3ab)$ ) olduğundan,  $2ab < 1$  (dizgi hatası:  $ab + 1 \geq 1 + 3ab$  ise  $2ab \leq 0$ ) elde ederiz, bu da  $ab > 0$  varsayıma aykırıdır.  $4ab = x \neq 0$  olduğundan,  $ab < 0$  olur.  $|b - a| \geq 1$  ve  $|b^3 - a^3| = |b - a| |(b + a)^2 - ab| \geq -ab$  göz önüne alındığında ve ayrıca ( $ab < 0$  göz önüne alındığında)  $ab + 1 < -ab$  (dizgi hatası:  $ab + 1 < |ab| = -ab$  olmalı) ilişkisi olduğundan,  $ab + 1 = b^3 - a^3$  denklemi imkansızdır. Bu,  $y^2 = x^3 + (x + 4)^2$  denkleminin  $x \neq 0$  tam sayılarında ve  $y$ 'de çözümü olmadığı gerçeğinin kanıtını tamamlar.

<sup>152</sup>Denklemimiz, 0'dan farklı ve aralarında asal  $x, y, z$  tam sayıları için  $x^2z + y^2x + z^2y = mxzy$  denkleme denktir. Buradan  $y | x^2z$ ,  $z | y^2x$  ve  $x | z^2y$  sonucu çıkar ve  $(x, y) = 1$ ,  $(z, y) = 1$  olduğundan, bu da  $(x^2z, y) = 1$  demektir,  $y | x^2z$ 'den  $y = \pm 1$  elde ederiz. Benzer şekilde  $z = \pm 1$  ve  $x = \pm 1$  buluruz. Eğer  $x, y, z$  sayılarının üçü de aynı işaretliyse, denklemimiz  $1 + 1 + 1 = m$  anlamına gelir, dolayısıyla  $m = 3$  olur. Eğer ikisi pozitif biri negatif, ya da ikisi negatif biri pozitif olsaydı, o zaman denklemimiz ( $x = \pm 1$ ,  $y = \pm 1$ ,  $z = \pm 1$  göz önüne alındığında)  $m$ 'nin negatif olmasının gerektirirdi, ki bu varsayıma aykırıdır. Böylece, pozitif  $m$  tam sayısı için,  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} = m$  denkleminin aralarında asal  $x, y, z$  tam sayılarında çözümü sadece  $m = 3$  için vardır, ve bu durumda sadece iki çözüm vardır:  $x = y = z = 1$  ve  $x = y = z = -1$ .  $m \neq 3$  pozitif tam sayısı için, denklemimizin 0'dan farklı ve aralarında asal  $x, y, z$  tam sayılarında çözümü yoktur.

<sup>153</sup> $\frac{x}{y} \cdot \frac{y}{z} \cdot \frac{z}{x} = 1$  elimizde var, dolayısıyla (rasyonel ve pozitif)  $x/y$ ,  $y/z$  ve  $z/x$  sayılarının hepsi  $< 1$  olamaz; eğer en az biri  $\geq 1$  ise, o zaman  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} > 1$  olur ve sol taraf pozitif  $x, y, z$  tam sayıları için  $= 1$  olamaz. NOT. Denklemimizin  $\neq 0$  tam sayılarda çözümü olmadığını

154.  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} = \frac{z}{x} = 2$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.<sup>154</sup>

155.  $x^2 + y^2 + z = 3$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>155</sup>

156.  $m = 1$  ve  $m = 2$  için  $x^3 + y^3 + z^3 = mxyz$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız ve  $m = 3$  için tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>156</sup>

157. Aşağıdaki  $(T_1)$  ve  $(T_2)$  teoremlerinin denk olduğunu kanıtlayınız.<sup>157</sup>

kanıtlamak daha zordur, krş. Cassels [3], Sierpiński [2]; Cassels, Sansone [4].

<sup>154</sup>LEMMA. Eğer  $a, b, c$  pozitif, reel ve hepsi eşit değilse, o zaman  $(\frac{a+b+c}{3})^3 > abc$ . (1) KANIT.  $a, b, c$  sayılarının pozitif olduğunu ve hepsinin eşit olmadığını varsayalım. O zaman  $a = u^3$ ,  $b = v^3$  ve  $c = w^3$  olacak şekilde, hepsi eşit olmayan pozitif  $u, v$  ve  $w$  sayıları vardır.  $u^3 + v^3 + w^3 - 3uvw = \frac{1}{2}(u+v+w)[(u-v)^2 + (v-w)^2 + (w-u)^2]$  özdeşliğine sahibiz.  $u, v, w$  sayılarının hepsi eşit olmadığını从中, son çarpan kesinlikle pozitiftir ve  $u^3 + v^3 + w^3 > 3uvw$  olur, dolayısıyla  $(\frac{u^3+v^3+w^3}{3})^3 > u^3v^3w^3$  olur, ki bu  $u^3 = a, v^3 = b, w^3 = c$  göz önüne alındığında (1)'i verir ve lemmamın kanıtını tamamlar. Şimdi  $x, y, z$  pozitif tam sayılar olsun. Eğer  $x/y, y/z$  ve  $z/x$  sayıları hep eşit olsayıdı, o zaman pozitif oldukları ve çarpımları 1'e eşit olduğu için, hepsi 1'e eşit olmak zorunda kalırı ve  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} = 3 > 2$  olurdu. Böylece,  $x, y, z$  sayılarının hepsi eşit değildir ve lemmaya göre  $[\frac{1}{3}(\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x})]^3 > \frac{x}{y} \cdot \frac{y}{z} \cdot \frac{z}{x} = 1$  olur, dolayısıyla  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} > 3$  olur. Böylece,  $x/y + y/z + z/x = 2$  denklemi pozitif  $x, y, z$  tam sayılarında imkansızdır.

<sup>155</sup>Pozitif  $x, y, z$  tam sayılarının denklemimizi sağladığını varsayalım. Eğer  $x/y, y/z$  ve  $z/x$  sayılarının üçü de eşit değilse, o zaman Problem 154'ün çözümünden  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} > 3$  olduğu sonucu çıkar. Bu nedenle,  $x/y = y/z = z/x$  olmalıdır ve denklemimiz bu sayıların her birinin 1 olduğunu ima eder. Böylece,  $x = y = z$ . Bu durumda  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x} = 1 + 1 + 1 = 3$  olur ve denklemimizin pozitif  $x, y, z$  tam sayılarında sonsuz sayıda çözümü vardır; bunların hepsi  $x$  için keyfi bir pozitif tam sayı seçip  $x = y = z$  olarak elde edilebilir.

<sup>156</sup>A. Schinzel'in fark ettiği gibi, eğer verilen bir  $m$  pozitif tam sayısı için  $x, y, z$  pozitif tam sayıları  $x^3 + y^3 + z^3 = mxyz$  (1) denklemini sağlıyorsa, o zaman  $\frac{x^2y}{y^2z} + \frac{y^2z}{z^2x} + \frac{z^2x}{x^2y} = m$  (2) olur. Gerçekten de,  $\frac{x^2y}{y^2z} = \frac{x^3}{xyz}, \frac{y^2z}{z^2x} = \frac{y^3}{xyz}, \frac{z^2x}{x^2y} = \frac{z^3}{xyz}$  olur ve (1) göz önüne alındığında  $\frac{x^3}{xyz} + \frac{y^3}{xyz} + \frac{z^3}{xyz} = m$  elde ederiz. Problem 153 ve 154'ten  $m = 1$  ve  $m = 2$  için (1) denkleminin pozitif  $x, y, z$  tam sayılarında çözümü olmadığı sonucu çıkar, Problem 155 ise  $m = 3$  için (1) denkleminin tek çözümünün  $x^2y = y^2z = z^2x = n$  olduğunu ima eder, burada  $n$  bir pozitif tam sayıdır. Ancak o zaman,  $x^2y \cdot y^2z \cdot z^2x = n^3$ , veya  $(xyz)^3 = n^3$  olur, bu da  $xyz = n$  anlamına gelir ve  $x^2y = n$  göz önüne alındığında  $z/x = 1$  veya  $x = z$  buluruz; öte yandan  $y^2z = n$  göz önüne alındığında  $x/y = 1$  veya  $x = y$  buluruz. Böylece  $x = y = z$  olmalıdır. Ancak, eğer  $m = 3$  ise, herhangi bir pozitif  $x$  tam sayısı için ve  $x = y = z$  olarak (1) denkleminin bir çözümünü elde ederiz. Böylece,  $m = 3$  için (1) denklemimin pozitif tam sayılardaki tüm çözümleri,  $x$  olarak keyfi bir pozitif tam sayı seçerek ve  $y = z = x$  olarak elde edilir.

<sup>157</sup> $T_1$  teoreminin geçerli olduğunu varsayılmı. Eğer  $T_2$  teoremi yanlış olsaydı,  $u^3 + v^3 = w^3$  olacak şekilde pozitif  $u, v$  ve  $w$  tam sayıları var olurdu ve  $x = u^2v, y = v^2w, z = w^2u$  koyarak  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} = \frac{u^2v}{v^2w} + \frac{v^2w}{w^2u} = \frac{u^2}{v^2w} + \frac{v^2}{w^2u} = \frac{u^3+v^3}{uvw} = \frac{w^3}{uvw} = \frac{z}{x}$  olurdu, ki bu  $T_1$  teoremine aykırıdır. Böylece,  $T_1$  teoreminin  $T_2$  teoremini ima ettiğini kanıtladık (bu kanıt A. Schinzel tarafından bulundu). Şimdi  $T_1$  teoreminin yanlış olduğunu varsayılmı. O zaman  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} = \frac{z}{x}$  olacak şekilde pozitif  $x, y, z$  tam sayıları vardır, dolayısıyla  $x^2z + y^2x = z^2y, x^2z = a, y^2x = b$  olsun; o zaman  $z^2y = a + b$  ve  $ab(a+b) = (xyz)^3$  olur.  $d = (a, b)$  olsun; böylece  $a = da_1, b = db_1$  olur, burada  $(a_1, b_1) = 1$ . Buradan  $a + b = d(a_1 + b_1)$  ve  $a_1b_1(a_1 + b_1)d^3 = (xyz)^3$  sonucu çıkar. Bu,  $d^3 | (xyz)^3$  anlamına gelir, dolayısıyla  $d | xyz$  ve  $xyz = dt$  ( $t$  pozitif tam sayı). Bu nedenle,  $a_1b_1(a_1 + b_1) = t^3$  olur ve  $a_1, b_1$  ve  $a_1 + b_1$  arasında asal olduklarından,  $a_1 = u^3,$

- $(T_1) : \frac{x}{y} + \frac{y}{z} = \frac{z}{x}$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümü yoktur.
- $(T_2) : u^3 + v^3 = w^3$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümü yoktur.

158.  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{t} + \frac{t}{x} = 1$  denkleminin pozitif tam sayılarla çözümünün bulunduğunu, fakat sonsuz sayıda tam sayı çözümünün bulunduğunu kanıtlayınız. <sup>158</sup>

159.  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{t} + \frac{t}{x} = m$  denkleminin,  $m = 2$  ve  $m = 3$  için pozitif tam sayılarla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız ve  $m = 4$  için tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz. <sup>159</sup>

160.  $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = 1$  denkleminin,  $x \leq y \leq z \leq t$  olmak üzere tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz. <sup>160</sup>

$b_1 = v^3$ ,  $a_1 + b_1 = w^3$  sonucu çıkar ( $u, v, w$  pozitif tam sayılar). Böylece,  $u^3 + v^3 = w^3$  olur, ki bu  $T_2$  teoremine aykırıdır, bu da  $T_2$  teoreminin  $T_1$  teoremini ima ettiğini gösterir. Böylece,  $T_1$  ve  $T_2$  denktir, ki bu kanıtlanması gerekendi. NOT.  $T_2$  teoreminin doğru olduğu temel yöntemlerle kanıtlanabilir (kanıt zor olsa da); böylece,  $T_1$  teoremi de doğrudur.

<sup>158</sup>Eğer  $x, y, z, t$  sayıları pozitif tam sayılarsa, o zaman  $x/y, y/z, z/t$  ve  $t/x$  sayıları rasyonel ve pozitiftir; çarpımları 1'e eşittir, bu da hepsinin  $< 1$  olamayacağını ima eder. Ama en az biri  $\geq 1$  ise, o zaman toplamları  $> 1$  olur ve  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{t} + \frac{t}{x} = 1$  denklemi sağlanamaz. Böylece, bu denklemin pozitif  $x, y, z, t$  tam sayılarında çözümü olmadığını kanıtladık. Şimdi bu denklemin  $\neq 0$  tam sayıarda sonsuz sayıda çözümü olduğunu göstereceğiz.  $n, 1'$ den büyük keyfi bir tam sayı olmak üzere,  $x = -n^2, y = n^2(n^2 - 1), z = (n^2 - 1)^2, t = -n(n^2 - 1)$  sayılarının bu denklemi sağladığını kontrol etmek yeterlidir.

<sup>159</sup>LEMMA. Eğer  $a, b, c, d$  pozitif ve hepsi eşit değilse, o zaman  $(\frac{a+b+c+d}{4})^4 > abcd$ . (1) KANIT.  $a, b, c$  ve  $d$ 'nin pozitif olduğunu ve örneğin  $a \neq b$  olduğunu varsayıyalım. O zaman  $y = a + c \neq b + d$  ya da  $a + d \neq b + c$  olur, çünkü eğer  $a + c = b + d$  ve  $a + d = b + c$  olsaydı, o zaman  $a - b = d - c$  olurdu ve dolayısıyla  $a - b = 0$  olurdu, ki bu  $a \neq b$  varsayıımıza aykırıdır. Eğer, örneğin,  $a + c \neq b + d$  ise,  $u = a + c, v = b + d$  olsun;  $u \neq v$  olur, dolayısıyla  $(u - v)^2 > 0$ , bu da  $u^2 + v^2 > 2uv$  verir. Böylece,  $(u + v)^2 = u^2 + v^2 + 2uv > 4uv$ . Buradan  $(a + b + c + d)^2 > 4(a + c)(b + d)$  sonucu çıkar ve  $(a + c)^2 \geq 4ac, (b + d)^2 \geq 4bd$  olduğundan,  $(a + b + c + d)^4 > 4^2(a + c)^2(b + d)^2 > 4^4abcd$  olur, bu da (1) eşitsizliğini verir ve lemmannın kanıtını tamamlar. Şimdi pozitif bir  $m$  tam sayısı için  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{t} + \frac{t}{x} = m$  denkleminin pozitif  $x, y, z, t$  tam sayılarında bir çözümü olduğunu varsayıyalım. Bu terimlerin çarpımı 1'e eşittir. Eğer hepsi 1'e eşit olsaydı, o zaman  $m = 4$  olurdu. Böylece, eğer  $m, 4'$ ten küçük pozitif bir tam sayı ise, o zaman  $x/y, y/z, z/t$  ve  $t/x$  pozitif rasyonel sayılarının dördü de eşit değildir ve lemmaya göre  $[\frac{1}{4}(\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{t} + \frac{t}{x})]^4 > \frac{x}{y} \cdot \frac{y}{z} \cdot \frac{z}{t} \cdot \frac{t}{x} = 1$  olur, bu da  $\frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{t} + \frac{t}{x} > 4$  anlamına gelir. Böylece,  $m < 4$  pozitif tam sayıları için denklemimizin pozitif tam sayı  $x, y, z, t$  çözümü yoktur ve  $m = 4$  için sadece  $x/y, y/z, z/t$  ve  $t/x$  sayılarının dördünün de eşit olduğu, dolayısıyla 1'e eşit olduğu çözümü vardır, bu da  $x = y = z = t$  anlamına gelir. Böylece,  $m = 4$  için, denklemimizin pozitif  $x, y, z, t$  tam sayılarında sonsuz sayıda çözümü vardır ve bunların hepsi keyfi pozitif  $x$  tam sayısı seçili  $y = z = t = x$  koyarak elde edilir.

<sup>160</sup> $x \leq 4$  olmalıdır, çünkü  $x \geq 5$  için,  $x \leq y \leq z \leq t$  göz önüne alındığında,  $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} \leq \frac{4}{5} < 1$  olurdu. Açıkça,  $x \geq 2$  de olmalıdır. Böylece, sadece üç durumu, yani  $x = 2, 3$  ve  $4'$ ü dikkate almak kahr. Önce  $x = 2$  olduğunu varsayıyalım. Bu durumda  $\frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{1}{2}$  (1) denklemine sahibiz.  $y \leq z \leq t$  göz önüne alındığında  $\frac{3}{y} \geq \frac{1}{2}$  elde ederiz, bu da  $y \leq 6$  verir; öte yandan, (1) ile  $\frac{1}{y} > \frac{1}{2}$  olur, dolayısıyla  $y \geq 3$ . Böylece, sadece  $y = 3, 4, 5$  veya 6 olabilir. Eğer  $y = 3$  ise,  $\frac{1}{6} = \frac{1}{z} + \frac{1}{t} \leq \frac{2}{z}$  olur, bu  $z \leq 12$  verir ve  $\frac{1}{6} > \frac{1}{z}$  olduğundan,  $z$  sayısı sadece 7, 8, 9, 10, 11 veya 12 değerlerini alabilir.  $z = 7$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{42}$  veya  $t = 42$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 3, z = 7, t = 42$  çözümünü verir.  $z = 8$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{24}$  veya  $t = 24$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 3, z = 8, t = 24$  çözümünü verir.  $z = 9$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{18}$  olur, dolayısıyla  $t = 18$ , bu da denklemimizin  $x = 2, y = 3, z = 9, t = 18$  çözümünü verir.  $z = 10$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{15}$  veya  $t = 15$  elde ederiz, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 3, z = 10, t = 15$  çözümünü verir.  $z = 11$  için

161. Her  $s$  pozitif tam sayısı için  $\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_s} = 1$  denkleminin sonlu sayıda pozitif tam sayı çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız. [^161]
162. Her  $s \geq 2$  tam sayısı için  $\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_s} = 1$  denkleminin  $x_1 < x_2 < \dots < x_s$  eşitsizliklerini sağlayan bir pozitif tam sayı çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız. Bu çözümlerin sayısını  $I_n$  ile gösterirsek,  $s = 3, 4, \dots$  için  $I_{s+1} > I_s$  olduğunu gösteriniz. [^162]
163.  $s$ , 2'den farklı pozitif tam sayı ise,  $\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_s} = 1$  denkleminin üçgen sayıları ile (yani  $t_n = \frac{n(n+1)}{2}$  şeklinde olan sayılar) çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız. [^163]
164.  $\frac{1}{x_1} + \frac{1}{y^2} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{t^2} = 1$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz. [^164]
165.  $\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_s} = 1$  denkleminin en az bir pozitif tam sayı çözümünün bulunmasını sağlayan tüm  $s$  pozitif tam sayılarını bulunuz. [^165]

$\frac{1}{t} = \frac{5}{66}$  olur, bu  $t$ 'nin tam sayı değerine yol açmaz ve denklemimizin tam sayı çözümü yoktur.  $z = 12$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{12}$  veya  $t = 12$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 3, z = 12, t = 12$  çözümünü verir. Eğer  $y = 4$  ise,  $\frac{1}{4} = \frac{1}{z} + \frac{1}{t} \leq \frac{2}{z}$  olur, dolayısıyla  $z \leq 8$  ve  $\frac{1}{4} > \frac{1}{z}$  olduğundan  $z > 4$ ,  $z$  sayısı sadece 5, 6, 7 veya 8 değerlerini alabilir.  $z = 5$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{20}$  veya  $t = 20$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 4, z = 5, t = 20$  çözümünü verir.  $z = 6$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{12}$  veya  $t = 12$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 4, z = 6, t = 12$  çözümünü verir.  $z = 7$  için  $\frac{1}{t} = \frac{3}{28}$  olur, bu  $t$ 'nin tam sayı değerine yol açmaz ve denklemimizin tam sayı çözümü yoktur.  $z = 8$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{8}$  veya  $t = 8$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 4, z = 8, t = 8$  çözümünü verir. Eğer  $y = 5$  ise,  $\frac{3}{10} = \frac{1}{z} + \frac{1}{t} \leq \frac{2}{z}$  veya  $z \leq \frac{20}{3}$ , yani  $z \leq 6$  olur, dolayısıyla  $z \geq y = 5$  olduğundan,  $z$ 'nin sadece 5 veya 6 değerlerini alabileceğini görürüz.  $z = 5$  için  $\frac{1}{t} = \frac{1}{10}$  veya  $t = 10$  olur, bu da denklemimizin  $x = 2, y = 5, z = 5, t = 10$  çözümünü verir.  $z = 6$  için  $\frac{1}{t} = \frac{2}{15}$  olur, bu  $t$ 'nin tam sayı değerine yol açmaz ve denklemimizin çözümü yoktur. Eğer  $y = 6$  ise,  $\frac{1}{3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{t} \leq \frac{2}{2}$  olur, bu  $z \leq 6$  verir ve  $z \geq y = 6$  olduğundan  $z = 6$  olmalıdır ve sonuç olarak  $t = 6$ , bu da  $x = 2, y = 6, z = 6, t = 6$  çözümüne yol açar.  $x = 2$  durumunun değerlendirmesini tamamladık, (1) denkleminin  $y \leq z \leq t$  olmak üzere sadece 10 pozitif tam sayı  $y, z, t$  çözümü olduğunu gösterdik, yani 3, 7, 42; 3, 8, 24; 3, 9, 18; 3, 10, 15; 3, 12, 12; 4, 5, 20; 4, 6, 12; 4, 8, 8; 5, 5, 10 ve 6, 6, 6. Şimdi  $x = 3$  olduğunu varsayıyalım. O zaman  $\frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{2}{3}$  denklemine sahibiz ve  $y \leq z \leq t$  ile  $\frac{3}{y} \geq \frac{2}{3}$  veya  $y \leq \frac{9}{2}$  elde ederiz, bu da  $y \leq 4$  anlamına gelir.  $3 = x \leq y$  olduğundan,  $y$  için olası değerler 3 ve 4'tür. Eğer  $y = 3$  ise, o zaman  $\frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{1}{3}$ , bu da  $\frac{2}{z} \geq \frac{1}{3}$  veya  $z \leq 6$  anlamına gelir ve  $\frac{1}{z} < \frac{1}{3}$  veya  $z > 3$  olduğundan,  $z$  için olası değerler sadece 4, 5 ve 6'dır.  $z = 4$  için  $t = 12$  olur, bu da denklemimizin  $x = 3, y = 3, z = 4, t = 12$  çözümünü verir.  $z = 5$  için  $t = 15/2$  elde ederiz, bu da  $x, y, z, t$  tam sayılarında bir çözüme yol açmaz.  $z = 6$  için  $t = 6$  elde ederiz, bu da denklemimizin  $x = 3, y = 3, z = 6, t = 6$  çözümünü verir. Eğer  $y = 4$  ise,  $\frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{5}{12} \leq \frac{2}{z}$  olur, bu  $z \leq \frac{24}{5} < 5$  anlamına gelir ve  $z \geq y = 4$  olduğundan  $z = 4$  olmalıdır ve sonuç olarak  $t = 6$ , bu da denklemimizin  $x = 3, y = 4, z = 4, t = 6$  çözümünü verir. Şimdi  $x = 4$  olduğunu varsayıyalım. O zaman  $\frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{3}{4}$  denklemine sahibiz, bu da  $y \leq z \leq t$  ile  $\frac{3}{4} \leq \frac{3}{y}$  veya  $y \leq 4$  anlamına gelir ve  $y \geq x = 4$  olduğundan, sadece  $y = 4$  olabilir. Bu  $\frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{1}{2} \leq \frac{2}{z}$  veya  $z \leq 4$ 'e yol açar ve  $z \geq y = 4$  olduğundan  $z = 4$  olmalıdır. Bu da  $t = 4$  anlamına gelir ve  $x = 4, y = 4, z = 4, t = 4$  çözümünü elde ederiz. Böylece tüm olası durumları tükettiğimiz, bu da denklemimizin  $x \leq y \leq z \leq t$  olmak üzere 14 pozitif tam sayı  $x, y, z, t$  çözümü olduğu sonucuna götürür, yani 2, 3, 7, 42; 2, 3, 8, 24; 2, 3, 9, 18; 2, 3, 10, 15; 2, 3, 12, 12; 2, 4, 5, 24; 2, 4, 6, 12; 2, 4, 8, 8; 2, 5, 5, 10; 2, 6, 6, 6; 3, 3, 4, 12; 3, 3, 6, 6; 3, 4, 4, 6; ve 4, 4, 4, 4. NOT. Ele alınan denklemler düzlemin düzgün çokgenlerle kaplanması problemiyle bağlantılı olarak ortaya çıkar; bkz [25, s. 31 ve devamı].

166.  $1^2$  sayısının sonlu sayıda artan pozitif tam sayının karelerinin terslerinin toplamı şeklinde gösteriniz.<sup>[166]</sup>

167. Her  $m$  pozitif tam sayısı ve tüm yeterince büyük  $s$  pozitif tam sayıları için  $\frac{1}{x_1^m} + \frac{1}{x_2^m} + \dots + \frac{1}{x_s^m} = 1$  denkleminin en az bir pozitif tam sayı çözümünün bulduğunu kanıtlayınız.<sup>[167]</sup>

168. Her  $s$  pozitif tam sayısı için

$$\frac{1}{x_1^2} + \frac{1}{x_2^2} + \dots + \frac{1}{x_s^2} = \frac{1}{x_{s+1}^2}$$

denkleminin sonsuz sayıda pozitif tam sayı çözümünün bulduğunu kanıtlayınız.<sup>[168]</sup>

169. Her  $s \geq 3$  pozitif tam sayısı için

$$\frac{1}{x_1^3} + \frac{1}{x_2^3} + \dots + \frac{1}{x_s^3} = \frac{1}{x_{s+1}^3}$$

denkleminin sonsuz sayıda pozitif tam sayı çözümünün bulduğunu kanıtlayınız.<sup>[169]</sup>

170.  $x + y + z = 3$  ve  $x^3 + y^3 + z^3 = 3$  denklemler sisteminin tüm tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>[170]</sup>

171. Hangi  $n$  pozitif tam sayıları için  $3x + 5y = n$  denkleminin en az bir tane pozitif tam sayı çözümü bulduğunu araştırın ve  $n$  sonsuzluğa gittiğinde bu çözüm sayısının da sonsuzluğa gittiğini kanıtlayınız.<sup>[171]</sup>

172.  $n^x + n^y = n^z$  denkleminin tüm  $n, x, y, z$  pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>[172]</sup>

173. Her  $(m, n)$  pozitif tam sayı ikilisi için tek bir  $x = n, x = m$  pozitif tam sayı çözümü olan,  $a, b, c$  tam sayılar olmak üzere bir  $ax + by = c$  denkleminin bulduğunu kanıtlayınız.<sup>[173]</sup>

174. Her  $m$  pozitif tam sayısı için tam  $m$  tane pozitif tam sayı çözümü olan,  $a, b, c$  tam sayılar olmak üzere bir  $ax + by = c$  denkleminin bulduğunu kanıtlayınız.<sup>[174]</sup>

175.  $m$  verilen bir pozitif tam sayı olmak üzere

$$x^2 + y^2 + 2xy - mx - my - m - 1 = 0$$

denkleminin tam  $m$  tane pozitif tam sayı çözümünün bulduğunu kanıtlayınız.<sup>[175]</sup>

176.  $x^3 + (x + 1)^3 + (x + 2)^3 = (x + 3)^3$  denkleminin tüm tam sayı çözümlerini bulunuz.<sup>[176]</sup>

177. Her  $n$  pozitif tam sayısı için

$$(x+1)^3 + (x+2)^3 + \cdots + (x+n)^3 = y^3$$

denkleminin tam sayı çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.[^177]

178.  $(x+1)^3 + (x+2)^3 + (x+3)^3 + (x+4)^3 = (x+5)^3$  denkleminin tüm tam sayı çözümlerini bulunuz.[^178]

179.  $(x+1)^3 + (x+2)^3 + (x+3)^3 + (x+4)^3 = (x+10)^3$  denkleminin tüm tam sayı çözümlerini bulunuz.[^179]

180.  $y(y+1) = x(x+1)(x+2)$  denkleminin iki tane pozitif tam sayı çözümünü bulunuz.[^180]

181.  $1 + x^2 + y^2 = z^2$  denkleminin sonsuz sayıda pozitif tam sayı çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.[^181]

182.  $n, x, y, z, t$  pozitif tam sayılar olmak üzere  $nx^2 + ny^2 + nz^2 = nt$  denkleminin tüm çözümlerini bulunuz.[^182]

183.  $x, y, z, t$  pozitif tam sayılar olmak üzere  $4x + 4y + 4z = 4t$  denkleminin tüm çözümlerini bulunuz.[^183]

184.  $2^m - 3^n = 1$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.[^184]

185.  $3^n - 2^m = 1$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.[^185]

186.  $2x + 1 = y^2$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.[^186]

187.  $2x + 1 = y^2$  denkleminin tüm pozitif tam sayı çözümlerini bulunuz.[^187]

188.  $x^2 + 2y^2 = z^2, 2x^2 + y^2 = t^2$  denklemler sisteminin  $x, y, z, t$  pozitif tam sayılar olmak üzere çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^188]

189.  $[2(3x+2y+1)+1]^2 - 2(4x+3y+2)^2 = (2x+1)^2 - 2y^2$  özdeşliğini kullanarak  $x^2 + (x+1)^2 = y^2$  denkleminin sonsuz sayıda pozitif tam sayı kökünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^189]

190.  $[2(7y+12x+6)]^2 - 3[2(4y+7x+3)+1]^2 = (2y)^2 - 3(2x+1)^2$  özdeşliğini kullanarak  $(x+1)^3 - x^3 = y^2$  denkleminin sonsuz sayıda pozitif tam sayı kökünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^190]

191.  $x^2 + 5y^2 = z^2$  ve  $5x^2 + y^2 = t^2$  denklemler sisteminin  $x, y, z, t$  pozitif tam sayılarıyla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^191]

192. Problem 34'ü kullanarak  $x^2 + 6y^2 = z^2$  ve  $6x^2 + y^2 = t^2$  denklemler sisteminin  $x, y, z, t$  pozitif tam sayılarıyla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^192]

a.  $x^2 + 7y^2 = z^2$  ve  $7x^2 + y^2 = t^2$  denklemler sisteminin  $x, y, z, t$  pozitif tam sayılarıyla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^192]

193. V.A. Lebesprogue teoremini kullanarak  $x^2 - y^3 = 7$  denkleminin  $x, y$  tam sayılarıyla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^193]
194.  $c$  pozitif tam sayısı tekse,  $x^2 - y^3 = (2c)^3 - 1$  denkleminin  $x, y$  tam sayılarıyla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^194]
195.  $k$  pozitif tam sayı ise,  $x^2 + 2k^2 + 1 = y^3$  denkleminin  $x, y$  pozitif tam sayılarıyla çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.[^195]
196.  $x \leq y, x \leq z \leq t$  olmak üzere  $x + y = zt$  ve  $z + t = xy$  denklemler sisteminin  $x, y, z, t$  pozitif tam sayılarıyla tüm çözümlerinin bulunması ile ilgili A. Moessner problemini çözünüz. Sistemin sonsuz sayıda  $x, y, z, t$  tam sayı çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.[^196]
197. Her  $p$  pozitif tam sayıları için  $x_1 + x_2 + \dots + x_n = z_n$  denkleminin  $x_1, x_2, \dots, x_n$  pozitif tam sayılarıyla en az bir çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.[^197]
198. Verilen her  $a$  ve  $n$  pozitif tam sayıları için  $x^n - y^n = a$  denkleminin  $x, y$  pozitif tam sayı çözümlerinin belirlenmesi için yöntem bulunuz.[^198]
199. Elementer yöntemlerle, hem üçgen hem de beşgen (yani  $\frac{k(3k-1)}{2}$  şeklinde) olan sonsuz sayıda sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.[^199]

## Karışık Problemler

200. Tam sayı katsayılı bir  $f(x)$  polinomu için  $f(x) = 0$  denkleminin bir tam sayı çözümü varsa, her  $p$  asal sayısı için  $x \equiv 0 \pmod{p}$  denkleminin de çözümü vardır. Birinci dereceden  $ax + b = 0$  denklemini kullanarak bunun tersinin doğru olmadığını kanıtlayınız.
201.  $a$  ve  $b$  tam sayıları olmak üzere  $ax + b \equiv 0 \pmod{m}$  denkleminin her  $m$  pozitif tam sayısı için çözümü varsa,  $ax + b = 0$  denkleminin de tam sayı çözümünün bulunduğuunu kanıtlayınız.
202.  $6x^2 + 5x + 1 \equiv 0 \pmod{m}$  denkleminin her  $m$  pozitif tam sayısı için çözümü bulunduğuunu, fakat  $6x^2 + 5x + 1 = 0$  denkleminin tam sayı çözümünün bulunmadığını kanıtlayınız.
203. Her  $k$  tek ve  $n$  pozitif tam sayısı için  $2n^2 + 2 \mid k^{2n} - 1$  olduğunu kanıtlayınız.
204.  $k$  tam sayısı,  $x$  ve  $y$  tam sayılar olmak üzere  $k = x^2 - 2y^2$  şeklinde gösterilebiliyorsa, bu sayının sonsuz sayıda değişik yolla bu şekilde gösterilebileceğini kanıtlayınız.
205.  $k$  tam sayı olmak üzere  $8k + 3$  ve  $8k + 5$  şeklinde olan hiçbir sayının,  $x$  ve  $y$  tam sayı olmak üzere  $x^2 - 2y^2$  şeklinde gösterilemeyeceğini kanıtlayınız.

206.  $k$  tam sayı olmak üzere  $8k + 1$  şeklinde olan sayılardan sonsuz sayıda,  $x$  ve  $y$  tam sayı olmak üzere  $x^2 - 2y^2$  şeklinde gösterilebilenlerin ve sonsuz bu şekilde gösterilemeyenlerin bulunduğu kanıtlayınız. Gösterilemeyenlerin en küçüğünü bulunuz.

207. Her mükemmel sayının son rakamının 6 veya 8 olduğunu kanıtlayınız.

208. N. Anning'in şu teoremini kanıtlayınız: rakamları herhangi bir  $g > 1$  tabanında yazılmış olan

$$\frac{101010101}{1100110011}$$

sayısının payında ve paydasında tam ortadaki 1 rakamının yerine herhangi tek sayıda 1 yazılırsa, kesrin değerinin değişmeyeceğini kanıtlayınız (örneğin,

$$\frac{1010110101}{1100110011} = \frac{1010111011}{110011110011} = \frac{101011110101}{1100111110011} = \dots$$

).

209.  $2^n$  sayısının ondalık yayılımındaki rakamları toplamının  $n$ 'nin artması ile sonsuz arttığını kanıtlayınız.

210.  $k > 1$  bir tam sayı ve  $c$  de bir rakam ise  $2^n$ 'nin sağdan  $k$ . rakamı  $c$  olacak şekilde bir  $n$  pozitif tam sayısının bulunduğu kanıtlayınız.

211.  $5^n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) sayılarının son 4 rakamlarının periyodik dizi oluşturduğunu kanıtlayınız. Periyodu bulunuz ve saf periyot olup olmadığını tespit ediniz.

212. Her  $s$  için pozitif tam sayının ondalık yazılımının ilk  $s$  rakamının herhangi bir şekilde (?) olabileceğini kanıtlayınız.

213.  $n^n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) sayılarının son rakamlarının periyodik dizi oluşturduğunu kanıtlayınız. Periyodu bulunuz ve saf periyot olup olmadığını tespit ediniz.

214. Her sonsuz ondalık kesirde, her  $n$  sayısı için uzunluğu  $n$  olan ve dizide sonsuz sayıda rastlanan bir rakamlar dizisi bulunduğu kanıtlayınız.

215. Her  $k$  pozitif tam sayısı için  $32^k$  sayısını ardışık sayılarından oluşan  $3^k$  tane sayının toplamı şeklinde gösteriniz.

216. Bir  $s > 1$  tam sayısı verilmişse, her  $n \geq m_s$  için  $n$  ile  $2n$  arasında bir pozitif tam sayının  $s$ . dereceden kuvveti bulunacak şekilde bir  $m_s$  pozitif tam sayısının bulunduğu kanıtlayınız.  $s = 2$  ve  $s = 3$  için en küçük  $m_s$  sayılarını bulunuz.

217. Her  $n$  için, hiçbir bir pozitif tam sayının 1'den büyük dereceden kuvveti olmayan  $n$  ardışık pozitif tam sayının bulunduğu kanıtlayınız.

218.  $u_1 = 1, u_2 = 3$  ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $u_{n+2} = 4u_{n+1} - 3u_n$  olarak tanımlanan  $(u_n)$  dizisinin  $n$ . terimi için  $n$ 'ye bağlı formül bulunuz.

219.  $u_1 = a, u_2 = b$  ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $u_{n+2} = 2u_{n+1} - u_n$  olarak tanımlanan  $(u_n)$  dizisinin  $n.$  terimi için  $n'$ ye bağlı formül bulunuz.

220.  $u_1 = a, u_2 = b$  ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $u_{n+2} = -(u_n + 2u_{n+1})$  olarak tanımlanan  $(u_n)$  dizisinin  $n.$  terimi için  $n'$ ye bağlı formül bulunuz.  $a = 1, b = -1$  ve  $a = 1, b = -2$  özel durumlarını inceleyiniz.

221.  $u_1 = a, u_2 = b$  ve  $n = 1, 2, \dots$  için  $u_{n+2} = 2u_n + u_{n+1}$  olarak tanımlanan  $(u_n)$  dizisinin  $n.$  terimi için  $n'$ ye bağlı formül bulunuz.

222.  $n = 1, 2, \dots$  için  $a^{a^n} = a$  eşitliğini sağlayan tüm  $a \neq 0$  tam sayılarını bulunuz.

223. Hem toplamı hem de çarpımı tam kare olan tüm pozitif tam sayı ikililerini bulmak için bir yöntem veriniz.

224. İki ardışık pozitif tam sayının kareleri toplamına eşit olan tüm üçgen sayıları bulunuz.

225. V.E.Hogatt'ın, her pozitif tam sayının Fibonacci dizisinin birbirinden farklı terimlerinin toplamı şeklinde gösterileceğini söyleyen teoremini kanıtlayınız.

226. Fibonacci dizisinin  $u_n$  terimlerinin  $n = 1, 2, 3, \dots$  için

$$u_n^2 = u_{n-1}u_{n+1} + (-1)^{n-1}$$

eşitliğini sağladığını kanıtlayınız.

227. Her tam sayının sonsuz değişik sayıda beş tam sayının küpleri toplamı şeklinde gösterileceğini kanıtlayınız.

228. 3 sayısının sonsuz değişik sayıda 0 ve 1'den farklı dört tam sayının küpleri toplamı şeklinde gösterileceğini kanıtlayınız.

229. Elementer yöntemlerle, birbirinden farklı dört pozitif tam sayının kareleri toplamı şeklinde en az iki değişik şekilde gösterilebilen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğu ve birbirinden farklı dört pozitif tam sayının küpleri toplamı şeklinde en az iki değişik şekilde gösterilebilen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğu kanıtlayınız.

230. Her  $m$  pozitif tam sayısı için  $4m^4 \cdot 7$  sayısının negatif olmayan dört tam sayının kareleri toplamı şeklinde herhangi gösteriminde, bu sayılardan hiçbirinin  $2^{m-1}$ 'den küçük olmadığını kanıtlayınız.

231. İki pozitif tam sayının kareleri toplamı ve iki pozitif tam sayının küpleri toplamı şeklinde gösterilebilen 2'den büyük en küçük tam sayıyı bulunuz ve aralarında asal iki pozitif tam sayının kareleri toplamı ve iki pozitif tam sayının küpleri toplamı şeklinde gösterilebilen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğu kanıtlayınız.

232.  $s$  pozitif tam sayısı için verilmişse, her  $k = 1, 2, \dots, n$  için  $n$  sayısı iki tane pozitif tam sayının  $k$ . dereceden kuvvetleri toplamı olacak şekilde bir  $n > 2$  tam sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.
233. İki tam sayının küpleri toplamı şeklinde gösterilemeyen, fakat iki rasyonel sayının küpleri toplamı şeklinde gösterilebilen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.
234. İki pozitif tam sayının küpleri farkı şeklinde gösterilebilen, fakat iki pozitif tam sayının küpleri toplamı şeklinde gösterilemeyen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.
235. Her  $k > 1$ ,  $k \neq 3$  tam sayısı için iki pozitif tam sayının  $k$ . dereceden kuvvetleri farkı şeklinde gösterilebilen, fakat iki pozitif tam sayının  $k$ . dereceden kuvvetleri toplamı şeklinde gösterilemeyen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.
236. Her  $n > 1$  tam sayısı için iki pozitif tam sayının  $n$ . dereceden kuvvetleri toplamı şeklinde gösterilebilen, fakat iki pozitif tam sayının  $k$ . dereceden kuvvetleri farkı şeklinde gösterilemeyen sonsuz sayıda pozitif tam sayı bulunduğuunu kanıtlayınız.
237. 1'den  $n$ 'ye kadar olan pozitif tam sayıların kareleri toplamı tam kare olmasını sağlayan en küçük  $n > 1$  tam sayısını bulunuz.
238.  $a$  ve  $b$  1'den büyük tam sayılarsa  $a^b$  şeklinde olan sayıya **öz kuvvet** diyelim. Sonlu sayıda öz kuvvetin toplamı şeklinde yazılabilen tüm pozitif tam sayıları bulunuz.
- b. 6'dan farklı her  $n \leq 10$  pozitif tam sayısının iki öz kuvvetin farkı şeklinde gösterilebileceğini kanıtlayınız.
239. Kenar uzunlukları tam sayı olan her dik üçgen ve her  $n$  pozitif tam sayısı için bu üçgene benzer ve her kenar uzunluğu bir pozitif tam sayının  $n$ 'den büyük dereceden kuvveti olan bir üçgen bulunduğuunu kanıtlayınız.
240.  $(n - 1)! + 1 = n^2$  eşitliğini sağlayan tüm  $n > 1$  tam sayılarını bulunuz.
241. İki ardışık üçgen sayısının çarpımının hiçbir zaman tam kare olmayacağı, fakat her  $t_n = \frac{n(n+1)}{2}$  sayısı için  $t_n t_m$  çarpımının tam kare olacak şekilde  $t_n$ 'den büyük olan sonsuz sayıda  $t_m$  üçgen sayısının bulunduğuunu kanıtlayınız.
242. Logaritma tablosu kullanmadan  $F_{1945} = 2^{2^{1945}} + 1$  sayısının basamak sayısının  $10^{582}$  den büyük olduğunu kanıtlayınız ve ( $F_{1945}$  sayısının en küçük asal böleni olan)  $5 \cdot 2^{1947} + 1$  sayısının basamak sayısını bulunuz.
243.  $2^{11213} - 1$  (bilinen en büyük asal sayı) sayısının basamak sayısını bulunuz.
244.  $2^{12112}(2^{12112} - 1)$  (bilinen en büyük mükemmel sayı) sayısının basamak sayısını bulunuz.

245.  $3!!!$  sayısının basamak sayısının 1000'den fazla olduğunu kanıtlayınız ve bu sayının sonundaki 0 sayısını bulunuz.
246. Aşağıdaki özelliğe sahip olan  $m > 1$  tam sayısı bulunuz: bir  $x$  tam sayı sayısı için  $f(x)$  değeri  $m$ 'ye bölünecek, başka bir  $x$  değeri için  $f(x)$  değeri  $m$ 'ye bölündüğünde 1 kalansı verecek ve tüm  $x$  tam sayı değerleri için  $f(x)$  değerleri  $m$ 'ye bölündüğünde 0 veya 1 kalansı verecek şekilde tam sayı katsayılı bir  $f(x)$  polinomu bulunur.
247.  $m$  ve  $n$  pozitif tam sayılar ve  $D = [(4m^2 + 1)n + m]^2 + 4mn + 1$  olmak üzere  $\sqrt{D}$  sayısının sürekli kesir şeklinde gösteriniz.
248.  $\varphi(n)$  Euler fonksiyonu,  $d(n)$  de  $n$  sayısının pozitif tam bölenlerinin sayısını göstermek üzere  $\varphi(n) = d(n)$  eşitliğini sağlayan tüm  $n \leq 30$  pozitif tam sayısını bulunuz.
249. Her  $g$  pozitif tam sayısı için, her  $w > 1$  rasyonel sayısının,  $k > g$  ve  $s \geq 0$  tam sayılar olmak üzere

$$w = \left(1 + \frac{1}{k}\right)\left(1 + \frac{1}{k+1}\right) \dots \left(1 + \frac{1}{k+s}\right)$$

şeklinde gösterilebileceğini kanıtlayınız.

250. P. Erdős ve M. Surányi'nin şu teoremini kanıtlayınız: her  $k$  tam sayısı sonsuz değişik yolla,  $m$  pozitif tam sayı olmak üzere  $+$  veya  $-$  işaretleri belirli bir şekilde seçilerek

$$k = \pm 1^2 \pm 2^2 \pm \dots \pm m^2$$

şeklinde gösterilebileceğini kanıtlayınız.

# Kaynakça

- Anning, P. 1956. *Scripta Mathematica* 22: 227.
- Baker, C. L., ve F. J. Gruenberger. 1959. *The first six millions prime numbers*. The RAND Corp., Santa Monica, publ. by the Microcard Foundation, Madison, Wisc.
- Cassels, J. W. S. 1960/61. “On a diophantine equation”. *Acta Arithmetica* 6 (1960/61): 47-52.
- Cassels, J. W. S., ve G. Sansone. 1960/61. “Sur le problème de M. Werner Mnich”. *Acta Arithmetica* 7 (1960/61): 187-90.
- Cipolla, M. 1904. “Sui numeri composti P che verificano la congruenza di Fermat  $a^{P-1} \equiv 1 \pmod{P}$ ”. *Annali di Matematica Pura ed Applicata* 9: 139-60.
- Demjanenko, V. A. 1966. “On sums of four cubes, (Russian)”. *Izv. Vyssich Ucebnnykh Zavedenii, Matematika*, 63-69.
- Dickson, L. E. 1920. *History of the Theory of Numbers*, vol. II. Carnegie Institution.
- Erdős, P. 1962. “On a problem of Sierpiński”. *Atti Accad. Nazionale dei Lincei* 33: 122-24.
- . 1963. *Quelques problèmes de la Théorie des Nombres*. Monographies de l’Enseignement Math. 6. Genève.
- Hyyro, S. 1964. “Über das Catalansche Problem”. *Annales Universitatis Turkuensis, Series AI*, sy 79.
- Kaprekar, D. R. 1955. “Multidigital numbers”. *Scripta Mathematica* 21: 27.
- Khatri, M. N. 1954. “An interesting geometrical progression”. *Scripta Mathematica* 20: 57.
- . 1962. “Three consecutive integers cannot be powers”. *Colloquium Mathematicum* 9: 297.
- Pólya, G. 1918. “Functions not formulas for primes”. *Mathematische Zeitschrift* 1: 144.
- Pólya, G., ve G. Szegő. 1925. *Aufgaben und Lehrsätze aus der Analysis*, II. Berlin.
- Reiner, J. 1943. “Zur arithmetischen Untersuchung der Polynome”. *American Mathematical Monthly* 50: 619.
- Reutter, O. 1963. *Elemente der Mathematik* 18: 89.
- Schinzel, A. 1958. “Sur l’existence d’un cercle passant par un nombre donné de points aux coordonnées entières”. *L’Enseignement Mathématique* 4: 71-72.
- . 1959. “Démonstration d’une conséquence de l’hypothèse de Goldbach”. *Compositio Mathematica* 14: 74-76.
- . 1963. “Remarque au travail de W. Sierpiński sur les nombres  $a^x + 1$ ”. *Colloquium Mathematicum* 10: 137-38.

- Schinzel, A., ve W. Sierpiński. 1958a. "Sur certaines hypothèses concernant les nombres premiers". *Acta Arithmetica* 4: 185-208.
- . 1958b. "Sur les sommes de quatre cubes". *Acta Arithmetica* 4: 20-30.
- Selmer, F. S. 1951. "The diophantine equation  $ax^3 + by^3 + cz^3 = 0$ ". *Acta Mathematica* 85: 203-362.
- Sierpiński, W. 1950. "Sur les puissances du nombre 2". *Annales de la Société Polonaise de Mathématique* 33: 246-51.
- . 1957. *On representations of rational numbers as sums of unit fractions, (in Polish)*. Warszawa.
- . 1958a. "Sur une question concernant le nombre de diviseurs premiers d'un nombre naturel". *Colloquium Mathematicum* 6: 209-10.
- . 1958b. *Teoria liczb, (Number Theory; in Polish) Cz. II*. Monografie Matematyczne 38. Warszawa.
- . 1961a. "Démonstration élémentaire d'un théorème sur les sommes de trois nombres premiers distincts". *Glasnik Mat.-Fiz. Astronom. Drustvo Mat. Fiz. Hrvatske, ser. II* 16: 87-88.
- . 1961b. "Remarques sur le travail de M. J. W. S. Cassels "On a diophantine equation"". *Acta Arithmetica* 6: 469-71.
- . 1961c. "Sur les sommes des chiffres de nombres premiers". *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo, Ser. II* 10: 229-32.
- . 1961d. "Sur un problème concernant les nombres  $k \cdot 2^n + 1$ ". *Elemente der Mathematik* 15: 73-74.
- . 1962a. "O liczbach naturalnych D, dla których okres rozwinięcia  $\sqrt{D}$  na ułamekłańcuchowy arytmetyczny ma trzy wyrazy, (On positive integers D for which the period of expansion of  $\sqrt{D}$  into an arithmetic continued fraction has three terms; in Polish)". *Roczniki Polskiego Towarzystwa Matematycznego, Seria II: Wiadomości Matematyczne* 5: 53-55.
- . 1962b. "Sur quelques conséquences d'une hypothèse de M. A. Schinzel". *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège* 31: 317-20.
- . 1963. "Sur les nombres qui sont sommes et différences de deux nombres premiers". *Publ. Electr. Facultet, Sér. Math. Phys., Beograd*, sy 84: 1-2.
- . 1964a. *Elementary Theory of Numbers*. Monografie Matematyczne 42. Warszawa.
- . 1964b. "Remarques sur un problème de M. P. Erdős". *Publications de l'Institut Mathématique de Beograd* 4 (18): 125-34.
- . 1964c. "Sur les nombres  $a^x + 1$ ". *Elemente der Mathematik* 19: 106.